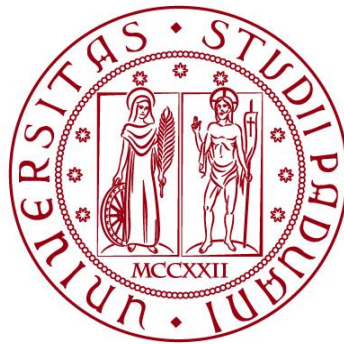


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**Mobility as a Service:
progettazione di esperimenti di scelta in realtà virtuale**

Relatore:
Chiar.mo Prof. MASSIMILIANO GASTALDI
Correlatori:
Dott. RICCARDO CECCATO
Dott. FEDERICO ORSINI

Laureando: GIACOMO SILVESTRINI
2019233

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Indice

Introduzione	1
I Lo stato dell'arte	5
1 Il Mobility as a Service (MaaS)	7
1.1 Il concept	7
1.2 Caratteristiche del MaaS	8
1.2.1 La multimodalità	8
1.2.2 Il ruolo del provider e la relazione con gli enti pubblici	9
1.2.3 La centralità dell'utente	10
1.2.4 L'utilizzo delle tecnologie	12
1.2.5 La topologia MaaS	13
1.2.6 Il modello economico	14
1.3 Difficoltà nell'implementazione del MaaS	16
1.4 Punti a favore dello sviluppo del MaaS	18
1.5 Propensione degli utenti verso il MaaS	19
1.6 Esperienze già avviate	22
1.7 Applicazioni disponibili sul mercato	26
1.8 Prospettive future	35
2 La realtà virtuale (VR)	37
2.1 Definizioni	37
2.2 Utilizzi	39
2.3 VR ed esperimenti di scelta	41
2.3.1 Elementi positivi della VR	42
2.3.2 Difficoltà legate all'utilizzo della VR	43
2.4 Il feedback relativo all'esperienza in VR	44

II	Il caso studio	45
3	Presentazione del caso analizzato	47
4	L'app MaaS	55
4.1	L'app proposta	56
5	La simulazione dello spostamento	63
5.1	La progettazione dell'ambiente virtuale	66
5.1.1	L'infrastruttura	67
5.1.2	I veicoli	67
5.1.3	La simulazione dei viaggi	74
6	Gli esperimenti di scelta	81
6.1	L'esperienza virtuale	83
6.1.1	Alternative, attributi e livelli	84
6.1.2	La generazione degli esperimenti	86
6.2	La scelta tra i modi testati	92
6.3	Il concetto di MaaS	93
6.4	La scelta del bundle	95
6.4.1	I bundle generati	96
6.4.2	I pacchetti prestabiliti	100
6.5	Il confronto tra modo scelto e bundle	105
6.6	La scelta del modo preferito all'interno del bundle	106
6.7	Altre informazioni	106
	Conclusione e sviluppi futuri	109
A	Codice utilizzato per il design degli esperimenti	113
A.1	La generazione degli esperimenti	113
A.2	I bundle generati	115
A.3	I pacchetti prestabiliti	117

Elenco delle figure

1.1	Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con le varie opzioni di mobilità disponibili e i mezzi pubblici in arrivo in tempo reale.	27
1.2	Esempio della visualizzazione di un percorso, con alcune opzioni di orario di partenza del mezzo.	27
1.3	Esempio di navigazione in un mezzo pubblico, con l'avviso della fermata a cui scendere.	28
1.4	Esempio di navigazione vocale per spostamenti a piedi o con mezzi sostenibili.	28
1.5	Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con la possibilità di acquistarne il biglietto.	29
1.6	Esempio della visualizzazione della posizione dei monopattini condivisi in prossimità.	29
1.7	Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con il prezzo del biglietto corrispondente.	30
1.8	Esempio della visualizzazione delle fermate di trasporto pubblico nelle vicinanze, con le relative partenze e, se disponibili, i ritardi in tempo reale.	30
1.9	Esempio di pianificazione di un percorso con i mezzi pubblici, con avvisi relativi a ritardi o modifiche programmate.	31
1.10	Esempio di navigazione durante il viaggio, con l'indicazione del numero di fermate prima di raggiungere la destinazione.	31
1.11	Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con diverse opzioni di mobilità.	32
1.12	Esempio della visualizzazione dei monopattini condivisi disponibili nella zona in cui si trova l'utente.	32
1.13	Esempio dei modi di trasporto disponibili all'interno del programma.	33
1.14	Esempio delle offerte di bundle acquistabili con l'app.	33
1.15	Esempio di pianificazione di un percorso con i mezzi pubblici.	34

Elenco delle figure

1.16	Esempio di visualizzazione del percorso scelto, con i relativi dettagli.	34
3.1	L'area di studio, con i punti di origine e destinazione dello spostamento (OpenStreetMap).	48
3.2	L'area di studio, con rappresentazione delle linee di trasporto pubblico (rosso, arancione e azzurro) e i principali percorsi ciclabili (blu tratteggiato).	49
3.3	I servizi di trasporto pubblico nell'area di studio.	51
3.4	Le infrastrutture ciclabili nell'area di studio, comprendente percorsi dedicati e corsie ciclabili in carreggiata.	52
4.1	Schermata iniziale dell'app proposta.	57
4.2	Esempio delle prossime partenze nelle vicinanze.	58
4.3	Esempio di pianificazione di un viaggio.	59
4.4	Esempio di alcuni biglietti posseduti.	60
4.5	Esempio dei bundle che è possibile acquistare.	61
5.1	Il visore HP Reverb G2.	65
5.2	Vista dell'area della simulazione.	66
5.3	Vista dell'area della simulazione.	66
5.4	Esempio dell'infrastruttura stradale senza corsie ciclabili.	67
5.5	Esempio dell'infrastruttura stradale con corsie ciclabili.	67
5.6	Vista esterna dell'automobile.	68
5.7	Vista interna dell'automobile.	68
5.8	Vista esterna del taxi.	69
5.9	Vista interna del taxi.	69
5.10	Vista esterna dell'autobus.	70
5.11	Vista interna dell'autobus.	70
5.12	Vista dell'autobus con i tre livelli di occupazione.	71
5.13	Vista della bicicletta.	72
5.14	Vista a bordo della bicicletta.	72
5.15	Vista del monopattino.	73
5.16	Vista a bordo del monopattino.	73
5.17	Vista di alcuni avatar.	74
5.18	Vista dell'area della simulazione con i percorsi su cui si muovono i mezzi.	75
5.19	Una fotografia del momento di prova della realtà virtuale.	76
5.20	Un momento del viaggio in automobile.	77
5.21	L'attesa dei veicoli al rosso del semaforo.	77
5.22	La vista dell'autobus prima della salita.	78

5.23	Un momento del viaggio in autobus, con un'occupazione alta.	78
5.24	Un sorpasso alla bicicletta nel tratto con infrastrutture dedicate.	79
5.25	Un sorpasso alla bicicletta nel tratto senza infrastrutture dedicate.	79
5.26	Un momento del viaggio in monopattino, all'interno di un parco.	80
5.27	Un momento del viaggio in taxi.	80
6.1	Diagramma di flusso del procedimento di somministrazione dei test.	82
6.2	La presentazione dei modi al momento dell'esercizio di scelta.	92
6.3	La presentazione dell'app per il MaaS, proposta attraverso uno smartphone.	94
6.4	L'istogramma relativo ai prezzi dei pacchetti generati con il primo metodo.	97
6.5	Esempio della proposta dei bundle con il primo metodo di generazione.	99
6.6	L'istogramma relativo ai prezzi dei pacchetti prestabiliti. . . .	102
6.7	Esempio della proposta dei bundle con il secondo metodo di generazione.	104
6.8	Esempio della scelta nel terzo esercizio.	105
6.9	Esempio della proposta dei bundle con il primo metodo di generazione.	106

Elenco delle tabelle

1.1	Confronto tra le classificazioni del MaaS	13
6.1	Esempio del design dell'esperimento	88
6.2	Prezzi base mensili per le componenti dei pacchetti MaaS. . .	95
6.3	Esempio di parte design dei bundle generati.	98
6.4	Prezzi base per i pacchetti MaaS prestabiliti.	100
6.5	Esempio di parte design dei prezzi dei bundle prestabiliti. . .	103

Introduzione

Il presente lavoro di tesi è finalizzato alla progettazione di alcuni esperimenti di scelta relativi al concept di Mobility as a Service (MaaS) proposti in una simulazione 3D all'interno di un ambiente di realtà virtuale (VR). L'applicazione di questa tecnologia relativamente nuova ad esperimenti di scelta in ambito trasportistico non è un tema molto affrontato in letteratura, sia a causa delle importanti risorse necessarie per lo sviluppo, che per la non facile somministrazione alla popolazione, che richiede dell'hardware specifico.

L'attività della tesi è stata sviluppata nell'ambito del MOST - Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile [1], finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.4 - D.D. 1033 17/06/2022, CN00000023). Il MOST, grazie alla partecipazione di università e grandi aziende, si articola in una serie di interventi di ricerca la cui finalità è proporre ed attuare soluzioni innovative, sostenibili e inclusive relative all'ambito della mobilità. Il centro nazionale svolge funzioni di coordinamento per i singoli programmi di ricerca, che si sviluppano grazie alla collaborazione di molti enti presenti su gran parte del territorio nazionale.

In particolare, questo elaborato si sviluppa relativamente al lavoro dello Spoke 8 – MaaS & innovative services, come uno degli step preliminari per l'esecuzione degli esperimenti in VR previsti dai task del Centro. L'obiettivo di questa parte della ricerca è quello di sviluppare degli scenari virtuali in cui immergere i partecipanti, dove far loro vivere situazioni tipiche del mondo reale e chiedere di compiere delle scelte relative al contesto presentato. Le attività di interesse per raggiungere questi risultati sono l'analisi della letteratura relativa a MaaS e realtà virtuale, seguiti da progettazione e sviluppo degli esperimenti di scelta in uno scenario 3D virtuale.

Questa tesi si sviluppa quindi su queste due attività, che ne diventano gli obiettivi:

- la raccolta di informazioni in letteratura relative a MaaS e VR,
- la preparazione degli esperimenti di scelta con la relativa simulazione in un ambiente virtuale.

Nella prima parte dell'elaborato si svolge un'analisi della letteratura relativamente ai due temi principali della tesi, MaaS e VR.

Il primo capitolo, in particolare, si occupa di approfondire questo concept di mobilità, analizzandone gli aspetti positivi e quelli problematici, a partire dall'assenza di una definizione condivisa all'interno della comunità scientifica. In generale, il MaaS può essere sintetizzato in un nuovo paradigma di trasporto, dove l'utente si trova ad avere un'elevata libertà di scelta rispetto al proprio spostamento, grazie ad un'integrazione completa dei sistemi di trasporto disponibili e alla presenza di un'applicazione unificata con cui interfacciarsi con il sistema dei trasporti. Il viaggiatore ha a disposizione anche dei pacchetti tariffari, detti bundle, che permettono di fruire dei servizi di trasporto in modo più libero. Questo processo, di fronte ad evidenti vantaggi, porta con sé diverse difficoltà nella sua realizzazione, sia economiche che tecniche, approfondite in letteratura.

Nel secondo capitolo, invece, si tratta l'argomento della realtà virtuale, che negli ultimi anni è stata oggetto di notevoli passi avanti e nuove applicazioni. Questo strumento è di particolare interesse in quanto permette all'utilizzatore di entrare all'interno di una realtà diversa, essendo immerso sensorialmente in un ambiente artificiale. Lo scenario simulato può raggiungere un livello di complessità notevole: l'utente può interagire con la scena in cui si trova. L'ambiente virtuale, in quanto completamente controllabile e progettabile, si presta alla simulazione di situazioni particolarmente difficili o pericolose da riprodurre nella realtà, così come contesti non fisicamente esistenti. La realtà virtuale è infatti già ampiamente utilizzata nell'ambito dei videogiochi, ma ha trovato larga applicazione anche in diversi altri campi, da quello medico a quello economico. Da un punto di vista trasportistico, invece, è presente un numero esiguo di articoli, anche a causa della complessità del tema e della laboriosità nello sviluppo dell'ambiente virtuale.

Nella seconda parte della tesi, si propone un caso studio relativo ai due temi precedentemente approfonditi: si progettano infatti degli esperimenti di scelta relativi al Mobility as a Service andando a proporre delle esperienze di viaggio in realtà virtuale.

Il terzo capitolo si occupa della spiegazione dell'esperienza virtuale di viaggio che si propone, prendendo come esempio lo spostamento sistematico tra stazione ed università nel contesto di Padova. A partire da questa realtà, si sono andate a definire le caratteristiche del modello 3D sviluppato.

Nel quarto capitolo, si introduce il concept di un'applicazione MaaS, elemento indispensabile per il funzionamento di questo paradigma di mobilità. L'app, infatti, è lo strumento attraverso cui l'utente interagisce con il sistema in tutte le sue componenti.

Nel capitolo seguente, la tesi si concentra sulle modalità attraverso cui si offre ai soggetti l'esperienza di viaggio virtuale, in quanto a contenuti e modalità tecniche di realizzazione. L'ambiente 3D sviluppato simula in maniera esemplificativa i vari modi di trasporto analizzati e le loro caratteristiche, in modo da poter illustrare come possa apparire l'esperienza virtuale una volta sviluppata completamente.

Nell'ultimo capitolo si vanno quindi a progettare gli esperimenti di scelta relativi al MaaS, parte fondamentale di questa tesi. Grazie alla realtà virtuale, è possibile creare una sorta di esperienza comune, sulla quale si basano i quattro esercizi di scelta successivamente proposti. Questi ultimi vanno a sondare le preferenze degli utenti rispetto a modo di trasporto, bundle MaaS e interesse relativo a questo nuovo concetto di mobilità. Attraverso questi esperimenti ci si pone l'obiettivo generale di indagare anche le conseguenze che l'adozione del MaaS possa avere sui comportamenti degli utenti, per esempio portando a compiere scelte diverse rispetto al modo scelto inizialmente.

Infine, l'elaborato si conclude con alcune prospettive future su questo tema di ricerca, in particolare rispetto all'aspetto simulativo e di sviluppo dell'applicazione proposta.

Parte I
Lo stato dell'arte

Capitolo 1

Il Mobility as a Service (MaaS)

1.1 Il concept

Il Mobility as a Service (MaaS) è un concetto di mobilità che ha iniziato ad essere definito negli anni 2010, in particolare attraverso il primo utilizzo del termine MaaS nel 2012 [2]. In letteratura sono state proposte differenti definizioni di MaaS, da cui è possibile trarre una descrizione generale di questo concetto. Non si è però ancora giunti ad una definizione univoca di cosa possa essere nel dettaglio il MaaS, né quali ne siano gli obiettivi principali [3].

Una possibile definizione, proposta da Goulding e Kamargianni [4], prova a sintetizzarne il concetto:

Mobility as a Service is a user-centric, intelligent mobility distribution model in which all mobility service providers' offerings are aggregated by a sole mobility provider, the MaaS provider, and supplied to users through a single digital platform.

Infatti, il MaaS è considerato un sistema che prevede l'integrazione di più modi di trasporto, accessibili attraverso una sola piattaforma digitale con il pagamento di una tariffa pay as you go o con un abbonamento. All'interno di questo sistema, sono presenti i diversi attori del trasporto, ovvero gli utilizzatori, i produttori del servizio e la piattaforma di gestione. Per il funzionamento del MaaS si rende indispensabile l'uso delle tecnologie digitali per ogni fase dell'utilizzo, poiché l'accesso al sistema richiede l'utilizzo di un'app e solitamente una registrazione. Un'altra caratteristica fondamentale è la centralità dell'utente: il MaaS offre un servizio personalizzabile, legato alle caratteristiche e alle attitudini degli utenti, ma soprattutto orientato alla domanda [5]. Altri autori [3] hanno sottolineato anche l'importanza della presenza di un journey planner che supporti l'utente nelle scelte di modo e

percorso, attraverso informazioni in tempo reale. Oltre al trasporto, possono essere inclusi altri servizi, come parcheggio o consegna di merci.

1.2 Caratteristiche del MaaS

1.2.1 La multimodalità

Una delle caratteristiche fondamentali del MaaS è la multimodalità: l'utente può scegliere di compiere il suo spostamento utilizzando uno o più dei modi di trasporto disponibili nel contesto in cui si muove. All'interno di un servizio MaaS, è possibile includere il trasporto pubblico tradizionale (bus, tram, metropolitana, treno), ma anche le più recenti opzioni on-demand di mobilità condivisa e di micromobilità [2, 3, 6]. Questi nuovi modi di trasporto si rendono utili ad integrare il trasporto pubblico rendendolo più accessibile, in quanto possono diventare vettori di accesso ed egresso dalla rete principale [6].

Uno degli effetti potenziali del MaaS, come indicato da Alyavina et al. [3], è quello di ridurre la dipendenza degli utenti dall'uso dell'automobile privata. Ciò può avvenire grazie a diversi strumenti. Per esempio, le nuove forme di micromobilità condivisa, come i monopattini elettrici alle biciclette a noleggio, sono facilmente utilizzabili per spostamenti a corto raggio. In questo modo, gli utenti possono compiere alcuni tragitti in cui solitamente viene utilizzata l'auto con questi mezzi non inquinanti e più liberi di circolare in ambito urbano. Anche i sistemi di ride-hailing (come, ad esempio, Uber) possono essere integrati nel MaaS: trattandosi di automobili dotate di conducente, il loro utilizzo può essere simile a quello di un'auto di proprietà. Altre due soluzioni legate all'automobile sono il car sharing e il car pooling, ovvero l'utilizzo di veicoli non di proprietà e l'utilizzo contemporaneo di veicoli per effettuare uno stesso tragitto.

Wong et al. [6] hanno proposto una classificazione dei modi di trasporto rispetto dimensioni di efficienza spaziale e temporale. In questo modo, si è giunti a dividere i modi in quattro categorie: i modi attivi, i modi pubblici, i modi privati e i modi condivisi. Attualmente, la maggior parte degli spostamenti avviene in scenari aventi una prevalenza di modi pubblici oppure di modi privati: si tratta rispettivamente di realtà in cui è presente una solida rete di trasporto pubblico oppure dove si preferisce utilizzare l'automobile privata. Il MaaS, invece, dovrebbe cercare di indirizzare gli utenti verso i modi pubblici o quelli condivisi: la dimensione del trasporto privato dovrebbe lasciar spazio a modi più efficienti da un punto di vista temporale, rinunciando il più possibile ad utilizzare mezzi propri.

1.2.2 Il ruolo del provider e la relazione con gli enti pubblici

Il provider del servizio MaaS (detto anche operatore, piattaforma, broker o aggregatore), è una delle componenti fondamentali del sistema. Infatti, questa figura si interfaccia con tutti gli altri attori, dai produttori dei servizi di trasporto ai clienti finali [3]. Oltre a ciò, il provider si occupa anche della gestione dei servizi informatici, del rapporto con le autorità, del journey planner e della gestione economica del sistema [2].

Non è semplice trovare una modalità per fare collaborare realtà diverse, spesso concorrenti [7]: è infatti necessario riuscire a definire il ruolo del provider all'interno dell'ecosistema MaaS per assicurare una convenienza a tutti i portatori di interessi. Anche limitandosi ad osservare il lato dell'offerta, è facile incontrare realtà con obiettivi diversi, se non opposti. Da un punto di vista economico, il provider MaaS può essere organizzato in più maniera [8], fungendo alternativamente da:

- **Integratore:** il provider impone tutti i prezzi per i servizi offerti, sia per l'acquisto dai produttori che per gli utenti.
- **Piattaforma:** le aziende mantengono il controllo sui prezzi, mentre il MaaS si riduce ad una piattaforma attraverso cui si acquistano più facilmente servizi multimodali.
- **Intermediario:** le aziende vendono al provider i propri servizi, poi questo li combina in pacchetti specifici e li rivende ai clienti finali.

Bisogna quindi scegliere chi possa svolgere questo compito, se una delle aziende di trasporto, una entità cogestita dalle aziende o se un ente terzo.

Diversi autori [6, 8, 9, 10] riportano la necessità di un intervento da parte delle autorità pubbliche per quanto riguarda la definizione di policy di trasporto utili all'avvio di un sistema MaaS, ma anche legate ai prezzi di vendita dei servizi di trasporto da parte delle aziende. Gli enti pubblici possono inoltre utilizzare il sistema MaaS per raggiungere alcuni obiettivi di interesse della collettività, come per esempio un tasso di motorizzazione privata più bassa o una riduzione complessiva delle emissioni inquinanti. Come osservato in [9], la struttura pubblica si trova a dover coniugare la ricerca di questi obiettivi con l'attrattività economica per le aziende di trasporto. Si può notare inoltre che una delle difficoltà nella scelta del provider e nella sua successiva gestione sia anche la sostituzione della relazione diretta tra azienda e cliente, con i conseguenti danni d'immagine per le aziende.

Nel trasporto pubblico tradizionale, gli enti pubblici si interfacciano con i

fornitori del servizio di trasporto, i quali poi vendono direttamente il proprio servizio ai clienti finali. In questa relazione, aziende e struttura pubblica stipulano dei contratti riguardanti la fornitura del servizio, andando a stabilire prezzi e modalità di erogazione. Nell'ambito del MaaS, il ruolo dell'ente pubblico è comunque ancora in discussione [3, 6]: va infatti definito se questo si interfacci ancora direttamente con i produttori del servizio, o se il rapporto sia con il provider MaaS, che a sua volta si accorda con le aziende. Oltre a ciò, è necessario stabilire anche se il ruolo del provider sia di competenza pubblica o privata. In alcune realtà, infatti, i governi locali hanno scelto di incentivare start-up o, più in generale, aziende private a diventare i provider delle prime esperienze MaaS. L'organizzazione dei servizi di trasporto precedente all'introduzione del MaaS può però condizionare gli enti pubblici, in quanto si potrebbero creare dei conflitti di interesse dovuti alla presenza sia aziende di trasporto a controllo pubblico che di aziende private. Il provider MaaS, infatti, deve essere in grado di incentivare le realtà private a prenderne parte in un'ottica costruttiva per l'ecosistema. Si rende necessario anche evitare comportamenti monopolistici da parte di aziende più grandi, soprattutto se queste ultime svolgono il ruolo di provider all'interno di un sistema MaaS. Il ruolo dell'ente pubblico, quindi, può anche essere strettamente regolatorio: la legislazione può essere stesa in modo tale da rendere facilmente accessibile l'ecosistema MaaS, magari incentivando anche la collaborazione multimodale, ma senza agire direttamente da provider.

1.2.3 La centralità dell'utente

Il MaaS può essere anche inteso come un servizio che intende trasformare il sistema di mobilità personale da frammentato a policentrico [10]. L'obiettivo è quindi riuscire ad offrire una miglior coordinazione tra i diversi servizi di mobilità, creando una collaborazione tra le aziende a favore del viaggiatore, con la conseguente modifica della suddivisione modale dell'utente. In questo senso, l'introduzione dell'ecosistema MaaS ha come obiettivo il coinvolgimento diretto del cliente finale, andando a rendere possibile la personalizzazione totale della propria esperienza di mobilità. Questo intento, sommato alle policy dell'ente pubblico, può portare al raggiungimento di alcuni obiettivi della collettività attraverso la soddisfazione dei singoli utenti. L'estensione dei servizi disponibili e la loro integrazione, punto fondamentale del MaaS, permette quindi ai clienti di avere una maggiore libertà di scelta nei propri spostamenti. Infatti, i limiti dei sistemi di trasporto pubblico tradizionali vengono minimizzati grazie al coordinamento e all'integrazione tariffaria, portando ad una continuità di servizio altrimenti impossibile. Grazie a questi cambiamenti, gli utenti possono quindi riuscire più facilmente a soddisfare

i propri bisogno di mobilità rinunciando all'auto privata. Si può infatti affermare che proprio quest'ultima scelta sia la componente fondamentale per il decollo del MaaS, e insieme a questo l'utente può abbracciare dei modi di trasporto più sostenibili e che lo tengano attivo da un punto di vista fisico. Il passaggio ad una forma condivisa di mobilità non è però esente da difficoltà [11]: gli utenti non sempre sono disposti ad un aumento dei tempi di viaggio, ma ci sono anche delle significative osservazioni rispetto alla dimensione sociale della condivisione. Infatti, abitudini personali e standard di comfort possono essere difficili da mantenere passando da un veicolo privato al trasporto collettivo. In questo senso, anche il diffondersi dei veicoli autonomi può essere d'aiuto, permettendo una libertà di movimento pari a quella dell'auto, ma creando dei servizi di condivisione del tragitto. Alcune ricerche [12] hanno notato che per quanto in alcune circostanze l'utilizzo dell'auto privata diminuisca, questo fenomeno sia strettamente legato alle situazioni personali degli utenti, in particolare rispetto alle motivazioni dello spostamento.

All'interno dell'ecosistema MaaS, assume un ruolo fondamentale il journey planner, che permette all'utente di pianificare il proprio tragitto attraverso l'integrazione di dati relativi ad orari, situazione in tempo reale e preferenze personali. Per quanto riguarda questo ultimo aspetto, si è proposto [13] uno strumento di supporto alle decisioni dell'utente basato su alcuni aspetti dello spostamento in atto: il comportamento passato dell'utente, le caratteristiche del tragitto, le informazioni ambientali e le combinazioni tra queste componenti. I viaggiatori possono quindi scegliere autonomamente che modi utilizzare in base alle informazioni utili ottenute dal planner.

La presenza del provider, inoltre, permette di facilitare notevolmente l'accesso ad un sistema di trasporto pubblico o condiviso: gli utenti si interfacciano ad una sola entità per ogni fase dello spostamento, dalla pianificazione del viaggio all'acquisto del biglietto e all'utilizzo finale del servizio [2]. Questo aspetto diventa anche un'opportunità economica: il viaggiatore non si trova più a dover affrontare il pagamento di tariffe diverse, poiché in un sistema MaaS i prezzi vengono uniformati e ristabiliti, in modo da favorire l'intermodalità degli spostamenti.

Attraverso la centralizzazione dell'acquisto dei biglietti, si può ipotizzare una diminuzione dei costi di transazione [12]. Questo fenomeno rende più conveniente all'utente l'utilizzo dei vari modi di trasporto, in particolare grazie alla possibilità di scegliere tra una forma di bundle o attraverso il pagamento una tantum della tariffa, detto pay as you go. All'interno del bundle deve essere previsto un meccanismo che renda razionale per l'utente il pagamento della tariffa, ma allo stesso tempo andando ad incentivare la collaborazione attraverso la condivisione delle proprie preferenze di viaggio, in modo da

migliorare l'efficienza del sistema.

1.2.4 L'utilizzo delle tecnologie

Lo sviluppo del concetto di MaaS è stato reso possibile solo negli ultimi anni, grazie allo sviluppo delle tecnologie informatiche e delle telecomunicazioni. Infatti [3], l'accesso al servizio è possibile tramite una piattaforma digitale, che si serve di dati in tempo reale per supportare l'utente nel proprio spostamento. Le tecnologie ICT (Information and Communication Technologies) sono quindi indispensabili, soprattutto per il provider MaaS [2]. In particolare, gli aspetti da gestire sono l'infrastruttura ICT (connettività e relativa copertura per mezzi di trasporto e utenti finali), provider IT (servizi cloud per funzionalità del sistema) e provider di dati (gestione ed analisi dei flussi di dati). L'infrastruttura del provider deve quindi essere in grado di gestire in maniera efficiente la mole di dati necessaria al funzionamento del sistema MaaS.

La piattaforma digitale, pensata soprattutto sotto forma di app, è l'interfaccia principale tra l'utente finale e il provider. Attraverso questo canale si accede al sistema, si può pianificare il percorso e si gestisce l'acquisto del biglietto per il servizio. L'utilizzo di questo strumento è reso possibile dall'ampia diffusione degli smartphone, che essendo connessi ad internet possono accedere ai servizi online e ai dati disponibili. In questo ambito, si deve però tenere conto anche della difficoltà di utilizzo di queste tecnologie da parte di chi non vi ha facile accesso, in particolare per le persone anziane [14].

Grazie ai recenti progressi nelle tecnologie legate agli ITS (Intelligent Transport Systems), si è reso possibile integrare le informazioni in tempo reale all'interno dei journey planner [15]. In questo senso, si raccolgono i dati relativi al trasporto pubblico, i dati provenienti dagli utenti in spostamento e dati in tempo reale e di previsione rispetto al traffico stradale. Nel contesto del MaaS, con l'integrazione dei modi di trasporto pubblico tradizionale, la micromobilità on-demand, il car sharing e il ride-hailing, l'utilizzo di questi dati diventa allo stesso tempo indispensabile e più complesso. Ognuno di questi servizi si trova ad avere delle particolarità, come limitazioni negli spostamenti, o disponibilità variabile nel tempo e nello spazio. Il journey planner si trova quindi ad utilizzare queste informazioni e questi vincoli per fornire all'utente un supporto alle proprie scelte, tenendo conto di dinamiche strutturali della mobilità così come eventi eccezionali. Questo sistema deve essere flessibile e facilmente utilizzabile, permettendo all'utente di scegliere tra più opzioni, andando a considerare le varie possibilità di scelta modale lungo il tragitto da compiere. Nel contesto del MaaS, oltre alle preferenze dell'utente è possibile proporre ai viaggiatori di compiere delle scelte in li-

nea con gli obiettivi del provider, soprattutto in materia di gestione della domanda e sostenibilità ambientale ed economica [13].

1.2.5 La topologia MaaS

I sistemi MaaS possono svilupparsi in maniera differente, in quanto il contesto in cui operano e la disponibilità di servizi e opzioni di mobilità possono essere di natura particolarmente variegata. In letteratura sono state proposte diverse classificazioni relative al livello di integrazione dei servizi di trasporto da parte dei provider MaaS. Una schematizzazione di queste definizioni è stata proposta da Santos et al. [16], andando a riassumere due possibili classificazioni nella Tabella 1.1.

Tabella 1.1: Confronto tra le classificazioni del MaaS

Livello	Modello di topologia MaaS	Modello di tassonomia MaaS
Livello 0	<i>Nessuna integrazione:</i> l'utente deve accedere a diversi servizi per programmare e pagare il proprio viaggio, che può comprendere più modi di trasporto	<i>Nessuna integrazione:</i> nessuna integrazione di informazione, pagamento/biglietti e scambi. Modi di trasporto diversi devono essere prenotati e pagati separatamente.
Livello 1	<i>Integrazione delle informazioni:</i> le informazioni di viaggio sono comunicate tramite planner multimodali, che possono anche includere informazioni su percorsi e costi.	<i>Integrazione di base:</i> le informazioni di viaggio sono disponibili in un formato di journey planning, che include alcuni o potenzialmente tutti i possibili modi di trasporto.
Livello 2	<i>Integrazione di prenotazione e pagamento:</i> gli utenti possono trovare, prenotare e pagare il loro viaggio attraverso un singolo servizio in una piattaforma o un'applicazione con una carta di credito preregistrata senza dover uscire dal servizio. Nel viaggio possono essere inclusi più modi di trasporto.	<i>Integrazione limitata:</i> prenotazione e acquisto di viaggi intermodali possono essere possibili, direttamente o indirettamente, e/o è possibile una coordinazione tra modi di trasporto diversi.

Livello	Modello di topologia MaaS	Modello di tassonomia MaaS
Livello 3	<i>Integrazione dell'offerta di servizio:</i> gli utenti possono acquistare bundle e/o pass offerti a diversi prezzi in base a cosa vi è incluso in modo da coprire tutte le proprie richieste di mobilità.	<i>Integrazione parziale:</i> i viaggi con più di un modo di trasporto possono essere prenotati e pagati attraverso una piattaforma o applicazione senza dover uscirne.
Livello 4	<i>Integrazione degli obiettivi collettivi:</i> il ruolo del MaaS è di offrire un'alternativa completa all'auto privata, migliorare i servizi di trasporto e raggiungere gli obiettivi di mobilità, economici e collettivi proposti. Questa fase richiederebbe la partecipazione delle autorità pubbliche nel sistema MaaS.	<i>Integrazione completa in certe condizioni:</i> alcune ma non tutte le combinazioni dei modi disponibili offrono un'esperienza completamente integrata. C'è un'integrazione completa di informazioni e pagamenti/bigliettazione, ma l'integrazione operativa completa, intesa come scambi veloci e senza soluzione di continuità, potrebbe non essere disponibile in tutti i modi.
Livello 5		<i>Integrazione completa in tutte le condizioni:</i> il MaaS offre servizi di mobilità competitivi con l'auto privata.

L'obiettivo dello sviluppo del MaaS sta quindi nel raggiungere i livelli più alti descritti dai due modelli: un sistema in grado di poter sostituire l'auto privata, rendendo raggiungibili gli obiettivi della collettività attraverso un sistema di trasporto multimodale, capillare e flessibile per le esigenze degli utenti.

1.2.6 Il modello economico

La realizzazione del MaaS richiede la collaborazione di diverse figure, in particolare provider, aziende di trasporto, provider tecnologici, autorità locali e nazionali e utenti finali. Il rapporto tra questi deve essere definito in modo da facilitare uno sviluppo del sistema che crei utilità a tutti gli attori, permettendo innovazione in un modo economicamente sostenibile. In letteratura [3, 6] sono stati proposti principalmente tre modelli economici, legati all'entità che svolge il ruolo di provider MaaS:

- **Modello commerciale:** l'operatore MaaS è un ente completamente privato, che si interfaccia con tutti i portatori di interesse, stendendo contratti e stringendo accordi, definendo tariffe e bundle.
- **Modello con controllo pubblico:** il ruolo di provider viene svolto dalle autorità di trasporto pubbliche, che ricercano e rivendono i servizi prodotti da aziende private o da realtà di trasporto pubblico tradizionali.
- **Modello di partnership pubblico-privato:** le competenze del provider vengono condivise dall'ente pubblico e da una società privata, dove il primo si occupa di gestire i rapporti con le aziende di trasporto e la seconda gestisce la piattaforma MaaS.

Si può osservare come un modello puramente commerciale possa essere una soluzione rischiosa per la buona riuscita del MaaS: infatti, un contesto deregolato porta dei rischi notevoli di comportamenti monopolistici e di consolidamento del mercato da parte delle aziende più grandi, soprattutto con piattaforme chiuse e proprietarie. Nel caso, invece, di una partnership pubblico-privato, l'autorità competente ha il potere di intervenire nelle scelte del broker MaaS e soprattutto è nelle condizioni di definire prezzi di acquisto e di vendita dei servizi. Oltre a ciò, l'ente pubblico stabilisce le condizioni per accedere alla piattaforma MaaS, con i relativi incentivi, e può normare il sistema in modo da favorire l'efficienza complessiva del trasporto. Si può infine notare come il modello a completa gestione pubblica possa essere limitante: il provider MaaS, per definizione, deve includere anche modi innovativi, spesso gestiti da aziende private. Sotto questo aspetto, l'azienda pubblica deve essere capace di integrare positivamente realtà di questo tipo, in modo da non impedire l'innovazione, anche con il potenziale rischio di danneggiare economicamente le aziende di trasporto tradizionalmente di proprietà pubblica [2, 6].

Un altro punto da risolvere è la gestione degli introiti: nel trasporto pubblico tradizionale, si accede al servizio attraverso il pagamento di una tariffa relativa al tragitto percorso, corrispondendo una somma prestabilita all'azienda che gestisce la tratta. Nel caso del MaaS, il cliente finale si interfaccia con il provider, pagando la somma relativa al biglietto pay as you go o al bundle ed effettuando in seguito il proprio spostamento utilizzando l'app. La suddivisione degli incassi e la decisione dei prezzi sono strettamente legati alla forma assunta dalla piattaforma MaaS, nelle modalità viste in 1.2.2, ovvero:

- **Integratore:** l'operatore MaaS stabilisce i prezzi relativi ai viaggi multimodali, trattenendo una percentuale fissata. Le aziende di trasporto

ricevono quindi una quota imposta dal provider per l'utilizzo del servizio all'interno dei viaggi del cliente finale. Nello stesso scenario, le singole aziende proporrebbero il singolo spostamento monomodale ad un prezzo deciso autonomamente.

- **Piattaforma:** i produttori del servizio di trasporto fissano tutti i prezzi, e il provider MaaS incassa una percentuale fissata del prezzo finale del viaggio multimodale, che è la semplice somma dei costi dei singoli servizi monomodali.
- **Intermediario:** le aziende di trasporto vendono al provider MaaS le tratte del viaggio ad un prezzo all'ingrosso fissato da loro. In seguito, l'operatore MaaS stabilisce i prezzi finali dei pacchetti multimodali.

L'effetto di questi modelli sul mercato dipende dalla struttura di questo [8]: in un caso non regolato, ovvero in una condizione di mercato libero, delegare ai produttori la scelta dei prezzi a cui il provider acquista i servizi porta inevitabilmente ad una marginalizzazione seriale a discapito degli utenti finali. Nel caso invece di un mercato regolato, dove le aziende sono obbligate a vendere i propri servizi al costo marginale sostenuto, i viaggiatori avrebbero la convenienza massima: i viaggi vengono offerti al prezzo più conveniente possibile, andando però a svantaggio dei produttori. Poiché però il prezzo marginale minimizza i profitti delle aziende, è necessario incentivare la loro partecipazione con dei contributi legati all'effettuazione di viaggi intermodali. Probabilmente la forma di intermediario resta la scelta più logica per l'introduzione del MaaS.

All'interno di una rete multimodale, è interessante osservare anche come sia possibile spartire gli introiti tra le varie aziende di trasporto andando contemporaneamente ad incentivare alcuni comportamenti dei passeggeri. In questo senso, è possibile ipotizzare che i prezzi dei vari servizi di trasporto siano legati alla congestione, andando ad aumentare i costi relativi all'utilizzo di tratte più trafficate e rendendo più convenienti quelle più scariche. Incentivando inoltre le aziende di trasporto al fine di promuovere la collaborazione, è quindi possibile stabilire un metodo equo per la divisione degli incassi, creando un'utilità per tutti gli attori del sistema [17].

1.3 Difficoltà nell'implementazione del MaaS

A distanza di diversi anni dall'introduzione del concetto di MaaS, resta ancora la difficoltà di riuscire a condividerne una definizione precisa e ad avere una terminologia univoca [3]. Anche a causa di ciò, non è possibile affermare

che ad oggi siano effettivamente attivi dei sistemi MaaS. Oltre a questo, è possibile [3, 9] riconoscere degli altri punti critici che in letteratura vengono sollevati da diversi autori.

Innanzitutto, la centralità del trasporto pubblico tradizionale, a causa della sua inevitabile necessità di finanziamenti, rende difficile riuscire a sostenere allo stesso modo le nuove mobilità di trasporto condiviso, che quindi dovrebbe essere in grado di sopravvivere con fondi notevolmente minori. Oltre a ciò, non si può assumere a priori che gli utenti non oppongano resistenza al passaggio a nuovi servizi di mobilità, soprattutto in ambiti extraurbani, dove il trasporto pubblico tradizionale è una garanzia di accessibilità. Da un punto di vista modale, si deve inoltre tenere conto della predominanza dell'auto privata: un cambiamento necessario per un'implementazione efficace del MaaS è certamente il passaggio all'utilizzo di modi di trasporto pubblico, o almeno condiviso [2, 6]. Questo fenomeno non è assolutamente scontato: la libertà di spostamento data dal mezzo privato non è rintracciabile nei modi di trasporto fondamentali per il MaaS.

In secondo luogo, si incontra la difficoltà, già vista in 1.2.2, relativa a quale sia l'ente più adatto a svolgere il ruolo di provider, soprattutto rispetto alla divisione di costi e profitti e alla perdita del rapporto con il cliente delle aziende coinvolte. Inoltre, c'è il rischio di perdita della propria autorità da parte delle aziende pubbliche, che sarebbero a tutti gli effetti solo una delle proposte all'interno di un sistema in cui coesistono realtà pubbliche e private. Il provider, inoltre, deve essere una figura ritenuta affidabile da tutte le aziende partecipanti: per il buon funzionamento del sistema è necessaria una condivisione trasparente dei dati relativi al trasporto.

Un altro punto da affrontare è la necessità di rendere conveniente l'adozione del MaaS per tutti i clienti: che motivo ci sarebbe per un utente del trasporto pubblico di prendervi parte se la propria esperienza di viaggio restasse la stessa? Questo passaggio si rende attuabile grazie alla presenza di un valore aggiunto nell'adozione del MaaS, che deve essere evidente a tutti gli utenti interessati da questo fenomeno. Una dinamica potenzialmente controproducente, invece, è quella dello shift modale dal trasporto pubblico verso eventuali servizi basati sull'automobile: in questo senso, l'introduzione del MaaS può portare ad una maggiore convenienza a non utilizzare le modalità di trasporto condiviso e a minimizzare l'utilizzo del trasporto pubblico. Oltre a ciò, eventuali servizi di questo tipo, se particolarmente convenienti da un punto di vista economico, potrebbero andare a sostituire i modi di trasporto attivi, come i piedi o la bicicletta, utilizzati solitamente per l'accesso e l'ingresso alla rete di trasporto pubblico.

Infine, è importante riuscire ad utilizzare correttamente la terminologia relativa al MaaS, per quanto non ancora completamente definita: non è sufficien-

te la presenza di bundle venduti da una sola entità, ma sono necessari ulteriori strumenti, come per esempio la presenza di un journey planner multimodale che faccia uso dei dati in tempo reale a disposizione.

1.4 Punti a favore dello sviluppo del MaaS

Il concept del MaaS parte da obiettivi che hanno al centro l'esperienza di viaggio dell'utente [2]: un servizio di più alta qualità offerto a condizioni economiche più vantaggiose per il viaggiatore rispetto allo scenario di mobilità attuale. Questo obiettivo di base è ricercato soprattutto attraverso le principali caratteristiche del MaaS [3]: l'integrazione dei vari modi di trasporto, l'accesso attraverso una singola piattaforma, il journey planning intermodale, la presenza dei pacchetti (bundle), le varie modalità di pagamento, il sistema di supporto alle decisioni dell'utente, l'inclusione di servizi ulteriori al trasporto e la cooperazione tra i vari componenti del sistema.

Allo stato attuale, però, non si hanno ancora a disposizione risultati effettivi legati ad esperienze concrete [9]: una buona parte degli aspetti positivi del MaaS risultano essere congetture, basate sulle varie definizioni e proposte del concetto.

All'interno di un contesto in cui è attivo un programma MaaS, l'utente si trova ad avere la massima libertà di scelta rispetto ai propri spostamenti, come visto in 1.2.3. Ciò è reso possibile in primis dall'integrazione di più modi di trasporto: non si è più vincolati al singolo servizio venduto da una sola azienda, ma è persino possibile cambiare modo di trasporto durante l'esecuzione del viaggio. Oltre a questo, si può estendere l'accessibilità dei sistemi di trasporto tradizionali grazie all'aggiunta dei servizi di modalità sostenibile condivisa e, in futuro, anche di sistemi di ride-hailing automatici [6].

La centralizzazione della gestione del trasporto, attraverso la presenza di un'app gestita dal provider del servizio, risulta essere un'altra componente positiva del concetto di MaaS: l'utente si interfaccia con una sola entità, potendo comunque accedere a servizi offerti da diverse aziende [2]. Attraverso lo stesso strumento, il viaggiatore ha anche a disposizione un journey planner multimodale [13, 15]. In questo modo, l'utente ha la possibilità di gestire al meglio il proprio viaggio, in quanto l'applicativo diventa un supporto alle decisioni riguardo il viaggio che si compie. Infatti, attraverso i dati raccolti in tempo reale, è possibile riuscire a prendere decisioni anche durante il viaggio, in modo da poter affrontare eventuali imprevisti interni o esterni al sistema di trasporto. Oltre a ciò, il journey planner deve essere in grado di permettere all'utente di effettuare scelte relative alle proprie preferenze di viaggio, soprattutto in quanto a modo e percorso. Un'altra caratteristica di questa

soluzione è la possibilità di indirizzare le scelte degli utenti verso opzioni più vicine agli obiettivi della collettività, soprattutto in materia di inquinamento e congestione.

La struttura del MaaS, infatti, permette di condizionare il comportamento degli utenti su grande scala attraverso incentivi economici o anche semplicemente proponendo ai clienti alcune soluzioni più in linea con gli obiettivi dell'autorità pubblica di competenza. Per esempio, una delle scelte può essere quella di incoraggiare gli utenti ad utilizzare modi di trasporto più salutari, come la bicicletta o il camminare a piedi [3]. Un altro degli aspetti positivi ipotizzati da più autori [18] è quello ambientale: il MaaS è considerato uno strumento attivamente utile a ridurre le emissioni di CO₂, in particolare attraverso lo shift modale dall'auto privata. Infatti, questo cambiamento modale sarebbe utile a ridurre congestione ed emissioni grazie all'effettiva riduzione degli spostamenti monomodali e grazie all'aumento dell'occupazione media dei veicoli, come nel caso del car pooling. Inoltre, un sistema MaaS prevede anche la presenza di un servizio di car sharing [2, 3]. In questo modo è quindi possibile evitare di possedere un'auto, poiché si ha a disposizione un mezzo in caso di necessità, ma senza averne la proprietà. Un'altra prospettiva futura è quella della disponibilità dei veicoli autonomi [6], che potrebbero potenzialmente soppiantare completamente l'auto privata, con un utilizzo condiviso di mezzi che anche in questo caso può portare ad una riduzione massiva del numero di veicoli circolanti, anche senza la presenza di un robusto sistema di trasporto pubblico tradizionale.

Un altro vantaggio per l'utente del MaaS è economico: l'acquisto dei biglietti avviene attraverso una piattaforma, che dovrebbe permettere sia l'acquisto *à la carte* (pay as you go) che una forma di abbonamento comprendente tutti i servizi disponibili (bundle) [2, 3]. Per il cliente, infatti, si apre la possibilità di accedere anche a servizi considerati accessori allo spostamento principale compiuto, sempre attraverso l'acquisto dello stesso titolo. Si rende quindi necessario riuscire a proporre delle offerte complete e che siano effettivamente attraenti per gli utenti, anche attraverso dei pacchetti personalizzati [12, 19]. In questo modo, i servizi di mobilità possono essere costruiti su misura, attorno alle necessità degli utenti, raggiungendo gli obiettivi di flessibilità, personalizzazione e disponibilità on-demand previsti dalla maggior parte delle definizioni di MaaS [5].

1.5 Propensione degli utenti verso il MaaS

Come già visto in 1.4, il MaaS ha la potenzialità di impattare positivamente sulla vita degli utenti come singoli, ma anche di portare ad un miglioramen-

to rispetto ad alcune problematiche della collettività. Per poter raggiungere questo cambiamento, è però necessario che gli utenti siano effettivamente disposti a cambiare almeno alcune delle proprie scelte rispetto alla mobilità personale. In letteratura sono presenti diverse indagini, effettuate in contesti differenti, relativi all'interesse degli utenti verso questo nuovo paradigma, sia rispetto al servizio in sé che nei confronti di alcuni fattori che possono condizionare le scelte dei viaggiatori.

Una componente che distingue notevolmente i modi di trasporto privati dal trasporto pubblico e condiviso è la privacy: la presenza di altre persone all'interno dello stesso mezzo limita certamente la sensazione di libertà dell'utente. Oltre a questo, il MaaS è reso possibile anche dalla raccolta di quantità massive di dati, provenienti in parte dalle scelte di trasporto degli utenti. In questo senso, gli utenti si trovano a dover condividere, anche solo in maniera anonima, informazioni relative ai propri spostamenti. Una ricerca svolta in Norvegia [20] è andata ad analizzare il rapporto tra le preoccupazioni legate alla privacy e l'utenza MaaS. Si è notato che nell'ambiente dello studio, dove è presente un alto livello di fiducia verso la società, la dimensione della privacy non è una limitazione rispetto all'adozione del MaaS. Ciò è reso possibile dalla maniera sicura attraverso cui sono scambiati i dati, ma la fiducia nei confronti del trattamento dei dati è considerata una componente chiave dell'interesse per l'adozione del MaaS.

Un altro fenomeno il cui impatto si è notato nei trial MaaS in corso è la recente pandemia di COVID-19: i cambiamenti alla mobilità, inizialmente più netti a causa del lockdown e del lavoro da casa, possono avere conseguenze notevoli sull'organizzazione del sistema dei trasporti a causa della modifica delle abitudini dei passeggeri [21, 22]. Da questo punto di vista, prende importanza anche l'aspetto legato al rischio biologico di contagio, che nella fase più critica e nell'immediata ripresa ha avuto un peso notevole sulle scelte dei viaggiatori [22]. Infatti, questa componente ha rimpiazzato almeno in parte gli aspetti di costo e convenienza degli spostamenti, sconvolgendo le decisioni tradizionalmente prese in questo ambito.

Alcune ricerche [19, 23] sono state svolte in contesti dove sono già disponibili sistemi di mobilità simili a quello che potrebbe essere il MaaS, ovvero in realtà molto urbanizzate con una rete di trasporto pubblico piuttosto sviluppata. La pandemia ha avuto conseguenze rispetto alla mobilità anche in zone extraurbane, dove il trasporto pubblico è spesso gestito in maniera diversa, come con minibus o bus interurbani [24]. In alcune realtà, la pandemia ha portato alla chiusura definitiva dei servizi, a causa del basso utilizzo. In altri casi, il servizio è stato reinventato, con il trasporto di pacchi o con il passaggio ad una modalità a chiamata. In questo senso, in alcune realtà si è sperimentata una sorta di forma ridotta del MaaS, con un trasporto flessibile

e responsivo.

Nella realtà di Sidney [19], è risultato che i Bundle MaaS non sono particolarmente interessanti per utenti abituali del trasporto pubblico. Gli autori osservano però che senza aver sperimentato modi di trasporto alternativi è difficile poter scegliere in maniera conscia ed attendibile per le finalità dello studio. Infatti, è possibile che gli utenti possano conoscere questi nuovi servizi proprio grazie alla diffusione della piattaforma, facendoli entrare in contatto con queste nuove possibilità. Un altro aspetto da non sottovalutare è l'estensione dei bundle ai nuclei familiari, essendo l'acquisto di un veicolo privato solitamente legato a più di una persona.

Nel caso di Seul [23], invece, si è notato come gli utenti abituali di automobile siano più restii all'intermodalità, in particolare per quanto riguarda i trasferimenti tra modi diversi, al punto da essere disposti a pagare somme più alte per evitarli. Questo aspetto viene quindi considerato prioritario per riuscire a facilitare lo shift modale proposto dalle varie formulazioni di MaaS. In questa analisi è stato possibile anche riconoscere un legame tra classe socio-economica, abitudini attuali e interesse verso la proposta del MaaS. Infatti, la preferenza più alta tra gli utenti abituali di automobili è risultata essere tra gli appartenenti ad una classe socio-economica più bassa, mentre tra gli utenti di trasporto pubblico è più alta nel gruppo con reddito più alto.

Uno studio effettuato in Germania [25], comprendente residenti in varie città, si è concentrato sui meccanismi di accettazione del MaaS nei potenziali utenti. Una dimensione della scelta, considerata importante dagli autori, risulta essere quella della piacevolezza nell'utilizzo di questo concetto di mobilità: le miglione funzionali e l'utilità dell'ecosistema MaaS sarebbero quindi da considerare insieme alla componente emotiva. Ciò sarebbe possibile creando un senso di soddisfazione psicologica, andando a rafforzare la motivazione dell'utente rispetto alla scelta di mobilità, in particolare nel lungo termine. A causa della centralità dell'utente nel paradigma del MaaS, tutte le scelte da parte del gestore del sistema dovrebbero quindi tenere conto delle componenti motivazionali che portano alla scelta di questo sistema. Per esempio, tra le motivazioni potrebbero esserci l'ottimizzazione dei propri tragitti, oppure la volontà di ridurre il proprio impatto ecologico in termini di produzione di CO₂. Un'altra componente potrebbe essere sociale, per esempio nel programmare un tragitto condiviso con altri. Infine, si pone l'attenzione sull'aspetto economico: l'incentivo monetario iniziale per approdare ad un sistema MaaS può certamente essere utile, ma nel lungo termine è necessario riuscire a creare una qualche forma di valore aggiunto per gli utenti, in modo da mantenere l'attrattività del servizio.

Una ricerca nel contesto di Padova [26], svolta tra i dipendenti del Comune, è andata ad analizzare i fattori relativi all'interesse per un'eventuale adozione

del MaaS e le scelte tra diversi pacchetti potenzialmente offerti. In questo studio si è notato come un reddito alto e una numerosa disponibilità di automobili siano fattori che rendono più difficile un interesse verso il MaaS, così come la vicinanza al luogo di lavoro e l'utilizzo regolare della bicicletta. Al contrario, gli utenti che affrontano viaggi particolarmente lunghi per raggiungere il luogo di lavoro risultano essere più disposti all'adozione del MaaS. Per quanto riguarda i bundle, si è notato un interesse maggiore verso la presenza di sistemi di Park and Ride e monopattini elettrici, mentre sembra non essere particolarmente attraente la presenza del servizio di car-sharing. Una parte degli intervistati si è resa anche disponibile a cambiare le proprie abitudini di viaggio in base al bundle MaaS proposto. Infine, è risultata una resistenza all'adozione del MaaS da chi ha più sensibilità in quanto a questioni di contagio, in particolare alla luce della pandemia di COVID-19, soprattutto a causa della bassa disponibilità ad utilizzare il trasporto pubblico.

1.6 Esperienze già avviate

In diverse parti del mondo, autorità di trasporto e realtà private hanno avviato delle esperienze che in qualche modo possono essere ricondotte, almeno in parte, al concetto di MaaS. Una categorizzazione possibile [2] è legata al livello di integrazione: parziale (integrazione base avente solo parzialmente funzioni di vendita biglietti, pagamento e integrazione ICT), avanzata (funzioni complete di vendita biglietti, pagamento e integrazione ICT) o avanzata con pacchetti di mobilità (offerta di pacchetti mensili o pay as you go).

UbiGo

Uno dei primi progetti pilota avviati è UbiGo, disponibile nell'area di Göteborg in Svezia tra il 2013 e il 2014 [27]. La piattaforma è stata sviluppata con finalità di test e ricerca, andando a coinvolgere un numero ristretto di nuclei familiari per 6 mesi. All'interno del portale UbiGo era disponibile l'acquisto di bundle familiari ed era possibile scegliere di rinunciare all'auto per la durata della sperimentazione, con una relativa compensazione economica. Il gruppo di partecipanti era variegato in età, condizione familiare, possesso di patente di guida, utilizzo di auto e mezzi pubblici, occupazione e reddito. Le entità coinvolte erano sia pubbliche che private, con un provider di terza parte [5].

Il servizio era offerto dalla composizione dei seguenti modi [28]: trasporto pubblico (offerto in biglietti giornalieri a zone, estendibili temporaneamente in caso di necessità), carsharing (con un numero di ore incluse, aumentabili

a pagamento), noleggio di auto (con un numero di ore incluse, aumentabili a pagamento, così come la tipologia di auto), bikesharing (gratis per i primi 30 minuti), taxi (a prezzi agevolati). I costi erano scalati da un credito familiare, a partire da 1200 SEK/mese (all'epoca circa €135). La presenza di UbiGo come provider era inoltre resa più appetibile da alcuni benefit aggiuntivi:

- una garanzia di viaggio: in caso di ritardi nel trasporto pubblico superiori a 20 minuti, UbiGo avrebbe pagato un taxi sostitutivo e recuperato autonomamente i costi dall'azienda di trasporto;
- delle zone tariffarie più generose, estese rispetto a quelle precedenti;
- dei bonus per i viaggi eco-friendly, con assegnazione di punti a viaggi con una produzione di CO₂ ridotta, utilizzabili per servizi esterni.

Nell'esperienza di UbiGo mancava però un journey planner che aiutasse nella scelta di itinerari secondo criteri personalizzati, e si trattava di un contesto relativamente limitato da un punto di vista territoriale. Gli utenti sono stati nel complesso soddisfatti dell'iniziativa, dei relativi miglioramenti dell'esperienza di viaggio e dei nuovi servizi inclusi. Il progetto, una volta terminato, non è stato proposto stabilmente all'interno dell'area in cui si è sviluppato.

Whim

Whim è un provider MaaS attivo da fine 2016 nella realtà di Helsinki, in Finlandia [29]. Negli ultimi anni, si è espanso anche in Austria, Belgio, Giappone e Svizzera. Il servizio, offerto attraverso un'app, offre una pluralità di modi di trasporto [30]: trasporto pubblico, noleggio di biciclette, noleggio di monopattini, taxi e noleggio di automobili. Gli operatori di trasporto sono sia pubblici che privati, mentre Whim è un servizio di terze parti. Il servizio è stato inizialmente offerto attraverso tre pacchetti: pay as you go (l'app agiva da semplice rivenditore), urban (trasporto pubblico illimitato, taxi gratis entro i 5 km con prezzo limitato a 10 euro, noleggio dell'auto a 49 euro al giorno e viaggi in bicicletta da 30 minuti), unlimited (trasporto pubblico illimitato, taxi gratis fino a 5 km, uso illimitato dell'auto a noleggio e viaggi in bicicletta da 30 minuti). I tre pacchetti avevano rispettivamente un prezzo mensile di € 0, € 49 e € 499 [29]. Inizialmente era previsto anche una sorta di valuta interna all'app [5], attraverso cui l'utente poteva in seguito acquistare i servizi di cui aveva necessità, con il vantaggio di poter acquistare pacchetti di crediti di viaggio a prezzo unitario ridotto all'aumentare della quantità. Ad oggi, Whim si offre come intermediario verso il sistema di trasporto pubblico, offrendo però dei vantaggi nel caso di acquisti di abbonamenti, o anche

semplicemente pagando una quota fissa mensile anche nel caso di utenti non abituali [30]. I benefit attuali sono:

- sconti sull'utilizzo dei taxi, fino al 35%;
- prezzi agevolati e fissi per il noleggio di auto, sia in giornata che per una sottoscrizione mensile;
- una corsa gratuita al mese con un servizio di bike sharing.

Attraverso l'app è possibile acquistare il servizio, pianificare il viaggio e quindi combinare i vari modi di trasporto, come più comodo all'utente.

Transport for New South Wales

Lo stato australiano del Nuovo Galles del Sud, attraverso la sua agenzia Transport for New South Wales (TfNSW) ha avviato nel 2016 un proprio programma MaaS [10], all'interno di una strategia a lungo termine per i trasporti statali. All'interno di questa programmazione, sono stati indicati gli obiettivi ricercati da un punto di vista trasportistico: un trasporto pubblico digitalizzato, automatizzato, smart e ad alta capacità; servizi complementari condivisi e responsivi alla domanda; sistemi per raccogliere dati, condividerli ed analizzarli; informazioni e sistemi di pagamento senza soluzione di continuità.

Per permettere queste trasformazioni, il governo locale si è impegnato ad effettuare alcune modifiche alle legislazioni riguardanti il trasporto, come la gestione dei taxi, dei veicoli a noleggio e del ride-hailing. Oltre a questo, le modifiche regolatorie hanno riguardato i contratti del trasporto pubblico, spingendoli verso realtà multimodali e più flessibili. TfNSW ha inoltre creato un portale di open data contenente tutte le informazioni del trasporto pubblico della zona, dagli orari alle posizioni in tempo reali dei mezzi. Allo stesso tempo, si è lavorato sulla piattaforma dei pagamenti, estendendola dal trasporto pubblico ai servizi di mobilità privati. Il governo locale ha inoltre reso possibile una collaborazione diretta con aziende e startup, attraverso un acceleratore per il futuro del trasporto.

A partire dall'estate 2022, TfNSW ha iniziato ad offrire un progetto pilota chiamato Opal+ [31], attraverso il quale gli utenti possono sperimentare un sistema MaaS completo, dalla pianificazione del viaggio al pagamento della tariffa attraverso la piattaforma. Sono presenti dei bundle basati sulla distanza percorsa e il numero di viaggi effettuati per settimana, lasciando libertà completa all'utente circa i modi di trasporto scelti, tra quelli offerti da TfNSW. Sono inclusi inoltre dei servizi aggiuntivi ad integrazione della rete

di trasporto pubblico, come sconti su servizi di car pooling, taxi, parcheggio e biciclette elettriche a noleggio.

Moovit

Moovit è un'app gratuita lanciata nel 2012 con la finalità di guidare le persone a spostarsi in città in modo efficace e conveniente utilizzando qualsiasi opzione di mobilità [16, 32]. All'interno del servizio sono raccolti i dati relativi a tempi di viaggio, orari e costi di tutti i modi di trasporto disponibili. Oltre a questo, l'app recupera dati in tempo reale attraverso flussi di dati pubblici, ma anche e soprattutto grazie agli utenti dell'app attraverso gli spostamenti quotidiani. Inoltre, una community diffusa a livello globale contribuisce attivamente a migliorare ed integrare le informazioni incluse all'interno del servizio. In questo modo, Moovit dichiara di avere a disposizione il più grande database di mobilità a livello globale: l'app è utilizzata da 1,7 miliardi di persone in 112 paesi e più di 3500 differenti aree urbane.

Una delle caratteristiche basilari del MaaS non presente in Moovit è quella del pagamento di un unico biglietto per l'intero spostamento: in alcune zone viene offerta la possibilità di acquistare alcuni tratti degli spostamenti, ma non è presente alcuna tipologia di bundle o sistema generale di pagamento. Moovit si presenta come un provider MaaS, proponendo una serie di strumenti per la pianificazione, gestione e analisi dati a livello urbano, così come per la gestione della mobilità in caso di eventi con una presenza importante di pubblico. Infatti, il servizio offre, per realtà specifiche interessate, la personalizzazione app, la bigliettazione, l'analisi dei dati, la gestione di servizi a chiamata e il monitoraggio delle flotte. Queste funzionalità sono legate al sistema di trip planning multimodale che Moovit offre, insieme ai dati sulla mobilità raccolti dagli utenti, con i relativi flussi di spostamento.

1.7 Applicazioni disponibili sul mercato

Negli ultimi anni, diverse realtà hanno sviluppato delle applicazioni, solitamente indipendenti, che si occupano di mobilità multimodale, soprattutto in ambito urbano. Le soluzioni disponibili non agiscono come provider MaaS, ma si occupano solitamente di journey planning e in alcuni casi di bigliettazione, rinviando ai canali ufficiali delle aziende di trasporto. Alcuni applicativi hanno sviluppato dei sistemi di segnalazione del riempimento dei mezzi e di indicazioni dettagliate fino alla posizione consigliata all'interno del mezzo, in modo da accedere più facilmente ad uscite o cambi di linea.

Si riportano nelle prossime pagine alcuni esempi, con degli screenshot ricavati dalle pagine ufficiali sul Google Play Store.

Citymapper

Citymapper è un'applicazione sviluppata nell'ultimo decennio e utilizzata oggi da più di 50 milioni di persone. L'app è disponibile per iOS e Android, ed è specializzata nell'offrire indicazioni di trasporto in tempo reale. Le sue funzionalità sono disponibili nelle principali città mondiali, e includono sia il trasporto pubblico tradizionale che le nuove modalità di trasporto condiviso [33]. Il supporto è specifico per ogni città presente nell'app, infatti solo in alcune realtà è possibile acquistare il biglietto tramite l'app. Allo stesso modo, alcune metropoli più grandi hanno informazioni più dettagliate, come caratteristiche dei mezzi e posizione delle uscite nelle stazioni.

Le Figure 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4 riportano gli screenshot ufficiali [34], con le relative spiegazioni delle funzionalità.



Figura 1.1: Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con le varie opzioni di mobilità disponibili e i mezzi pubblici in arrivo in tempo reale.

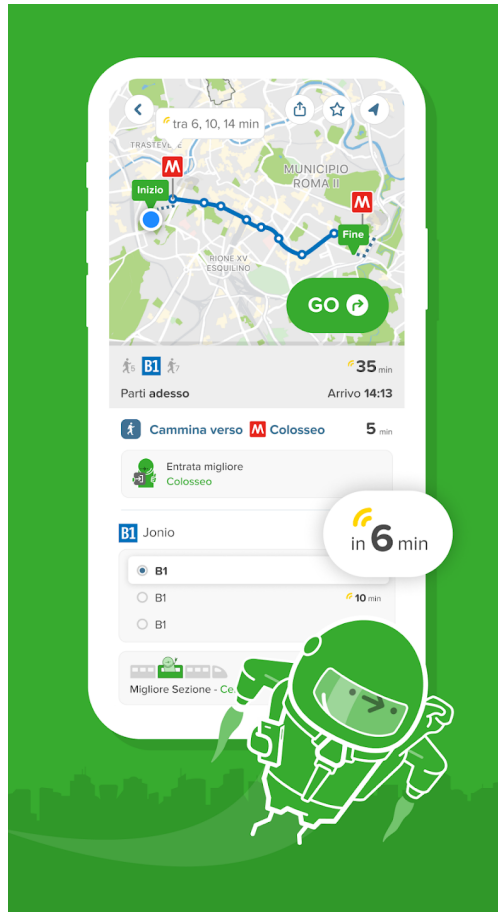


Figura 1.2: Esempio della visualizzazione di un percorso, con alcune opzioni di orario di partenza del mezzo.

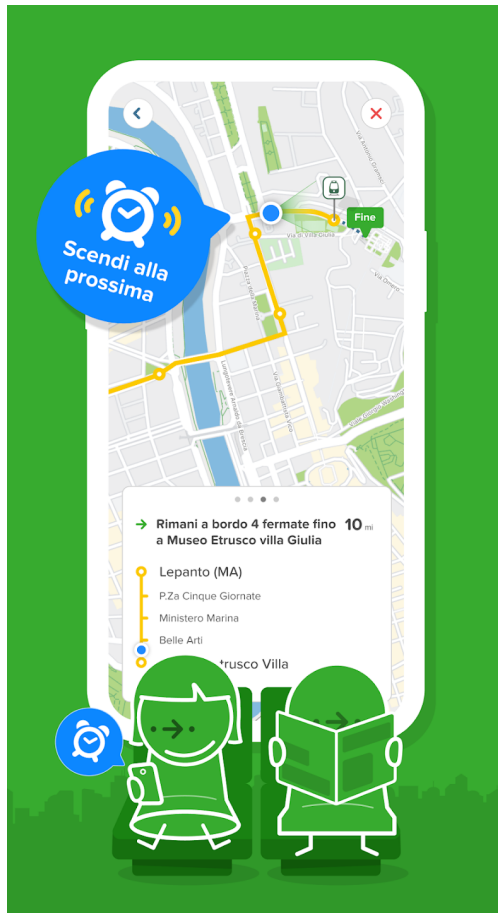


Figura 1.3: Esempio di navigazione in un mezzo pubblico, con l'avviso della fermata a cui scendere.

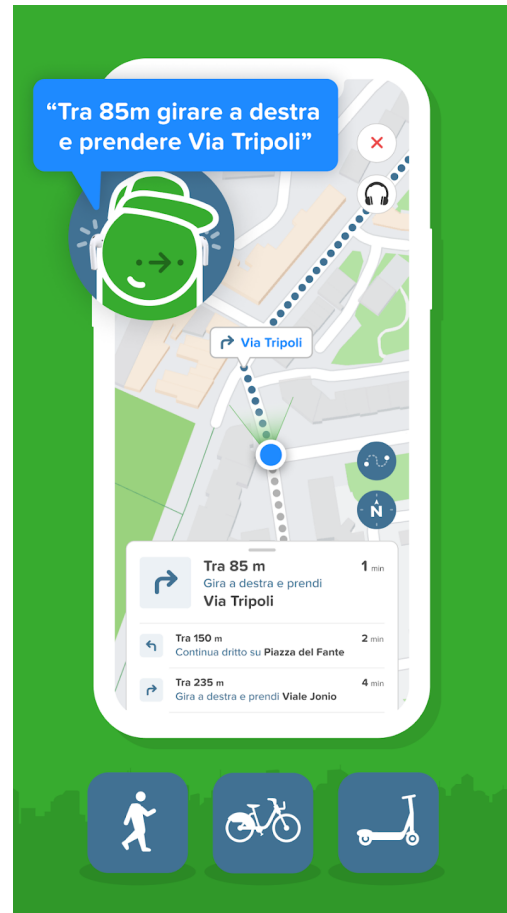


Figura 1.4: Esempio di navigazione vocale per spostamenti a piedi o con mezzi sostenibili.

MooneyGo

MooneyGo è l'app di mobilità più diffusa in Italia, offrendo servizi di vario tipo in più di 500 destinazioni. Conosciuta dal 2013 con il nome di MyCicero, è utilizzata per diverse finalità, in particolare per il pagamento del parcheggio su strisce blu. Oltre a questo, l'app offre la funzionalità di pianificare il proprio viaggio con i mezzi pubblici e in seguito acquistarne il relativo biglietto direttamente dall'app, o acquistare un abbonamento [35]. Questo sistema ha reso possibile l'utilizzo della bigliettazione elettronica anche in realtà periferiche, evitando lo sviluppo di applicazioni apposite. Inoltre, è disponibile la possibilità di accedere anche a dei servizi di mobilità sostenibile condivisa, senza dover uscire dall'applicazione in sé. Le Figure 1.5 e 1.6 riportano gli

screenshot ufficiali [36], con le relative spiegazioni delle funzionalità.

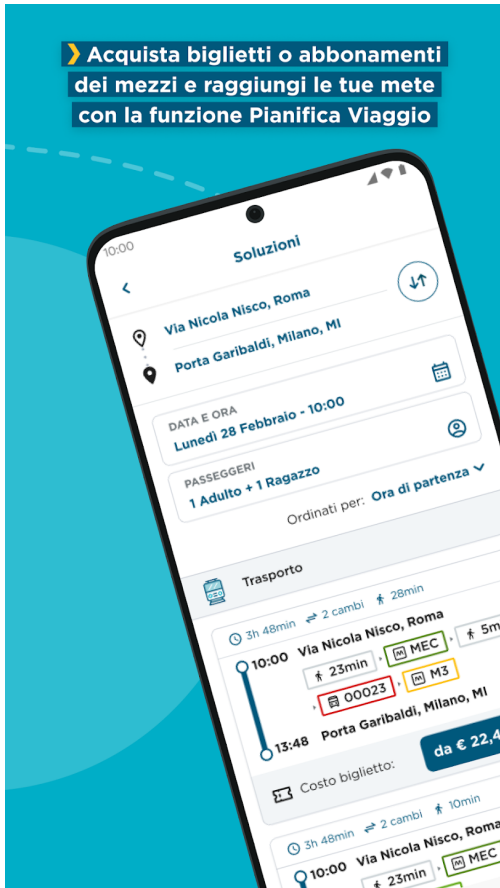


Figura 1.5: Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con la possibilità di acquistarne il biglietto.

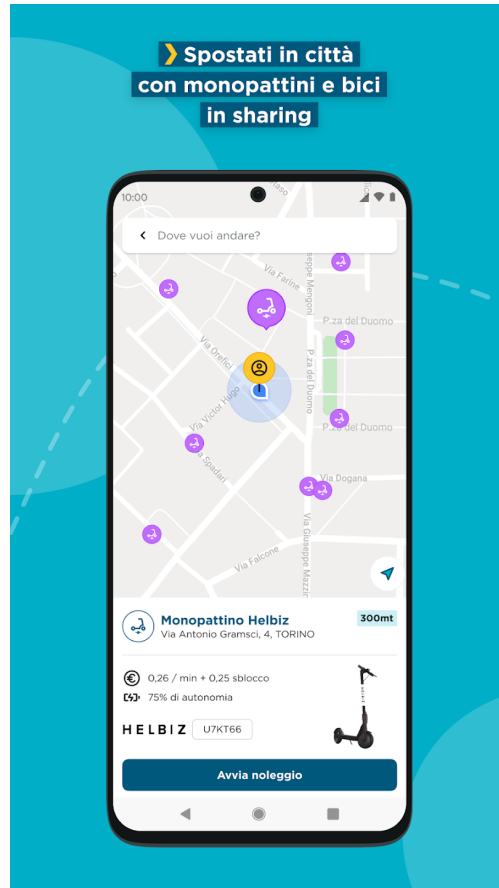


Figura 1.6: Esempio della visualizzazione della posizione dei monopattini condivisi in prossimità.

Moovit

Moovit è un'app disponibile sul mercato dal 2012, di cui si è già parlato nella Sezione 1.6. L'applicazione permette di pianificare il proprio viaggio e di conoscere le gli orari di arrivo dei mezzi di trasporto relativi al proprio percorso o, più in generale, nelle vicinanze. Questa funzione tiene conto sia degli orari pianificati, che degli orari con i ritardi in tempo reale dove disponibili. Dopo la pianificazione del viaggio, è presente anche una funzione di navigazione durante lo spostamento. Nell'app sono integrati anche servizi di taxi e disponibilità di biciclette da stazioni di noleggio o monopattini condivisi. In alcune zone è attivo anche un servizio di bigliettazione, ma non

è particolarmente diffuso [32].

Le Figure 1.7, 1.8, 1.9 e 1.10 riportano gli screenshot ufficiali [37], con le relative spiegazioni delle funzionalità.

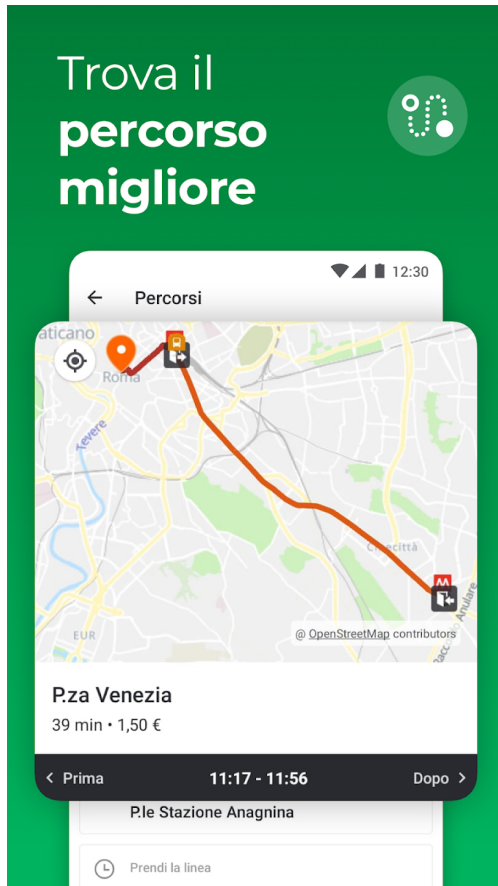


Figura 1.7: Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con il prezzo del biglietto corrispondente.

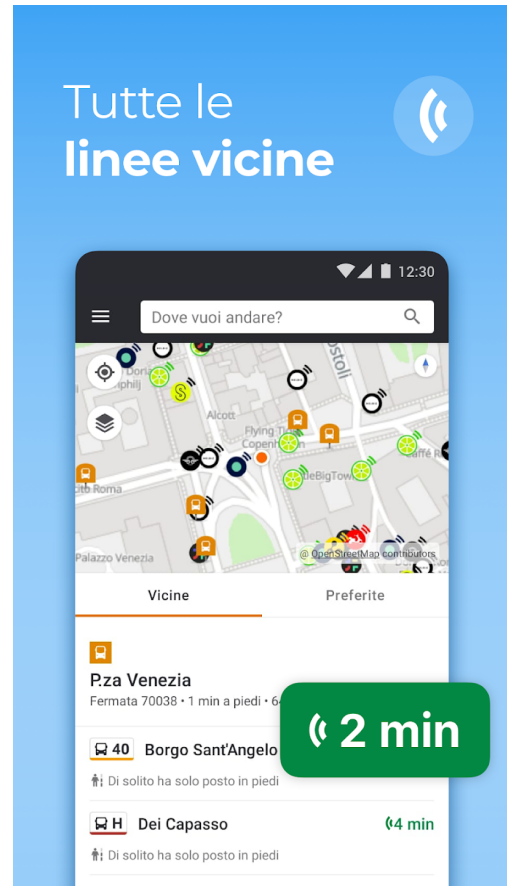


Figura 1.8: Esempio della visualizzazione delle fermate di trasporto pubblico nelle vicinanze, con le relative partenze e, se disponibili, i ritardi in tempo reale.



Figura 1.9: Esempio di pianificazione di un percorso con i mezzi pubblici, con avvisi relativi a ritardi o modifiche programmate.

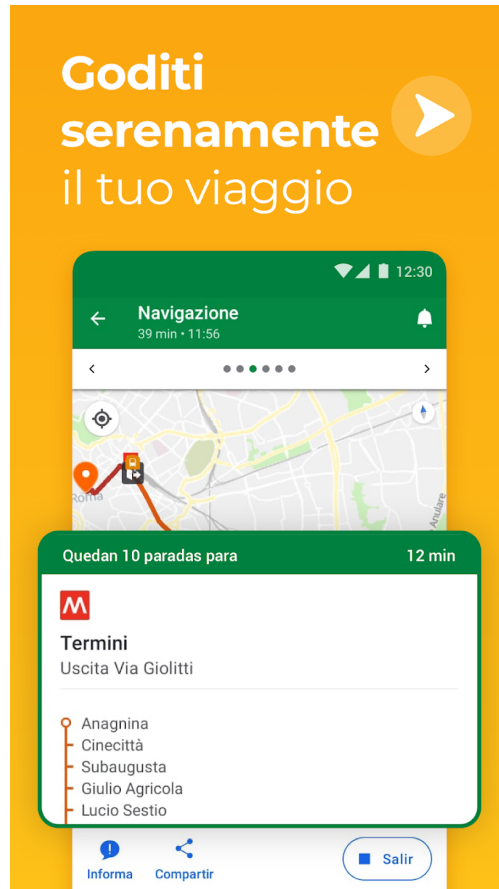


Figura 1.10: Esempio di navigazione durante il viaggio, con l'indicazione del numero di fermate prima di raggiungere la destinazione.

Whim

Whim è un'app nata nel contesto di Helsinki, trattata anche nella Sezione 1.6. Attraverso questa applicazione, è possibile pianificare i viaggi, per poi prenotare ed acquistare i biglietti relativi senza dover ricorrere a nessun altro servizio esterno. Nelle limitate aree in cui il servizio è attivo, è possibile verificare lo stato dei trasporti in tempo reale, ma anche accedere a servizi di noleggio di biciclette e monopattini condivisi. Quest'app permette anche di noleggiare auto e accedere a servizi di taxi. Trattandosi di un'applicazione pensata già in un'ottica di MaaS, è presente la possibilità di acquistare dei pacchetti simili ai bundle: non solo sono disponibili abbonamenti al trasporto pubblico, ma questi portano dei vantaggi aggiuntivi, acquistabili anche

separatamente ad una sottoscrizione mensile, noti come “Whim Plus”.
Le Figure 1.7, 1.8, 1.9 e 1.10 riportano gli screenshot ufficiali [38], con le relative spiegazioni delle funzionalità.

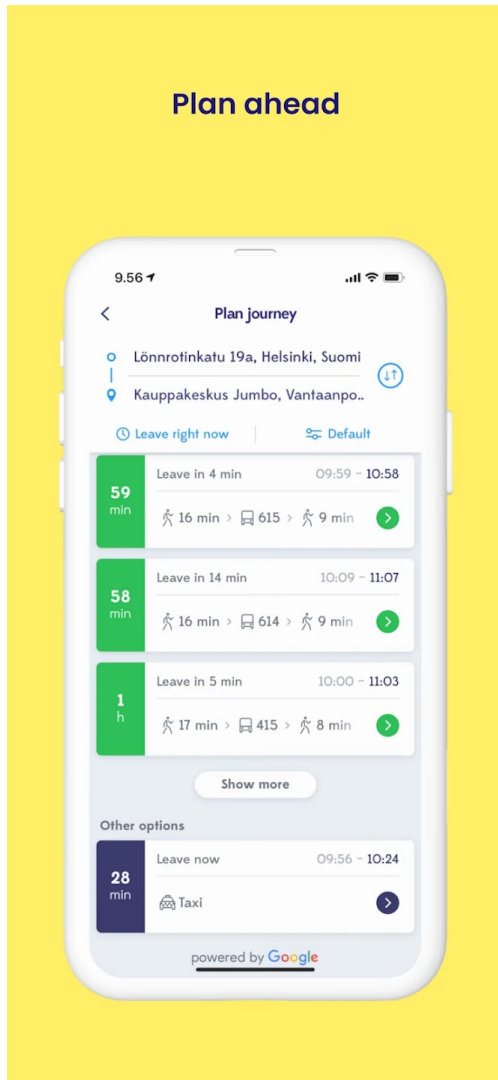


Figura 1.11: Esempio relativo alla pianificazione di un percorso, con diverse opzioni di mobilità.

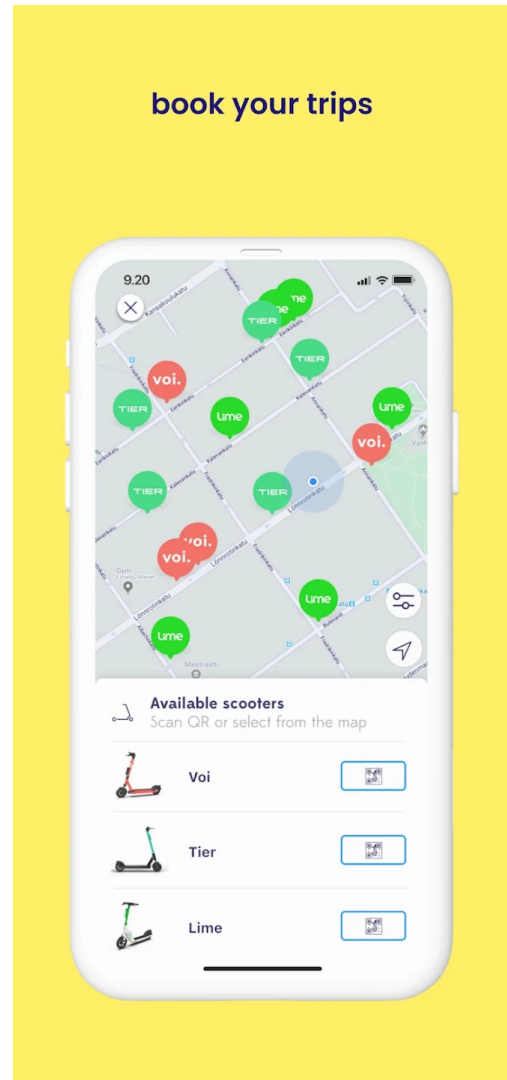


Figura 1.12: Esempio della visualizzazione dei monopattini condivisi disponibili nella zona in cui si trova l'utente.

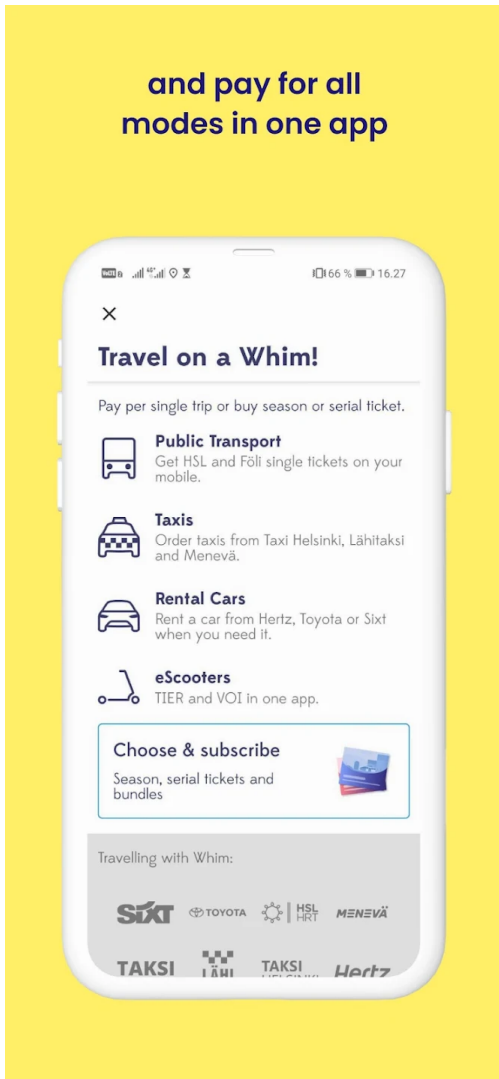


Figura 1.13: Esempio dei modi di trasporto disponibili all'interno del programma.

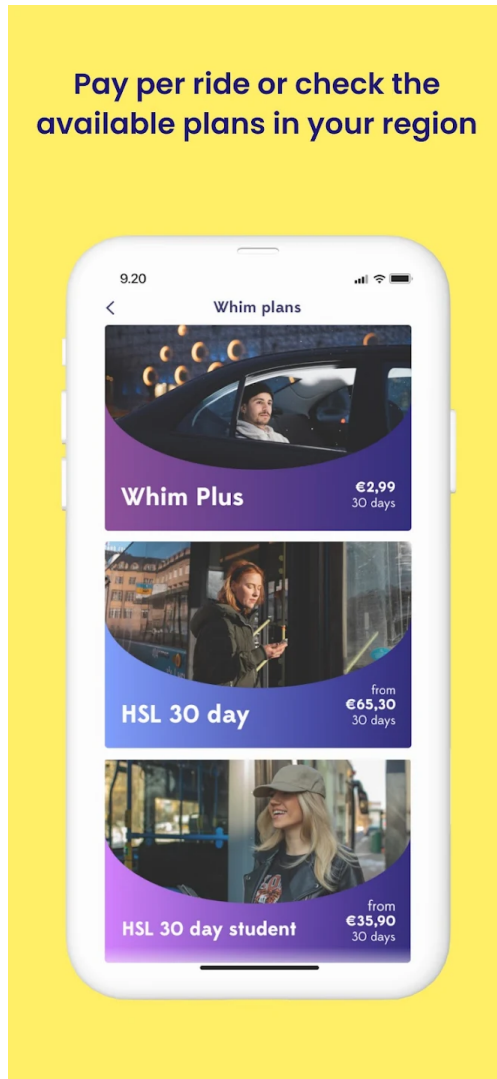


Figura 1.14: Esempio delle offerte di bundle acquistabili con l'app.

Google Maps

Google Maps integra una funzione di pianificazione e navigazione nel trasporto pubblico, inserita tra le opzioni rese possibili nella pianificazione di un tragitto. Questa modalità prevede filtri relativi ad orari, modi preferiti, percorsi a piedi e numero di cambi. Nelle città in cui è disponibile l'aggiornamento in tempo reale della posizione dei mezzi, l'app riesce a proporre percorsi alternativi tenendo conto dei ritardi presenti. Oltre a ciò, in alcune

realtà è possibile conoscere la posizione di mezzi condivisi, come monopattini, o di servizi di taxi con un'indicazione del costo presunto per il viaggio in questione [39]. L'app permette anche di conoscere alcune caratteristiche dei mezzi in servizio, come aria condizionata, accesso per disabili o l'affollamento di un determinato vagone del convoglio. Durante il viaggio, l'app offre indicazioni di navigazione con dettagli sulla fermata a cui scendere, per poi proseguire con dettagliate indicazioni pedonali fino a destinazione. Le Figure 1.15 e 1.16 riportano alcuni screenshot, con le relative spiegazioni.

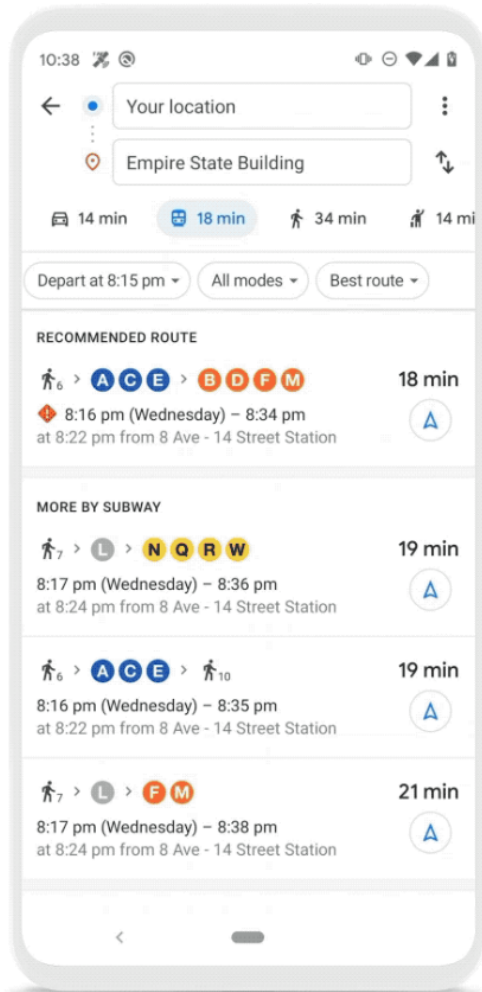


Figura 1.15: Esempio di pianificazione di un percorso con i mezzi pubblici.

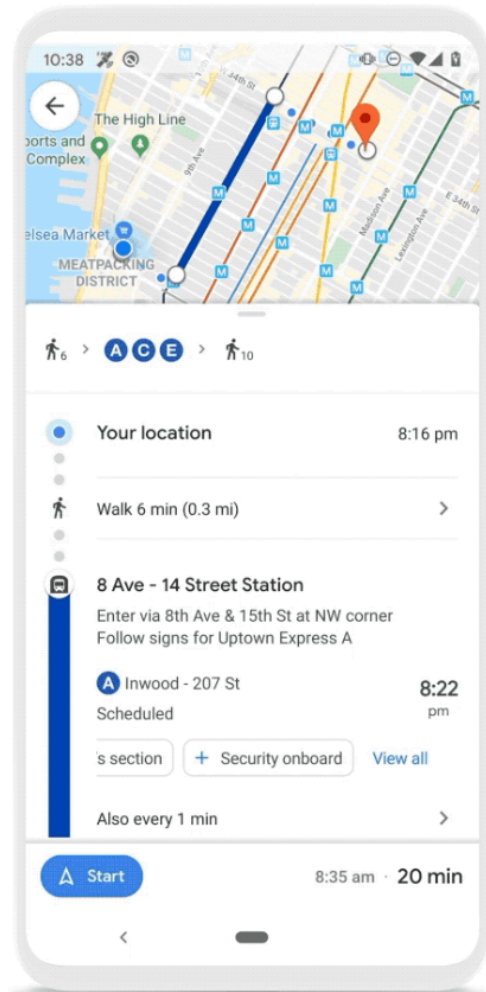


Figura 1.16: Esempio di visualizzazione del percorso scelto, con i relativi dettagli.

1.8 Prospettive future

Come già visto, il MaaS resta una realtà ancora in discussione e non completamente realizzata. Alcuni autori [40] hanno proposto un ulteriore sviluppo, alla luce di alcune difficoltà sperimentate all'interno dei progetti realizzati. Infatti, è possibile notare come nel concetto di MaaS ci si sia concentrati soprattutto sul rapporto tra provider e utente finale, forse sottovalutando l'importanza del rapporto verso le aziende che operano sul mercato del trasporto. In questo senso, è importante notare le difficoltà rispetto alle scelte relative ai prezzi pagati ai fornitori del servizio, ma anche alla collaborazione tra realtà pubbliche e private. Da questo punto di vista, su qualsiasi scala territoriale, da quella cittadina a quella internazionale, si rende necessario riuscire a rendere le relazioni tra aziende utili a creare una collaborazione che possa essere utile per tutti gli attori del trasporto. Un esempio di questo tipo di rapporto è quello sviluppato tra le compagnie aeree, in grado di offrire un sistema di trasporto in cui molti processi sono condivisi, portando l'utente ad avere un'esperienza di viaggio uniformata e capace di integrare tra loro le offerte di diverse aziende. In questo senso, nella realtà del MaaS manca una collaborazione diretta tra i produttori del servizio di trasporto, che prescindano dalla presenza o meno del provider.

La proposta formulata in [40], denominata MaaS_{2.0}, va infatti in questa direzione: avendo lavorato notevolmente sull'interfaccia tra sistema di trasporto multimodale e utente, l'attenzione viene rivolta sul rapporto tra e verso le aziende di trasporto. Questa componente, denominata Collaboration as a Service (CaaS), prevede che gli operatori privati di servizi di micromobilità possano interfacciarsi con i grandi operatori di trasporto pubblico tradizionale in maniera più diretta. Questo sarebbe reso possibile da un approccio all'interazione tra realtà che sia a basso costo e standardizzato, basato su un'intesa e su delle aspettative reciproche, tali da aumentare la fiducia verso gli altri partecipanti alla rete di trasporto. Per ottenere questo, è necessaria la presenza di un contesto tecnologico e istituzionale che vada a standardizzare i rapporti tra le aziende, anche attraverso dei sistemi di bigliettazione intelligente più estesi anche in termini di governance.

Attraverso una collaborazione più stretta, è possibile riuscire a lasciare alle aziende una maggiore libertà nel controllo dei prezzi del servizio di trasporto, basandolo anche sulle necessità dei clienti finali. In questo senso, l'utente finale non diventerebbe escluso dalle dinamiche del sistema MaaS, e anzi resterebbe al centro della scena, poiché la collaborazione tra aziende avrebbe come strumento la valutazione dell'interesse del viaggiatore, e quindi della sua disponibilità a pagare. Grazie a queste informazioni, quindi, e attraverso il lavoro congiunto si rende più semplice offrire un sistema multimodale che

possa rendere più appetibile la partecipazione sia agli utenti che alle aziende.

Capitolo 2

La realtà virtuale (VR)

2.1 Definizioni

Con il termine realtà virtuale (VR) si intende un ambiente generato da un computer che permette l'immersione completa in un modo artificialmente creato [41]. Per rendere possibile il passaggio alla dimensione virtuale, l'utente deve minimizzare la sua interazione con la realtà fisica. Ciò è reso possibile grazie a stimoli sensoriali, in particolare visivi e uditivi, a cui l'utilizzatore viene esposto, andando ad annullare il contesto che lo circonda. Negli ultimi decenni, la VR è stata proposta in diverse forme, in funzione delle tecnologie disponibili e delle applicazioni sviluppate.

Hardware

La modalità di presentazione della VR più diffusa è quella dell'Head Mounted Display (HMD) [42, 43, 44, 45], che consiste di uno schermo posizionato ad una distanza ravvicinata agli occhi dell'utente e osservato attraverso specifiche lenti, in modo da bloccare la visuale dell'utilizzatore sul mondo esterno. Questo apparato, attraverso specifici sensori, fa in modo che il movimento della testa e lo spostamento nello spazio da parte dell'utente gli permettano di esplorare l'ambiente virtuale in un modo simile al mondo reale. Altri dispositivi non dotati di questa funzionalità richiedono invece una periferica esterna per spostarsi nell'ambiente. Il movimento si può quindi controllare grazie a joystick, come solitamente avviene nei videogiochi, oppure attraverso dei tapis roulant omnidirezionali, al quale l'utente è assicurato attraverso una cintura. Con questo tipo di dispositivo, è possibile provare fisicamente la sensazione dovuta al movimento fisico, anche relativamente alla fatica provata nel caso di lunghi tragitti a piedi. Oltre a ciò, sono disponibili sul mercato dispositivi utili a simulare i movimenti a cui l'utente è sottoposto,

come ad esempio nell'utilizzo di un veicolo, dette motion platform o motion simulator. Si tratta di piattaforme o sedie sostenute da appositi motori che effettuano rotazioni e piccoli spostamenti su almeno due assi, in modo da far percepire alcune sensazioni tipiche dello spostamento all'utilizzatore.

L'interazione con l'ambiente è resa solitamente possibile da specifici controller tenuti in entrambe le mani, la cui posizione è riprodotta all'interno della realtà virtuale. Lo schermo che mostra le immagini può essere parte del dispositivo, ma può anche essere quello di uno smartphone posizionato all'interno di un apposito contenitore dotato di lenti. Le immagini mostrate possono essere un mondo 3D generato attraverso dei modelli digitali, che richiedono notevoli operazioni di calcolo da parte dei processori grafici, solitamente in PC particolarmente prestanti. Un'altra opzione è la visualizzazione di video a 360° [43, 45, 46], nei quali l'utente diventa un semplice spettatore, potendo solo ruotare la propria visuale all'interno della sfera del video. Questa soluzione richiede una potenza di calcolo minima, trattandosi di una semplice riproduzione. Fanno parte di questa tipologia di dispositivi soluzioni come i prodotti di Oculus, HP Reverb, HTC Vive e le soluzioni low-cost di Google, come Cardboard e Daydream.

Un'altra modalità possibile è quella del Projector-based display (PBD) [42], che prevede la proiezione di immagini all'interno di una stanza dedicata a queste attività, creando una realtà immersiva per l'utente.

Una terza forma di presentazione di VR è quella di utilizzare un monitor collegato ad un PC [45, 47, 48], in modo da mostrare una simulazione 3D, simile ad un videogioco, all'interno della quale l'utilizzatore la ha possibilità di muoversi utilizzando mouse o tastiera, oppure un apposito joystick.

Software

L'ambiente VR può essere progettato e proposto attraverso diversi applicativi, spesso specializzati, che permettono la costruzione e l'esecuzione di modelli 3D all'interno del quale viene data all'utente la possibilità di muoversi e agire. Tra i programmi più diffusi si trovano Unity [43, 47] e Unreal Engine [45], tipici strumenti utilizzati per lo sviluppo di videogiochi. I modelli inseriti in questi ambienti possono essere sviluppati utilizzando programmi di modellazione 3D come SketchUp [45, 47, 48].

Nel caso di video a 360° è solitamente sufficiente l'utilizzo di app di riproduzione video, con l'unico requisito di essere in grado di riconoscere e riprodurre i movimenti della testa dell'utente all'interno del video.

2.2 Utilizzi

Grazie alla possibilità di far immergere l'utente in una realtà diversa da quella fisica che sta vivendo, la VR può diventare uno strumento molto utile per interagire con situazioni particolari, praticamente difficili o impossibili da realizzare.

Un uso particolarmente diffuso è quello dei videogiochi, nei quali l'utente è maggiormente coinvolto nell'ambientazione e nell'azione svolta [41]. Per queste tipologie di interazione particolarmente dinamiche, è solitamente necessaria la presenza di dispositivi sufficientemente potenti per la generazione delle immagini, come le console Playstation nel caso del visore Playstation VR.

In letteratura è possibile trovare una notevole varietà di esempi di possibili applicazioni della VR, in campi anche diversi tra loro. Per esempio, in ambito medico, si sta utilizzando la realtà virtuale in molti contesti [49]: nella simulazione di interventi, a fini di training o pianificazione, o nell'esecuzione a distanza; nella diagnosi di patologie; nel trattamento di disturbi mentali, attraverso nuove modalità di terapie di esposizione, miglioramenti nell'efficacia della psicoterapia e potenzialmente riduzione di situazioni di depressione; nella terapia fisica con la finalità di ridurre il dolore del paziente. Molte di queste applicazioni permettono una riduzione notevole dei costi di esecuzione e soprattutto una maggior sicurezza per operatori e pazienti, grazie allo svolgimento delle attività in un ambiente controllato e virtuale.

Un altro contesto in cui la VR sta diventando uno strumento interessante è quello dell'educazione [50]. Infatti, la realtà virtuale può essere utilizzata per diversi tipi di esperienze, in una varietà di ambiti di studio. Tra i contenuti più spesso trasmessi con questo strumento ci sono conoscenze pratico-procedurali, come compilare un report e spegnere incendi; conoscenze descrittive, come la conoscenza dei nomi dei pianeti o concetti teorici degli pneumatici; e capacità analitiche e di problem solving, come la diagnosi dei pazienti e l'imparare a programmare. Si può però notare come questi usi siamo ancora in una fase sperimentale, non prospettando quindi un utilizzo su larga scala nel breve termine.

La realtà virtuale ha trovato applicazione anche in alcune ricerche relative al turismo [51], insieme all'applicazione mista della realtà aumentata (AR). La VR è utilizzata per permettere ai clienti di avere un'anteprima più coinvolgente delle strutture in cui potrebbero soggiornare, e in generale per accedere ad esperienze immersive attraverso informazioni aggiuntive, esperienze interattive interessanti e creare immagini mentali delle destinazioni. Realtà virtuale ed aumentata possono quindi essere degli strumenti che vanno a migliorare l'esperienza di viaggio dei clienti, grazie alla loro integrazione con la realtà fisica prima e dopo il viaggio.

Anche in ambito economico, la realtà virtuale è stata al centro di alcune esperienze sperimentali a fini di ricerca [52]. Attraverso questo strumento è possibile creare dei contesti completamente controllati all'interno dei quali immergere gli utenti, in modo da poter analizzare i comportamenti in specifiche situazioni. Infatti, è possibile creare degli ambienti in cui l'acquirente viene condizionato o situazioni in cui la realtà economica viene semplificata per ottenere particolari informazioni. Questo aspetto è certamente utile nel permettere di isolare elementi o circostanze che portano a compiere determinate scelte, cosa spesso difficile nella realtà fisica a causa della non completa controllabilità della situazione. Questi risultati diventano più facilmente ottenibili se la realtà virtuale è sufficientemente sofisticata e credibile, portando ad un comportamento più simile possibile alla vita reale.

Un altro contesto di interesse per quanto riguarda l'utilizzo della realtà virtuale è quello delle simulazioni di evacuazioni [42, 48, 53]. Questo tipo di esperimenti possono avere diverse finalità, ovvero di studio del comportamento degli utenti o di training degli stessi. Nel caso di interesse comportamentale, i soggetti vengono posti all'interno di una situazione di emergenza, mettendoli nelle condizioni di dover scegliere la via di fuga che ritengono più consona al contesto in cui si trovano. Nella scena sono disponibili diverse vie di fuga e sono presenti altre persone, sotto forma di avatar. Questi assumono dei comportamenti diversi a seconda del tipo di test che si sta effettuando, e l'interesse di studio diventa il comportamento di scelta del soggetto anche rispetto all'interazione con gli altri personaggi e il contesto. Per esempio, un gruppo di avatar potrebbe dirigersi verso un'uscita da cui proviene il fumo, mentre un'altra porta apparentemente più sicura non viene scelta da nessun personaggio virtuale. In questo senso, è interessante analizzare il comportamento dell'utente rispetto alla fiducia nei confronti degli altri personaggi della scena, anche rispetto a delle scelte apparentemente controproducenti.

In ambito trasportistico, è possibile rintracciare alcune esperienze in realtà virtuale con focus differenti, dalle scelte di modo alla percezione del tempo. Nel contesto metropolitano di Medellín, in Colombia, si è svolta una ricerca riguardo la sensazione di sicurezza nell'utilizzo di diversi modi di trasporto [46]. L'esperimento si è sviluppato con l'utilizzo di video a 360°, dopo aver scartato l'opzione di un ambiente ricreato in 3D, avendo considerato che questa soluzione avrebbe perso elementi importanti per la valutazione di interesse. I video, registrati per ogni modo di trasporto in diverse situazioni e momenti della giornata, sono stati la base di un quiz cartaceo successivo, relativo ai modi visualizzati. L'obiettivo dell'utilizzo di modalità immersive era quello di far vivere all'utente alcune situazioni in modo più realistico possibile, così da ottenere risposte più realistiche dell'utilizzo del solo que-

stionario e uniformi tra loro.

In un'altra ricerca [54], finalizzata alla valutazione del tempo percepito all'interno di un mezzo di trasporto affollato, si è creato un ambiente generato al computer di un vagone ferroviario più o meno affollato, attraverso la presenza di avatar animati. I soggetti venivano quindi immersi nella realtà, con una discreta libertà di movimento fisico. Una volta avviato il viaggio, si misurava l'andamento della frequenza cardiaca. Al termine dell'esperienza era chiesto ai soggetti di indicare la durata percepita del viaggio, in modo da paragonarla a quella effettiva.

La VR può essere utilizzata anche per esperimenti legati al movimento pedonale all'interno di edifici [55]. Infatti, la raccolta dati relativa, ad esempio, ai percorsi scelti è più semplicemente registrabile, grazie alla raccolta automatica dei dati, non necessitando quindi di una elaborazione manuale certamente più dispendiosa. Inoltre, si rende possibile effettuare questi tipi di esperimenti in contesti liberi da terzi che potrebbero disturbare le attività svolte di soggetti.

Per esperimenti relativi ai pedoni, è possibile andare ad analizzarne il comportamento anche in contesti più complessi, quali gli attraversamenti di un'arteria stradale [44]. In questo caso, la VR va a sostituire la sola immaginazione nel caso in cui si chieda ai soggetti indicare la preferenza tra diversi tipi di attraversamento stradale. Infatti, attraverso questo sistema, l'utente è calato all'interno della scena, con una molteplicità superiore di stimoli esterni. In questo modo, è possibile simulare in maniera piuttosto realistica l'andamento del traffico veicolare, così come mostrare esplicitamente alcune soluzioni, come attraversamenti semaforizzati o sovrappassi pedonali. Un altro elemento non indifferente è la possibilità di aggiungere altri pedoni nella forma di avatar, con comportamenti diversi e magari scorretti. Il soggetto si trova quindi ad effettuare la propria scelta anche in confronto a decisioni di altri, potenzialmente sbagliate e pericolose, simulando in maniera più dettagliata la realtà fisica.

2.3 VR ed esperimenti di scelta

Alcune ricerche [43, 44, 45, 47, 56] si sono concentrate sul rapporto tra esperimenti di scelta e realtà virtuale. Infatti, la possibilità di isolare il soggetto della ricerca all'interno di una dimensione virtuale permette di controllare completamente l'ambiente in cui questo si muove. Questa condizione si dimostra quindi interessante a creare una realtà nella quale i soggetti vengono esposti agli stessi stimoli, minimizzando l'influenza di fattori esterni o troppo legati ad esperienza di vita personali. Da un altro punto di vista, è possibile

far entrare gli utenti in situazioni che non hanno mai vissuto o che non sono ancora realizzate nella realtà fisica.

Dal punto di vista della ricerca, gli esperimenti riguardanti le preferenze degli utenti possono essere svolti in particolare in due modalità: la Revealed Preference (RP) e la Stated Preference (SP) [43]. Il primo si basa su osservazioni del comportamento effettivo dell'utente, in modo da identificarne le preferenze. Il secondo, invece, parte da dati provenienti da domande almeno in parte ipotetiche. Tra i metodi di SP si possono evidenziare i Discrete Choice Experiment (DCE), utilizzati per osservare comportamenti individuali di risposta rispetto a scenari ipotetici, andando a valutare l'influenza degli attributi nel processo di scelta [44]. Si può notare come i DCE, solitamente svolti sotto forma di quiz cartacei, possano essere considerati poco realistici: certe condizioni ipotetiche, per quanto descritte a parole o immagini, si rendono difficili da immaginare in maniera efficace. La realtà virtuale può quindi diventare uno strumento per evitare queste difficoltà, rappresentando in maniera tangibile lo scenario.

2.3.1 Elementi positivi della VR

L'immersione in un ambiente virtuale dell'utente è quindi uno strumento utile ai fini della ricerca, la cui efficacia è stata oggetto di diverse ricerche in letteratura. Infatti, è possibile avere un maggior controllo sulla scena rappresentata [43], dovendo andare a scegliere e progettare ogni elemento presente nella dimensione virtuale. In questo senso, è quindi possibile andare a rappresentare scene certamente più complesse e con più variabili [44]. Il maggior dettaglio e la scena più realistica rendono maggiore l'impressione di trovarsi nella scena simulata [43, 45], migliorando la concentrazione dell'utente e rendendo possibile ottenere delle sensazioni affettive e oggettive più affidabili e naturali [43, 44, 45]. Oltre a ciò, è possibile ottenere più informazioni, con una precisione e sicurezza maggiori, portando a dati più affidabili [43, 45, 47] e raggiungendo elevati livelli di standardizzazione a causa dell'omogeneità della presentazione [57]. Inoltre, si può notare come in alcuni contesti gli utenti si trovino a compiere le scelte in VR in maniera fedele a quanto fatto nella realtà [57], nonostante le notevoli differenze tra mondo fisico e simulazione virtuale. La rappresentazione visiva non è comunque in assoluto la soluzione migliore [47], anche perché certe informazioni potrebbero essere sottovalutate o ignorate, al contrario di una dichiarazione esplicita resa possibile da un testo scritto, che può comunque essere utilizzato per integrare la componente visuale. Infine, una rappresentazione immersiva non è sempre ecologicamente valida rispetto ad alcune variabili particolarmente soggettive. Da un punto di vista psicologico, una esperienza si può considerare ecologi-

camente valida se l'applicabilità dei risultati in laboratorio è analoga ad un contesto di vita reale, al di fuori del laboratorio. Nonostante questa limitazione, la visualizzazione immersiva viene comunque considerata più affidabile di semplici immagini statiche [56].

2.3.2 Difficoltà legate all'utilizzo della VR

La realtà virtuale resta una modalità nuova e non testata in maniera estesa per quanto riguarda il suo utilizzo in ambito di ricerche sulle scelte degli utenti. Infatti, la letteratura in riguardo non è particolarmente estesa e non univocamente concorde sulla completa utilità di questo strumento. Una delle difficoltà più esplicite è quella dei costi [44, 45], dovuti certamente alle maggiori necessità di progettazione e funzionamento, legati alle potenze di calcolo richieste per la simulazione 3D e i relativi dispositivi specifici, come il visore ed eventuali strumenti per il controllo degli spostamenti nell'ambiente virtuale. La realtà virtuale, inoltre, si limita solitamente a rappresentare immagini e suoni, andando a coinvolgere in maniera notevole vista ed udito, ma tralasciando altri input sensoriali, quali temperatura e odori [56], che sono parte integrante di una scena fisica reale. Un'altra difficoltà segnalata è relativa alla novità nell'utilizzo di questi sistemi: gli utenti non sono abituati a questa modalità di raccolta dati, causando distrazioni e reazioni di stupore all'ingresso nella simulazione [44].

Una problematica legata all'immersione in VR è quella del mal da movimento, noto nel contesto virtuale come cybersickness. Un'analisi di letteratura specifica su questo tema [58] ha preso in considerazione le motivazioni che portano a queste difficoltà nell'utilizzo della tecnologia. In particolare, si nota come lo stimolo visivo di un movimento non corrisposto ad alcuna sensazione di spostamento fisico porti alla manifestazione dei sintomi del malessere da VR. Una classificazione possibile delle cause di questa condizione è attraverso tre componenti dell'esperienza virtuale: l'hardware, il contenuto e i fattori umani. Nello specifico, per quanto riguarda l'hardware è necessario tenere conto del tipo e del modo di schermo, del campo visivo, della latenza e dello sfarfallio. Dal punto di vista del contenuto, si riconoscono alcune cause tra il flusso ottico a cui l'utente è sottoposto, il realismo grafico, il quadro di riferimento, il campo visivo del contenuto e la controllabilità. Tra i fattori umani che contribuiscono alle difficoltà di utilizzo, invece, risultano esserci in particolare età, genere ed esperienze VR passate e suscettibilità personale al mal da movimento.

2.4 Il feedback relativo all'esperienza in VR

In alcune esperienze [53, 54], al termine dell'attività immersiva, gli utenti sono stati sottoposti a questionari relativi all'esperienza appena vissuta, le cui domande riguardano l'ambiente di simulazione e le modalità con cui gli utenti vivono la realtà virtuale. Si indaga infatti sulla realistica dell'ambiente virtuale, sia rispetto al tipo di evento simulato che per quanto riguarda il contesto spaziale in cui avviene l'azione studiata. Un'altra dimensione di interesse è quella emotiva, ovvero i sentimenti provati dall'utente all'interno della VR, in particolare rispetto al tipo di esperimento vissuto, e della volontà di intervenire nel caso di simulazioni di emergenze. In questo senso, si può indagare anche sulla piacevolezza dell'esperienza, sia rispetto alla situazione vissuta che per quanto riguarda l'utilizzo dell'apparecchiatura VR. Si chiede inoltre al soggetto di indicare se si comporterebbe allo stesso modo in una situazione reale, in modo da poter stimare la validità di questa modalità di raccolta dati.

La ricerca di Lovreglio et al. [53] ha ricevuto un feedback positivo per quanto riguarda il realismo del mondo virtuale e della scena simulata, ovvero quella di un incendio, mentre gli avatar presenti nella scena non sono stati considerati altrettanto realistici. La simulazione è stata ritenuta semplice da utilizzare, ed è stato dichiarato un coinvolgimento emotivo: la maggior parte dei partecipanti ha riconosciuto di aver provato un sentimento di urgenza nell'intervenire nell'emergenza simulata, come nella vita reale.

Sadeghi et al. [54], invece, si sono concentrati sulla piacevolezza del viaggio simulato, avendo come obiettivo la valutazione dell'effetto dell'affollamento di un vagone ferroviario nel contesto del trasporto pubblico. Nel caso specifico, l'andamento della piacevolezza ha seguito i valori attesi, ovvero con una diminuzione al crescere dell'affollamento, facendo quindi notare come non ci sia un effetto peggiorativo o migliorativo dovuto all'utilizzo della VR per questa valutazione. In questo senso, si può riconoscere che gli utenti hanno potuto vivere l'esperienza in un modo realistico e senza effetti negativi sull'affidabilità delle sensazioni e emozioni provate durante l'esperimento.

Parte II

Il caso studio

Capitolo 3

Presentazione del caso analizzato

Il Mobility as a Service, come visto in precedenza, resta tutt'ora un concept sostanzialmente inattuato, in particolare a causa delle difficoltà economiche, gestionali e informatiche che stanno alla base del sistema di trasporto. L'interesse degli utenti su questo tema diventa quindi difficile da quantificare al di fuori di esperimenti di scelta Stated Preference (SP) basati sulla sola immaginazione personale, vista la scarsissima diffusione di sistemi di trasporto effettivamente funzionanti con questa logica. Con questo elaborato si propone quindi di utilizzare lo strumento della realtà virtuale per far vivere un'esperienza di viaggio ad alcuni soggetti, completa di diverse alternative modali per compiere il proprio spostamento. La simulazione consiste nello svolgimento di un tragitto tra un'origine e una destinazione definiti, avendo un motivo dichiarato e in condizioni ambientali invariate. Durante questo viaggio, gli utenti saranno immersi in maniera completa in una simulazione 3D di una città di medie dimensioni, all'interno della quale sono disponibili diversi modi di trasporto privati, pubblici e condivisi per compiere lo stesso spostamento. In questo modo, i soggetti sottoposti agli esperimenti di scelta si trovano ad aver vissuto la stessa esperienza all'interno di uno stesso ambiente, andando a far sperimentare agli utenti la scena in un modo immersivo, senza essere limitati alla sola immaginazione personale come nel caso dei tradizionali esperimenti puramente testuali.

La realtà fisica, per sua natura, si trova ad avere un altissimo livello di complessità, rendendo sostanzialmente impossibile una replica completa e identica del suo funzionamento. Per lo stesso motivo, una simulazione in ambito trasportistico deve essere preparata andando a lavorare solo su alcuni aspetti, ovvero quelli di effettivo interesse per la ricerca che si va a compiere. Infatti, avendo come interesse la componente trasportistica, l'esperienza deve anda-

Capitolo 3. Presentazione del caso analizzato

re ad essere disegnata avendo una particolare cura per gli aspetti relativi ai mezzi di trasporto, alle infrastrutture stradali e al traffico su quest'ultime.

Per riuscire a concretizzare maggiormente quest'idea, questo lavoro di tesi si è focalizzato sulla simulazione di un viaggio sistematico, per motivi di studio, tra la zona della stazione ferroviaria di Padova e il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale (DICEA) dell'Università di Padova, rappresentata nella mappa visibile nella Figura 3.1.



Figura 3.1: L'area di studio, con i punti di origine e destinazione dello spostamento (OpenStreetMap).

Questo tragitto, compiuto giornalmente da centinaia di studenti, offre la possibilità di coinvolgere un discreto numero di modi di trasporto. Infatti, la realtà di Padova, città di poco più di 200000 persone, è dotata di una rete di trasporto pubblico locale capillare e di una serie di alternative di trasporto condiviso, come biciclette e monopattini elettrici a noleggio. Lo spostamento in questione, relativo ad una distanza in linea d'aria di circa 1 km, può essere compiuto in pochi minuti con tutti i modi di trasporto disponibili, rendendo possibile agli utenti la sperimentazione delle varie alternative in un tempo relativamente contenuto.



Figura 3.2: L'area di studio, con rappresentazione delle linee di trasporto pubblico (rosso, arancione e azzurro) e i principali percorsi ciclabili (blu tratteggiato).

Per rendere possibile la progettazione dell'esperienza, è necessario conoscere l'area di interesse, andando ad analizzare le infrastrutture stradali e ciclopodali, il sistema di trasporto pubblico, le aree di parcheggio per autoveicoli e mobilità dolce ed eventuali limitazioni alla circolazione. Per il caso in analisi, la Figura 3.2 rappresenta in modo schematico le arterie e i servizi di trasporto identificati al fine di questa esperienza. A partire dai dati ricavati in questa fase, è stato possibile stimare dei tempi di percorrenza utili per l'esecuzione della simulazione, per quanto riguarda i modi di trasporto utilizzati, i loro percorsi e di conseguenza i relativi tempi di percorrenza.

Si sono quindi definiti i modi di trasporto che entrano in gioco nell'esperienza virtuale, che sono: l'automobile privata, il trasporto pubblico locale (in particolare l'autobus, con accesso a piedi o con mobilità condivisa), la bicicletta privata, il taxi, il car sharing (raggiungendo il mezzo a piedi) e la micromobilità condivisa (monopattino o bicicletta a noleggio, entrambi di tipo free-floating e raggiungendo il mezzo a piedi). Per ognuna di queste alternative, si è andati a cercare quali fossero degli attributi rilevanti che potessero essere utilizzati in maniera efficace negli esperimenti di scelta di cui si parlerà in seguito.

I modi di trasporto

Automobile privata L'automobile privata è il modo di trasporto che permette la massima libertà di spostamento, rendendo possibile qualsiasi tragitto su una rete viaria molto sviluppata e lasciando scegliere liberamente il proprio orario di partenza. All'interno della simulazione in analisi, le uniche due caratteristiche di interesse sono il costo dello spostamento e il tempo impiegato. Quest'ultimo è un elemento piuttosto variabile dato il traffico cittadino, e può essere influenzato anche dalla disponibilità di un posteggio in corrispondenza della destinazione. Nell'area in analisi, si è scelto di posizionare l'origine dello spostamento nella zona della stazione, tenendo conto della presenza di una zona residenziale appena a nord della linea ferroviaria, da cui è possibile immaginare l'inizio del tragitto con un mezzo privato.

Trasporto pubblico Il trasporto pubblico permette invece di spostarsi in maniera collettiva con il pagamento di un biglietto, accendendo ad un servizio che viene erogato con un programma definito, vincolando quindi l'utente agli orari di partenza prestabiliti. Oltre a ciò, i punti di accesso ai mezzi (fermate) sono fissi, dovendo quindi essere raggiunti autonomamente. Per quanto riguarda il contesto in analisi, si nota la presenza di un elevato numero di fermate e di servizi in partenza dal piazzale esterno della stazione, come visibile in Figura 3.3. Si tiene inoltre conto del tempo di attesa prima

di salire sul mezzo, poiché è verosimile legato alla frequenza della linea e al momento della giornata. Oltre a ciò, si prende in considerazione il modo di trasporto utilizzato per compiere il tratto iniziale (o finale) dello spostamento, ipotizzando diverse distanze tra fermate e origine o destinazione del tragitto. Un'altra caratteristica importante di questo modo è l'occupazione del mezzo: il comfort del viaggio è legato anche alla possibilità di potersi sedere e alla vicinanza fisica con altri viaggiatori.



Figura 3.3: I servizi di trasporto pubblico nell'area di studio.

Bicicletta privata Come nel caso dell'automobile privata, con la bicicletta di proprietà non si hanno sostanzialmente limitazioni, con l'aggiunta di poter percorrere percorsi dedicati e poter superare eventuali ingorghi stradali con facilità. Come appena visto, aspetto particolare di questo modo di trasporto è la presenza o meno di infrastrutture dedicate, che assicurano una certa sicurezza agli utenti e che possono essere motivo di scegliere l'utilizzo di questo modo. Da questo punto di vista, come visibile in Figura 3.4, l'area di studio è densamente dotata di infrastrutture dedicate. Infine, non essendo presenti particolari costi legati all'utilizzo e al posteggio del mezzo, l'unica altra variabile di rilevanza è la durata temporale del viaggio.



Figura 3.4: Le infrastrutture ciclabili nell'area di studio, comprendente percorsi dedicati e corsie ciclabili in carreggiata.

Taxi Il taxi è un modo di trasporto molto simile all'automobile privata, dove la principale differenza è relativa alla presenza di un autista che conduce il mezzo al posto del viaggiatore. Anche in presenza di corsie dedicate, il tempo di percorrenza resta simile a quello del mezzo privato, di fronte ad un prezzo notevolmente più alto dovuto alla presenza del conducente. Un modo di trasporto simile è il car pooling, dove i prezzi sono certamente più bassi, ma sul mezzo sono presenti altre persone oltre al singolo utente. In questo caso, i viaggiatori percorrono solitamente lo stesso percorso, avendo origine e/o destinazione in comune. Questo secondo modo è stato escluso nell'analisi a causa del tragitto troppo breve.

Car sharing Un altro modo di trasporto disponibile nell'area di studio è il car sharing, organizzato con un sistema a stazioni dove le automobili, di proprietà dell'ente gestore, sono accessibili agli utenti iscritti alla piattaforma di riferimento. Ipotizzando di raggiungere il mezzo a piedi, una delle variabili in gioco è la distanza tra la propria posizione e la stazione di car sharing, come nel caso del trasporto pubblico. La necessità di recuperare e riportare il mezzo ad una stazione predefinita e la possibilità di parcheggiare in qualsiasi posteggio senza alcuna tariffa sono le uniche differenze tra l'utilizzo di questo modo di trasporto e l'automobile privata. Le altre due caratteristiche di interesse diventano quindi il costo del viaggio (nell'immediato più alto dell'automobile privata ma che a lungo termine fa evitare i costi fissi) e il tempo di percorrenza.

Micromobilità condivisa La mobilità condivisa, diffusasi particolarmente negli ultimi anni, è una forma di trasporto basata su mezzi noleggiati come biciclette (con o senza pedalata assistita) e monopattini elettrici. Nel caso di interesse, è disponibile un sistema free-floating, ovvero senza stazioni definite per il prelievo e la restituzione del mezzo, permettendo l'inizio e la fine del proprio tragitto in maniera libera, con l'unica condizione di restare all'interno dell'area urbana. In questo senso, la vicinanza al primo mezzo disponibile all'inizio del viaggio non è scontata, in particolare durante gli orari degli spostamenti sistematici, quando la domanda è più ingente. Anche questo tipo di mobilità, come la bicicletta privata, permette una notevole libertà di spostamento ed è incentivata dalla presenza di infrastrutture dedicate, come illustrato in Figura 3.4. Oltre a queste caratteristiche, questo modo è contraddistinto anche da una tariffa legata all'utilizzo del mezzo, calcolata a scaglioni orari o con una somma tra un contributo di sblocco e un costo calcolato al secondo, e un tempo di percorrenza simile a quello della bicicletta privata.

Capitolo 3. Presentazione del caso analizzato

A partire da quanto appena analizzato, si sono andati a definire i valori numerici dei vari attributi relativi ai singoli modi, come sarà poi spiegato nel dettaglio all'interno del Capitolo 6.

Capitolo 4

L'app MaaS

Come già spiegato nel Capitolo 1, una componente fondamentale di un sistema di Mobility as a Service è l'applicazione per smartphone (app) attraverso cui l'utente riesce ad interagire con la piattaforma. Infatti, quest'applicativo deve essere dotato di alcune caratteristiche fondamentali al fine di offrire un'esperienza funzionale per permettere ai viaggiatori di programmare e svolgere il proprio spostamento. L'utente deve essere in grado di gestire ogni aspetto del viaggio attraverso l'app, ovvero pianificazione, acquisto del biglietto e svolgimento del viaggio, con un flusso bidirezionale di informazioni che permetta anche agli altri utilizzatori di ricevere dati utili per il proprio tragitto. Nel dettaglio, come già visto nel Capitolo 1, e secondo quanto rintracciabile in letteratura [2, 3], le funzioni ritenute necessarie per l'app MaaS sono:

- **Journey planner**, uno strumento per pianificare in anticipo il proprio viaggio, tenendo conto in particolare delle preferenze dell'utente in quanto ad orari di partenza o arrivo, di modi di trasporto e altre caratteristiche del viaggio, come impatto ambientale, numero di cambi, durata ed eventuale costo. Questa funzione deve essere sostenuta anche da dati storici, che permettano di suggerire percorsi o modi differenti in base all'affollamento o all'allungarsi dei tempi di percorrenza in certe fasce orarie della giornata. Questa funzione può inoltre essere utilizzata, in concerto con le autorità locali, per suggerire alcune alternative di interesse collettivo, come l'utilizzo di modi meno congestionati o campagne relative alla salute dei cittadini, invitandoli a scelte di mobilità attiva.
- **Bigliettazione** per l'acquisto di viaggi singoli (pay as you go) o di pacchetti (bundle) per l'utilizzo di tutti i modi previsti all'interno del sistema MaaS. In questo modo, l'utente acquista i titoli di viaggio attraverso l'ente gestore del sistema, che presenta le varie alternative

possibili prevedendo pacchetti specifici, potenzialmente anche progettati su misura per alcune fasce della popolazione. L'applicazione diventa quindi anche la piattaforma che deve gestire i pagamenti da parte degli utenti, secondo le modalità previste dall'operatore del sistema.

- **Navigazione con integrazione di dati in tempo reale**, durante lo spostamento vero e proprio. In seguito alla pianificazione, l'utente inizia il proprio viaggio seguendo quanto stabilito in precedenza, ma le condizioni della rete potrebbero essere variate, in particolare nei momenti di punta. Il ruolo dell'applicazione è quindi di guidare il viaggiatore nel suo percorso, tenendo comunque monitorate le circostanze nelle quali questo avviene. Nel caso in cui ci fosse qualche alternativa più conveniente, l'app dovrebbe proporla, tenendo conto delle possibilità dell'utente rispetto al biglietto di cui è in possesso. Nel caso in cui qualche scelta notevolmente più conveniente non fosse accessibile con il titolo di viaggio in possesso, è possibile integrare con l'acquisto di un altro biglietto.
- **Informazioni in tempo reale** relativi all'area di interesse dello specifico utente, in modo da prevedere eventuali allungamenti dei tempi di percorrenza o impossibilità di raggiungere alcune aree con alcuni modi di trasporto. Per quanto riguarda le interruzioni programmate a causa di lavori, l'app può diventare uno strumento per interagire con più facilità con i clienti e proporre opzioni differenti, o persino un indennizzo per questo tipo di disagio. Oltre a ciò, l'app può mostrare informazioni sul comfort di viaggio, rispetto ad affollamento dei mezzi, tempi di attesa alla fermata e livelli di congestione stradale. In questo senso, nel caso in cui si verificasse qualche tipo di situazione emergenziale non prevedibile, invece, attraverso l'applicazione sarà possibile essere informati con un congruo anticipo in modo da poter anticipare la partenza anche di spostamenti sistematici.

Lo sviluppo di un'app avente queste funzioni richiede un impegno notevole, in quanto deve essere in grado di svolgere diverse funzioni in tempo reale, avere una piattaforma di pagamenti e riuscire a gestire un flusso di dati particolarmente ingente. Al fine di questa tesi, si ritiene di poter proporre solo un concept grafico di come possa essere questa applicazione.

4.1 L'app proposta

A partire da quanto spiegato in precedenza, e alla luce delle soluzioni disponibili sul mercato da parte di diverse app già largamente utilizzate di cui si

è parlato nella Sezione 1.7, si propone ora il concept di un'applicazione che possa essere funzionale rispetto alle necessità di un sistema MaaS nel contesto urbano analizzato, con un servizio avente un livello 3 di topologia e 4 di tassonomia, come da classificazione introdotta nella Sottosezione 1.2.5.



Figura 4.1: Schermata iniziale dell'app proposta.

Come visibile in Figura 4.1, la schermata iniziale dell'app mette a disposizione le principali informazioni utili, ovvero una mappa delle circostanze dell'utente con i principali servizi di mobilità presenti, con la possibilità di pianificare un viaggio. Cliccando sulla mappa è possibile esplorarla, permettendo di visualizzare informazioni inizialmente nascoste o esplorare zone più distanti. Sotto la casella di ricerca, si propongono subito le destinazioni degli spostamenti sistematici più frequenti, in modo da rendere immediato il calcolo dei corrispondenti tragitti. L'app rende possibile anche inserire alcuni luoghi preferiti per rendere più semplice la navigazione. Nella scher-

mata iniziale si possono trovare anche i richiami ad alcune sezioni relative ad informazioni in tempo reale, in particolare le modifiche al funzionamento standard della rete dei trasporti e le partenze dalle fermate circostanti. La sezione relativa a ritardi e lavori in corso mette al corrente l'utente di tutte le notizie che possono condizionare negativamente i suoi spostamenti, tenendo conto sia della congestione ordinaria che di eventuali incidenti, nonché annunciando con adeguato anticipo le modifiche alla circolazione ed eventuali lavori stradali in corso. Infine, c'è un collegamento alla sezione "Prossime partenze", visibile in maniera più esplicita nella Figura 4.2.



Figura 4.2: Esempio delle prossime partenze nelle vicinanze.

In questa sezione, l'utente può vedere in tempo reale i mezzi disponibili nelle proprie vicinanze, sia per quanto riguarda i servizi di trasporto pubblico che la mobilità condivisa. La sezione dedicata al trasporto pubblico locale permette di conoscere le fermate più vicine e i relativi tempi di attesa, mentre

nel caso della stazione ferroviaria più vicina sono indicati gli orari di partenza. In entrambi i casi, è possibile conoscere quali siano i mezzi dotati di localizzazione in tempo reale, indicandone anche l'eventuale ritardo. Oltre a ciò, è possibile conoscere la distanza di biciclette e monopattini a noleggio, attraverso l'indicazione del numero seriale del mezzo e la distanza in metri. In questo modo, l'utente può avere a disposizione lo scenario in tempo reale, restando aggiornato su importanti ritardi o condizioni particolari del sistema dei trasporti locale. Una volta scelto di pianificare un viaggio, come visibile nella Figura 4.3, l'app propone alcune alternative, calcolate a partire dai vincoli indicati dall'utente all'interno del menu "Opzioni".

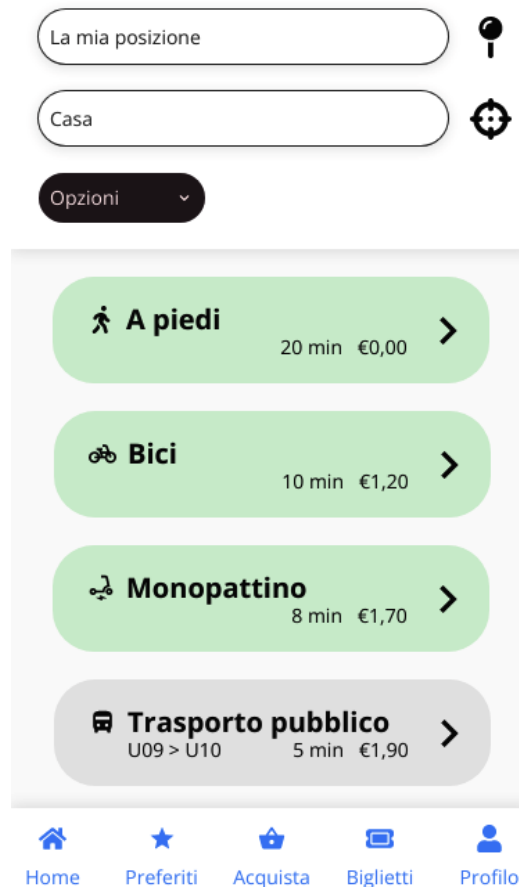


Figura 4.3: Esempio di pianificazione di un viaggio.

Le opzioni disponibili comprendono gli orari di partenza e arrivo, la preferenza per i modi di trasporto e altre condizioni, come mezzi sostenibili o relativi ad una mobilità attiva. In ogni viaggio in cui i tempi e le distanze

lo consentano, l'app propone prioritariamente i modi di trasporto sostenibili, evidenziandoli in verde. Oltre a ciò, vengono calcolati i percorsi con gli altri modi di trasporto, pubblici e privati, con indicazioni dettagliate rispetto ai servizi scelti e al percorso indicato. In tutti i casi, viene mostrato istantaneamente il costo previsto. La navigazione viene poi svolta all'interno dell'applicazione, con indicazioni precise e specifiche per qualsiasi modo di trasporto si scelga per il tragitto in questione.

L'app permette inoltre di acquistare i biglietti e eventuali abbonamenti o bundle. Per esempio, come visibile in Figura 4.4, potrebbe essere possibile acquistare un bundle relativo ai servizi in un'area urbana, comprendente in questo caso il trasporto pubblico in maniera illimitata e alcuni sconti sulla mobilità condivisa.

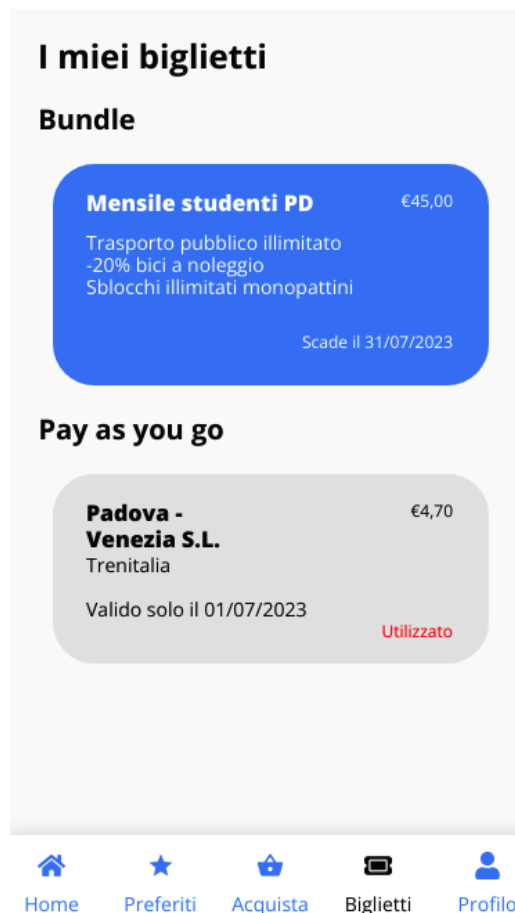


Figura 4.4: Esempio di alcuni biglietti posseduti.

Si può anche notare come sia stato acquistato ed utilizzato anche un bigliet-

to pay as you go relativo ad un tragitto svolto con una specifica compagnia, relativa ad un viaggio extraurbano. Con questo esempio si vuole mostrare come sia possibile utilizzare l'app in entrambe le maniere, in base alle necessità di spostamento dell'utente.

Nella Figura 4.5 è possibile inoltre notare come l'app proponga diverse soluzioni di bundle, con offerte differenti e diversi livelli di prezzo. Tra questi pacchetti sono disponibili anche opzioni che tengono conto delle caratteristiche dell'utente, rispetto a fascia d'età e condizione lavorativa. Ogni bundle ha delle caratteristiche e delle offerte specifiche, legate al profilo dell'utente.



Figura 4.5: Esempio dei bundle che è possibile acquistare.

Infine, nella sezione profilo l'utente può gestire i dati che l'applicazione conosce su di sé, a partire dall'età e dall'occupazione, ma anche con l'inserimento dei propri interessi in materia di mobilità dolce e attenzioni alla questione ambientale. Attraverso i dati raccolti durante l'utilizzo dell'app in pianifica-

zione e navigazione, l'utilizzatore può ottenere informazioni sui propri spostamenti e, sulla base di questi, il sistema può imparare a suggerire soluzioni di trasporto più in linea con gli interessi del viaggiatore.

Capitolo 5

La simulazione dello spostamento

Una volta definite le modalità dell'esperienza virtuale, si procede alla costruzione della simulazione vera e propria, attraverso la realtà virtuale. L'obiettivo di questa fase è quello di riprodurre in maniera fedele quanto previsto nel Capitolo 3, creando una rappresentazione visiva sufficientemente credibile, per l'intera durata dello spostamento.

In questa tesi si è scelto di far vivere all'utente il viaggio in maniera passiva, ovvero non permettendo di fare alcuna scelta riguardo al suo svolgimento e facendolo diventare quindi un semplice spettatore. Per realizzare una simulazione in questo senso, utilizzando la realtà virtuale, è necessario sviluppare un modello 3D in cui poi andare a sperimentare le esperienze con una generazione in tempo reale attraverso un computer.

Un'altra possibilità per ottenere un risultato simile sono i video a 360°, ovvero dei video sferici in cui immergersi in modo simile alla realtà virtuale. Anche in questo caso l'utente può guardare liberamente in tutte le direzioni, ma la differenza notevole sta nell'utilizzo di video già realizzati e non generati in tempo reale. Ciò è possibile anche andando a registrare alcuni filmati in scenari reali, utilizzando apposite telecamere. Questo approccio ha dei vantaggi, infatti la visualizzazione di video registrati in contesti esistenti ha certamente un realismo superiore ad una simulazione 3D, in quanto riproduzione di situazioni reali e quindi altamente dettagliate. Inoltre, la registrazione dei filmati non richiede la presenza di figure in grado di modellare e programmare l'ambiente virtuale costruito al computer. Tuttavia, questa tecnica, a causa dell'inevitabile variabilità del mondo reale, rende impossibile il controllo completo di quanto presentato al soggetto rischiando di presentare le diverse alternative in maniera differente e andando quindi a compromettere l'efficacia della dimensione virtuale. Oltre a ciò, i filmati girati in contesti

esistenti impediscono di mostrare situazioni ancora ipotetiche e non ancora realizzate, limitando quindi gli scenari presentabili. È possibile altrimenti registrare dei video nell'ambiente 3D di cui si è parlato in precedenza, andando quindi a presentarli senza la costante necessità della potenza di calcolo di un computer.

Nel caso specifico di questa tesi, per evidenti ragioni di brevità, si è proceduto a preparare un ambiente virtuale “proof-of-concept”, dove si sono andati a mostrare i modi di trasporto in analisi, presentandoli con le caratteristiche di interesse per la simulazione del caso studio, ma senza effettivamente riprodurre il contesto geografico. Infatti, le immagini che seguono sono state ricavate da un modello già a disposizione al Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale (DICEA) dell'Università di Padova e già in uso per altre esperienze virtuali, che con opportune modifiche ha potuto essere utilizzato ai fini di questo testo.

Software

La simulazione è stata costruita attraverso gli strumenti per la realtà virtuale messi a disposizione dal motore grafico Unity [59], noti come Unity VR, nella versione 2020. Attraverso questo pacchetto si è reso possibile costruire l'ambiente della simulazione, e attraverso alcuni script scritti in linguaggio C# e sviluppati ad hoc si sono controllati il traffico stradale, il movimento dei mezzi di interesse e il funzionamento del semaforo presente. Inoltre, i modelli 3D di oggetti e mezzi sono stati preparati attraverso il programma SketchUp [60] e la relativa Warehouse, ovvero la raccolta di modelli progettati da altri utenti in rete e liberamente disponibili. Infine, la simulazione è resa utilizzabile all'interno di Windows grazie al Portale Realtà Mista [61], che si occupa di interfacciare il software con il visore.

Hardware

Lo sviluppo è stato svolto con un PC con Windows 10 (Processore Intel Core i7-9750H 2.60 GHz, Ram 16 GB DDR4, Scheda video NVIDIA GeForce GTX 1660 Ti 6GB), attraverso il quale si è svolto sia il lavoro preparatorio in quanto ad ambiente 3D e script, che la simulazione vera e propria.

Il visore utilizzato per l'immersione virtuale è il HP Reverb G2 [62], visibile in Figura 5.1, in dotazione al Dipartimento ICEA dell'Università di Padova. Questo strumento è dotato di due pannelli LCD con risoluzione 2160 x 2160 pixel, uno per occhio, di dimensione 2,89”. Il dispositivo è in grado di identificare la posizione del capo dell'utilizzatore attraverso 4 telecamere alle estremità della parte frontale, che elaborando gli input video riescono a

localizzare nello spazio l'utente offrendo sei gradi di libertà. L'area in cui il visore riesce ad effettuare il tracciamento è potenzialmente illimitata. Sono presenti anche due controller con cui è possibile interagire con la simulazione, attraverso posizione e direzione rilevati dalle telecamere.

Per la simulazione relativa a questa tesi l'utente non ha la necessità di spostarsi fisicamente all'interno dell'ambiente, ma piuttosto è libero di guardarsi attorno osservando la scena.



Figura 5.1: Il visore HP Reverb G2.

5.1 La progettazione dell'ambiente virtuale

Come già visto, l'ambiente simulato è costruito a partire da un semplice modello già esistente. Si tratta di un contesto suburbano, composto da un circuito stradale bidirezionale e una piccola via a senso unico, con degli attraversamenti pedonali e un semaforo. Le infrastrutture stradali sono contornate da marciapiedi su cui si affacciano degli edifici e, in due punti, dei piccoli parchi. Nelle Figure 5.2 e 5.3 è possibile osservare la configurazione dell'area e le relative caratteristiche.



Figura 5.2: Vista dell'area della simulazione.



Figura 5.3: Vista dell'area della simulazione.

5.1.1 L'infrastruttura

Il modello originale, come già visto, si limitava ad avere una sezione stradale standard avente corsie di 3,00 m di larghezza per senso di marcia, due banchine larghe 0,50 m e, su ogni lato, marciapiedi larghi 1,50 m. In Figura 5.4 è possibile vederne un esempio. Rispetto a questa configurazione, si è scelto di aggiungere alcuni tratti di infrastruttura dedicata alle biciclette, trattandosi di una variabile di interesse per quanto riguarda l'utilizzo di modi di mobilità sostenibile. Ciò è stato realizzato con l'inserimento di due corsie ciclabili a raso, entrambe di larghezza 1,50 m, come visibile in Figura 5.5.



Figura 5.4: Esempio dell'infrastruttura stradale senza corsie ciclabili.



Figura 5.5: Esempio dell'infrastruttura stradale con corsie ciclabili.

5.1.2 I veicoli

Per rendere possibile la simulazione degli spostamenti all'interno dell'ambiente virtuale, è necessaria la presenza dei veicoli sui quali l'utente possa salire, assicurandosi che questa esperienza sia sufficientemente credibile, almeno da un punto di vista visivo. Per rispettare questa richiesta, si deve riuscire ad essere in possesso di modelli 3D abbastanza dettagliati e, se possibile, progettati in modo da permettere delle animazioni basilari. Infatti, lo script permette persino di animare individualmente le ruote in modo da rendere la simulazione ancora più realistica. Per lo stesso motivo, si è scelto di posizionare degli avatar lungo i marciapiedi e di creare del traffico stradale di base. Quest'ultimo viene gestito in maniera tale da evitare collisioni e far rispettare le indicazioni dell'apparato semaforico presente. Nelle varie simulazioni si è

scelto un intervallo di generazione tra i 3 e i 5 secondi per i veicoli costituenti il traffico di base.

L'automobile

Il modello scelto per l'automobile è quello di un'Audi A8 di colore nero, scaricato dalla Warehouse di SketchUp. Il disegno è completo di interni ed ha potenzialmente la possibilità di essere animato per l'apertura di tutte le porte e del portellone posteriore. Grazie alla completezza interiore del modello, è stato possibile inserire l'utente nel veicolo, dando l'impressione di condurre il mezzo.



Figura 5.6: Vista esterna dell'automobile.

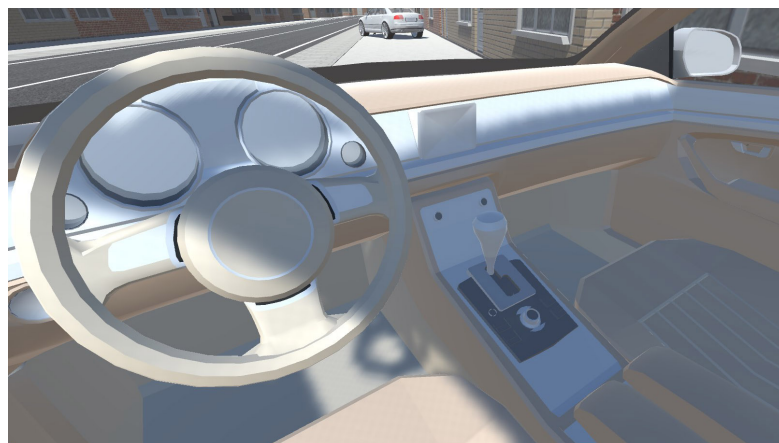


Figura 5.7: Vista interna dell'automobile.

Per quanto riguarda la simulazione del viaggio in taxi, si è utilizzato lo stesso modello cambiandone il colore esterno in bianco e aggiungendo la scritta TAXI sul tetto, posizionando un avatar come conducente e spostando il punto di vista dell'utente sui sedili posteriori.



Figura 5.8: Vista esterna del taxi.

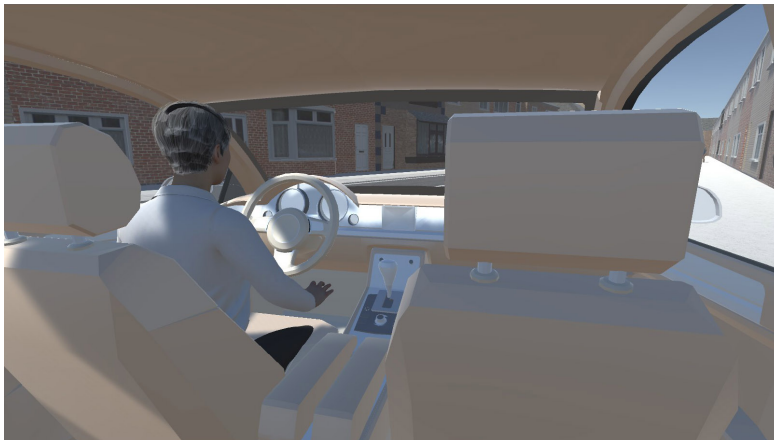


Figura 5.9: Vista interna del taxi.

L'autobus

Il modello dell'autobus, scaricato anch'esso da Warehouse di SketchUp, è dotato di 37 posti a sedere, oltre al conducente. Il mezzo ha la tipica configurazione di un veicolo per uso di linea in un contesto urbano, che è quanto è di interesse ai fini di questa simulazione. Anche in questo caso, il mezzo è dotato di porte disegnate in modo da permettere delle eventuali animazioni.



Figura 5.10: Vista esterna dell'autobus.

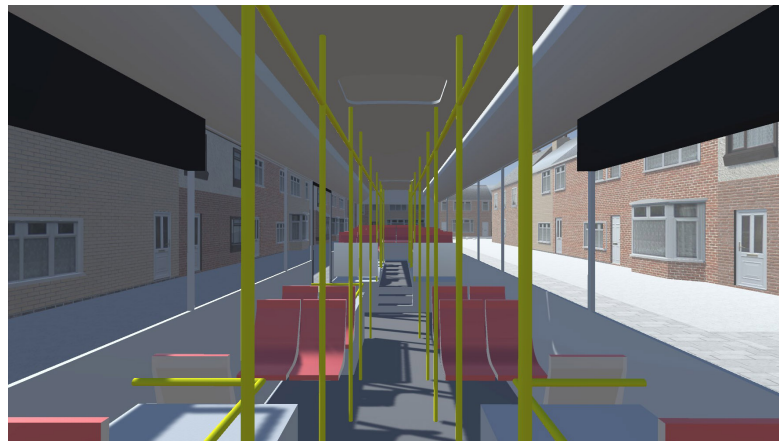


Figura 5.11: Vista interna dell'autobus.

Per rendere realistico il viaggio, si è reso necessario l'inserimento di alcuni avatar, di cui si parlerà in seguito, disposti in maniera tale da rendere visibili diversi livelli di affollamento, come rappresentato dalla Figura 5.12.

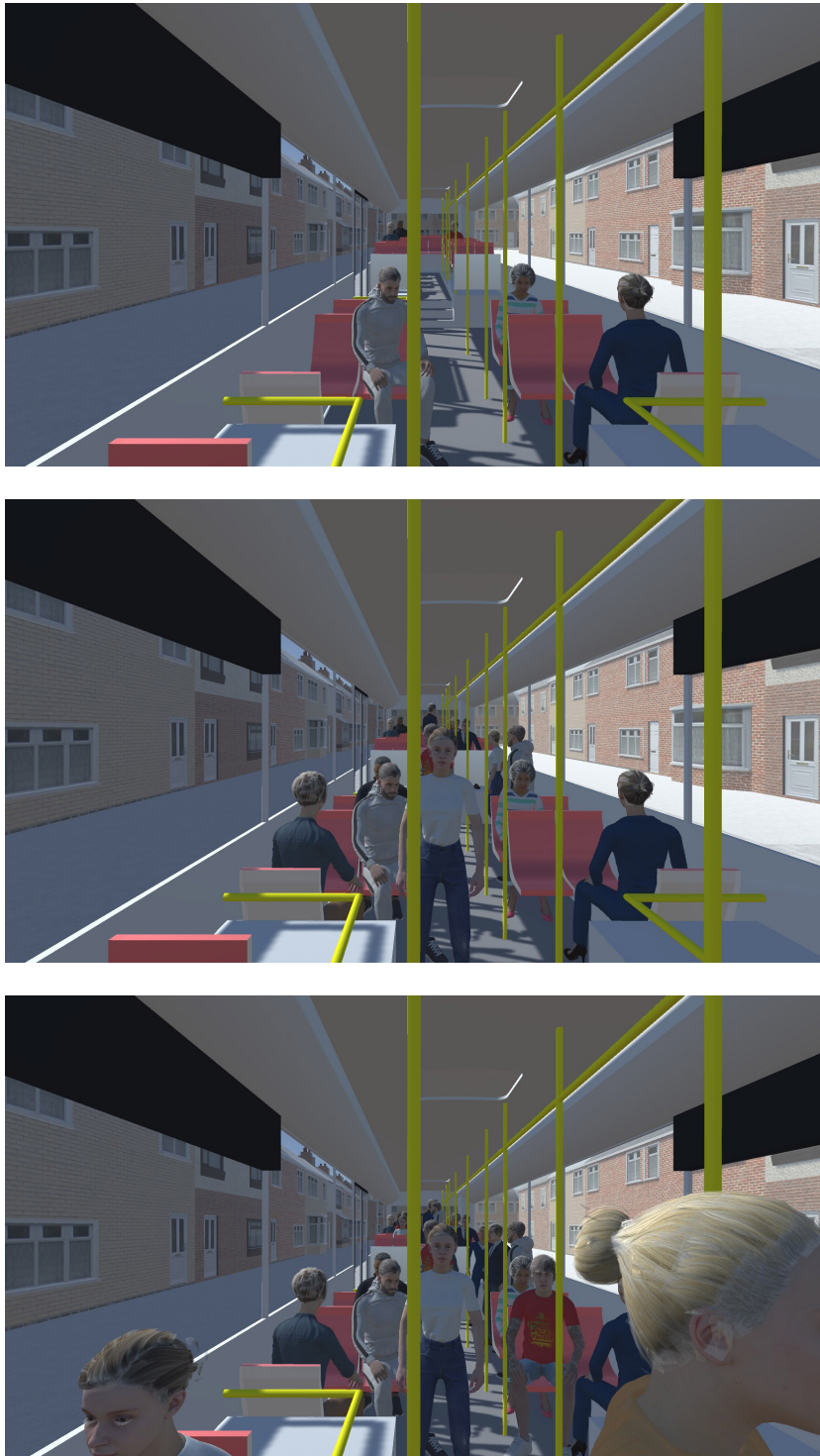


Figura 5.12: Vista dell'autobus con i tre livelli di occupazione.

La bicicletta

La bicicletta, anch'essa scaricata da Warehouse di SketchUp, ha una configurazione tipica per un mezzo privato di questo tipo.



Figura 5.13: Vista della bicicletta.



Figura 5.14: Vista a bordo della bicicletta.

Il monopattino

Il modello di monopattino, come gli altri proveniente da Warehouse di SketchUp, non ha particolari dotazioni. Il mezzo, durante la simulazione, effettua movimenti rigidi seguendo il percorso scelto.



Figura 5.15: Vista del monopattino.



Figura 5.16: Vista a bordo del monopattino.

Gli avatar

Per rendere più realistica la simulazione, si è resa necessaria l'aggiunta di alcuni avatar, ovvero delle figure che simulano la presenza di altri essere umani all'interno della scena. I modelli utilizzati sono stati scaricati da Mixamo [63], una piattaforma gratuita di proprietà di Adobe che mette a disposizione i modelli degli avatar e relative animazioni. Infatti, questi personaggi non sono immobili ma effettuano delle semplici azioni in maniera ciclica, in modo da rendere l'idea di essere effettivamente viventi. Si è scelto di posizionare gli avatar sia all'interno dell'autobus, per creare l'affollamento, che in alcuni punti della mappa per dare l'idea di un ambiente effettivamente vissuto.



Figura 5.17: Vista di alcuni avatar.

5.1.3 La simulazione dei viaggi

Una volta raccolti tutti i modelli e dopo averli personalizzati per farli diventare adeguati alle necessità dell'esperienza descritta, è stato possibile preparare la simulazione vera e propria. Le singole esperienze, ognuna relativa ad ogni modo di trasporto, sono state progettate indipendentemente, creando così dei viaggi diversi tra loro anche sotto il punto di vista del tragitto percorso. Come visibile in Figura 5.18, sulla mappa sono stati disegnati i percorsi seguiti dai vari mezzi, sia quelli sperimentati, che quelli esterni e non utilizzabili. Per la simulazione esemplificativa preparata per questa tesi, le scelte relative a percorsi e caratteristiche del viaggio sono state prese come segue:

- **Automobile privata:** l'utente prende posto sul sedile del conducente, e l'automobile inizia il proprio spostamento dopo il passaggio del primo veicolo generato dal computer. Il percorso consiste nel percorrere l'anello stradale nella sua corsia esterna, in presenza di traffico nella stessa direzione, ma anche in quella opposta.
- **Autobus:** il soggetto viene fatto salire sull'autobus in corrispondenza della fermata posizionata a bordo strada. All'interno del mezzo, è possibile trovare diversi livelli di affollamento, che variano a seconda delle necessità dell'esperimento. In funzione di questa caratteristica, il punto di vista a bordo è diverso, in quanto con un affollamento basso o medio si ipotizza che il viaggiatore possa sedersi, altrimenti il viaggio viene svolto restando in piedi. Anche in questo caso, il mezzo si muove lungo la corsia esterna dell'anello stradale, ma con presenza di traffico nella sola direzione opposta.

- **Bicicletta:** partendo dal bordo della strada, l'utente prova una parte del percorso su una corsia ciclabile, per poi continuare sulla banchina laterale dopo che l'infrastruttura dedicata è terminata. Ciò avviene in presenza di un traffico automobilistico bidirezionale, che in alcuni momenti va a sfiorare il ciclista.
- **Monopattino:** il percorso di questo mezzo attraversa uno dei due parchi, per poi entrare nella corsia ciclabile dopo aver superato la piccola via a senso unico. Anche in questo caso, è presente un traffico bidirezionale composto da sole automobili.
- **Taxi:** l'esperienza di viaggio del taxi è del tutto simile a quella in auto, se non per la variazione della posizione dell'utente durante il tragitto. Infatti, all'interno del mezzo è stato aggiunto un avatar alla guida, mentre il passeggero viene fatto salire sul retro della vettura.



Figura 5.18: Vista dell'area della simulazione con i percorsi su cui si muovono i mezzi.

Terminata la definizione delle specifiche dei vari viaggi, si è proceduto a sperimentarne i risultati per provare l'efficacia della simulazione e l'effettivo funzionamento di questo tipo di esperienza. Questa operazione è stata svolta attraverso l'immersione nella realtà virtuale utilizzando il visore di cui si è parlato in precedenza, come visibile nella Figura 5.19. I viaggi progettati

sono risultati essere realistici, in particolare grazie all'utilizzo di modelli sufficientemente dettagliati e alla presenza di altri passeggeri che si muovessero all'interno dell'autobus. Un altro elemento rivelatosi utile è stata la scelta di integrare nella scena anche elementi esterni come alcuni avatar lungo le strade e altri veicoli in movimento: queste due componenti sono state in grado di rendere più vissuto l'ambiente altrimenti statico dello scenario, limitato alla presenza di infrastrutture, abitazioni e parchi.

Nelle immagini che seguono, ovvero le Figure 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27, si mostrano alcuni momenti della simulazione non apprezzabili dalle immagini già viste in precedenza.



Figura 5.19: Una fotografia del momento di prova della realtà virtuale.



Figura 5.20: Un momento del viaggio in automobile.



Figura 5.21: L'attesa dei veicoli al rosso del semaforo.



Figura 5.22: La vista dell'autobus prima della salita.

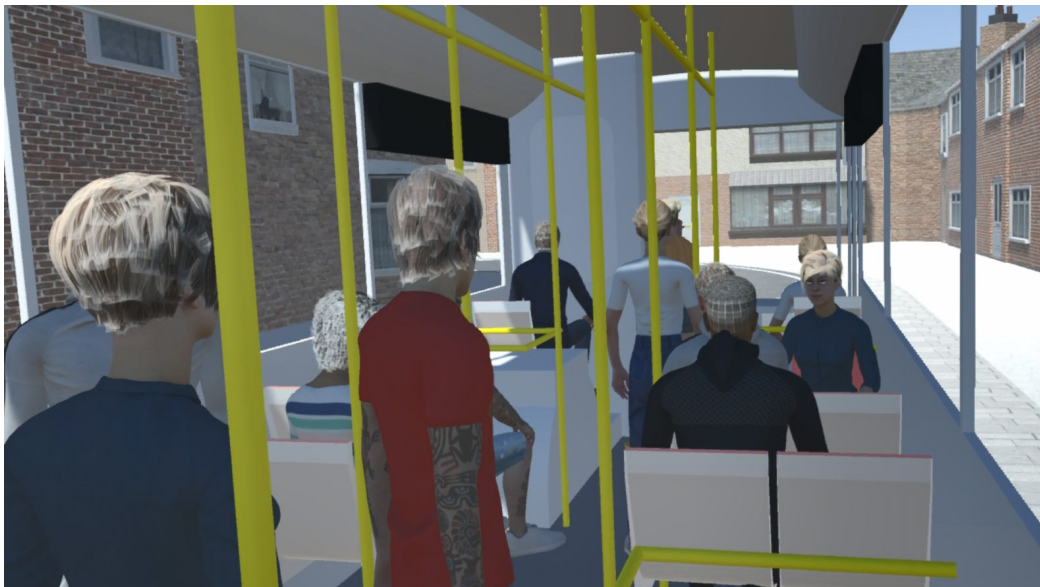


Figura 5.23: Un momento del viaggio in autobus, con un'occupazione alta.



Figura 5.24: Un sorpasso alla bicicletta nel tratto con infrastrutture dedicate.



Figura 5.25: Un sorpasso alla bicicletta nel tratto senza infrastrutture dedicate.



Figura 5.26: Un momento del viaggio in monopattino, all'interno di un parco.



Figura 5.27: Un momento del viaggio in taxi.

Capitolo 6

Gli esperimenti di scelta

Si procede infine con la progettazione degli esperimenti di scelta, parte fondamentale di questo elaborato. Questi esercizi hanno come obiettivo la definizione dell'interesse da parte degli utenti per quanto riguarda il concept di Mobility as a Service. Come già trattato nella Sezione 2.3, la realtà virtuale è uno strumento che non ha ancora avuto grandi applicazioni nello svolgimento di esercizi di scelta, specialmente in ambito trasportistico. Per questo motivo, e alla luce di quanto preparato nel Capitolo 5, si propone di svolgere questi esercizi di scelta solo dopo aver vissuto alcune esperienze di viaggio in realtà virtuale, secondo il modello introdotto nel Capitolo 3.

Il processo proposto si articola attraverso quattro esercizi di scelta, come riportato nel diagramma di flusso della Figura 6.1: l'utente a cui vengono sottoposti i quesiti viene innanzitutto immerso nella realtà virtuale, all'interno della quale sperimenta lo spostamento con i vari modi di trasporto disponibili, secondo le indicazioni riportate nella Sezione 6.1. In questa fase, non si introduce il concetto di MaaS, ma ci si limita a contestualizzare lo spostamento indicandone origine, destinazione e motivo. In seguito, come spiegato nella Sezione 6.2, il soggetto viene posto di fronte alla scelta tra i modi di trasporto sperimentati nella simulazione, dovendo dichiarare quale sia il preferito ipotizzando di trovarsi nel contesto indicato in precedenza.

A questo punto, si spiega il concetto di MaaS e si la relativa app, di cui si è parlato nella Sezione 4, con le modalità riportate nella Sezione 6.3. In seguito a ciò, alla luce delle nuove informazioni ricevute, all'utente viene chiesto di scegliere tra alcuni differenti pacchetti MaaS, come dettagliato nella Sezione 6.4. Una volta effettuato questo esercizio, si crea un confronto tra i risultati delle prime due scelte, chiedendo al soggetto di dichiarare la propria preferenza tra il bundle MaaS selezionato nel secondo esercizio e la modalità di trasporto scelta nel primo esercizio. Questo esperimento è discusso nella Sezione 6.5. Infine, viene chiesto all'utente di selezionare un modo di tra-

sporto preferito tra quelli presenti nel pacchetto MaaS a cui si era interessati in precedenza, secondo quanto spiegato nella Sezione 6.6.

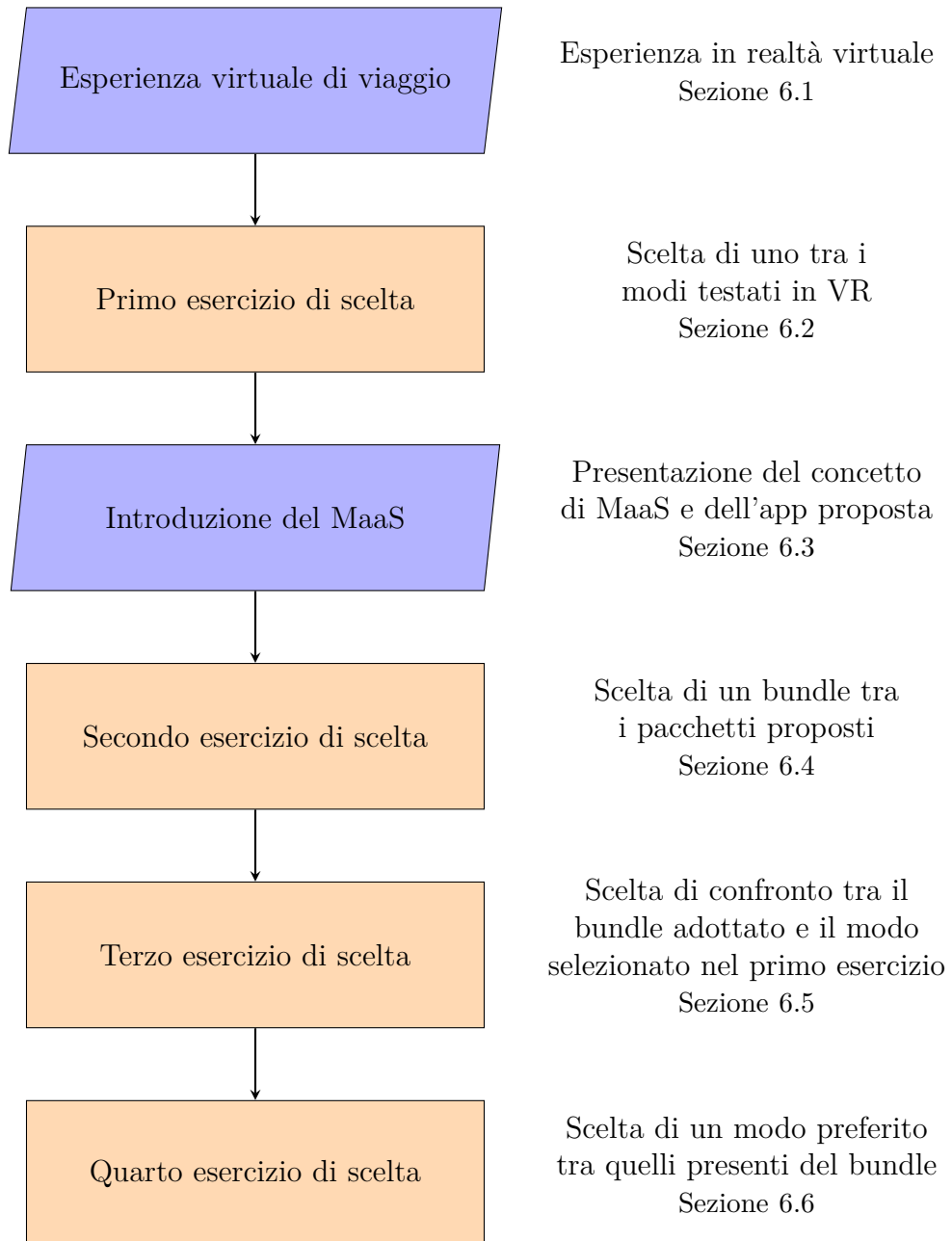


Figura 6.1: Diagramma di flusso del procedimento di somministrazione dei test.

Come già visto, il processo descritto è stato costruito pensando di introdurre gli utenti agli esercizi di scelta attraverso l’esperienza virtuale. La struttura degli esperimenti, però, è la stessa utilizzata normalmente nei tipici esercizi di scelta discreta somministrati su carta: i quesiti riguardano delle scelte tra alcune alternative proposte dal testo dell’esercizio. Questa soluzione prevede di somministrare gli stessi esperimenti senza la presenza dell’esperienza virtuale. In questo modo, la propria scelta è basata su una descrizione testuale con cui ogni soggetto immagina le situazioni presentate a partire dalla propria esperienza. In questo lavoro di tesi si sceglie invece di utilizzare la realtà virtuale proprio per evitare questo aspetto: i partecipanti si trovano ad affrontare i quesiti partendo da un’esperienza comune, cioè quella virtuale.

6.1 L’esperienza virtuale

In questa parte dell’esperimento, l’utente viene immerso nella simulazione in realtà virtuale dello spostamento, come definito nel Capitolo 3. Conoscendo origine, destinazione e motivo del viaggio, il soggetto prova in maniera immersiva i sei modi di trasporto scelti, ovvero automobile privata, autobus, bicicletta privata, taxi, car sharing e micromobilità condivisa (monopattino o bicicletta a noleggio).

Per il design degli esperimenti, si sono seguite le indicazioni riportate nel Capitolo 6 del testo *Applied Choice Analysis* di Hensher, Rose e Greene [64], che si occupa specificatamente della progettazione di esperimenti di scelta. Per questo esperimento si procede con un design “labeled”, ovvero un esperimento in cui si nominano esplicitamente le alternative tra cui è possibile scegliere. In questo caso, le varie alternative non sono altro che i modi di trasporto disponibili.

In un esperimento di scelta, ogni alternativa è definita da degli attributi, ovvero le variabili che ne definiscono le caratteristiche. Ogni attributo può assumere diversi valori, noti come livelli, che variando nel loro complesso descrivono le differenti combinazioni che vengono poi proposte ai soggetti sperimentali. Per realizzare una ricerca ideale, sarebbe necessario proporre tutte le combinazioni possibili di tutti i livelli dei vari attributi. Questa operazione richiederebbe un numero irrealizzabile di interviste. Per evitare ciò, sono disponibili dei metodi specifici, riportati in Hensher, Rose e Greene [64]. La progettazione dell’esperienza virtuale e quella del primo esperimento, trattato nella Sezione 6.2, sono strettamente correlate poiché l’esercizio di scelta si basa su quanto vissuto nella simulazione. Infatti, il design della realtà virtuale deve basarsi necessariamente su quanto definito in fase di progettazione degli esercizi di scelta, in modo da mostrare in modo adeguato il

contesto in cui si va a concretizzare l'oggetto dell'esercizio di scelta. In senso opposto, i limiti di quanto sia possibile rappresentare in realtà virtuale vanno a vincolare l'esperimento di scelta: l'utilizzo della simulazione per introdurre l'argomento dell'esercizio obbliga a circoscrivere gli argomenti di interesse a ciò che è visibile nella dimensione virtuale. A partire da queste due considerazioni, si può osservare come il design degli esperimenti e quello della simulazione debbano svilupparsi insieme, verificando che gli attributi di interesse siano rappresentabili adeguatamente e in maniera efficace per lo svolgimento dell'esercizio di scelta.

6.1.1 Alternative, attributi e livelli

Partendo da quanto appena riportato, si è andati a definire alternative, attributi e livelli per il primo esperimento di scelta, trattato nella Sezione 6.2, necessari per la costruzione delle simulazioni in realtà virtuale. Infatti, le caratteristiche delle varie alternative proposte in questo esercizio di scelta sono quelle dell'esperienza vissuta in realtà virtuale. I valori associati ai livelli dei vari attributi, esplicitati in seguito, sono stati ottenuti a titolo esemplificativo dal contesto scelto nel Capitolo 3. In particolare, per quanto riguarda gli attributi dei tempi di percorrenza, si sono scelti dei valori realistici rispetto al caso studio presentato. Si può osservare che la variabilità dei tempi per automobili e autobus tiene conto della presenza del traffico stradale, mentre nel caso della mobilità sostenibile sono più importanti caratteristiche personali, come la propensione al rischio e la resistenza fisica per il caso della bicicletta.

- **Automobile privata**

- **Costo del viaggio** ($costo_a$, in euro), assunto pari a 2, 3 o 5. In questo costo si tiene conto della spesa per il carburante e di un eventuale pagamento di un posteggio.
- **Tempo di percorrenza** ($tempo_a$, in minuti), assunto pari a 5, 7 o 9.

- **Autobus**

- **Distanza della fermata** ($dist_b$, in metri), assunto pari a 50, 100 o 200. Questo attributo tiene conto del fatto che la fermata non è sempre nelle immediate vicinanze dell'origine del proprio viaggio.
- **Attesa alla fermata** ($attesa_b$, in minuti), assunto pari a 1, 2 o 4. In questo modo si considera l'inevitabile attesa legata alla frequenza del servizio di trasporto.

- **Affollamento del mezzo** (aff_b , in percentuale della capienza massima del mezzo), assunto pari a 10, 50 o 90. Questo attributo può essere un dato importante per la valutazione del comfort di viaggio.
 - **Costo del viaggio** ($costo_b$, in euro), assunto pari a 1.7, 2 o 2.2. Il prezzo minimo è pari al costo del biglietto urbano del servizio di autobus nel contesto del caso studio.
 - **Tempo di percorrenza** ($tempo_b$, in minuti), assunto pari a 5, 7 o 9.
- **Bicicletta privata**
 - **Presenza di infrastrutture ciclabili** (inf_{bc}), come corsie o piste ciclabili, assunto pari a “Sì” o “No”. La presenza di questo tipo di elemento può essere di interesse per la percezione di sicurezza dell’utente, che può scegliere di utilizzare o meno questo modo di trasporto anche tenendo conto di questa variabile.
 - **Tempo di percorrenza** ($tempo_{bc}$, in minuti), assunto pari a 5, 7 o 9.
- **Taxi**
 - **Costo del viaggio** ($costo_t$, in euro), assunto pari a 10, 12 o 15.
 - **Tempo di percorrenza** ($tempo_t$, in minuti), assunto pari a 6, 8 o 10. Si considera un tempo leggermente maggiore di quello dell’automobile privata, poiché si considera il tempo complessivo dello spostamento e delle operazioni di inizio viaggio e pagamento.
- **Car sharing**
 - **Distanza della stazione** ($dist_{cs}$, in metri), assunto pari a 50, 100 o 200. Questo attributo considera che la stazione di car sharing non è necessariamente in corrispondenza dell’origine dello spostamento.
 - **Costo del viaggio** ($costo_{cs}$, in euro), assunto pari a 3, 5 o 7. Si tiene conto di un prezzo basato sui costi del servizio nella città di Padova, cercando di ammortizzare anche i costi fissi annuali e considerando la gratuità del parcheggio.
 - **Tempo di percorrenza** ($tempo_{cs}$, in minuti), assunto pari a 7, 9 o 11. Questi valori sono più elevati di quelli dell’automobile privata a causa delle procedure di attivazione e chiusura del servizio.

- **Micromobilità condivisa**

Nel caso della micromobilità condivisa, il tipo di mezzo utilizzato si considera indifferente tra bicicletta e monopattino elettrico.

- **Distanza del mezzo** ($dist_{mc}$, in metri), assunto pari a 50, 100 o 200. Questo attributo tiene conto del fatto che il mezzo utilizzato non è sempre nelle immediate vicinanze dell’origine del proprio viaggio.
- **Presenza di infrastrutture ciclabili** (inf_{mc}), come corsie o piste ciclabili, assunto pari a “Sì” o “No”. La presenza di questo tipo di elemento può essere di interesse per la percezione di sicurezza dell’utente, che può scegliere di utilizzare o meno questo modo di trasporto anche tenendo conto di questa variabile.
- **Costo del viaggio** ($costo_{mc}$, in euro), assunto pari a 1.2, 1.5 o 2. Questi prezzi sono stati ipotizzati tenendo conto dei costi per i servizi di noleggio condiviso free-floating di biciclette e monopattini nella città di Padova.
- **Tempo di percorrenza** ($tempo_{mc}$, in minuti), assunto pari a 6, 8 o 10. Questi valori sono più elevati di quelli della bicicletta privata a causa delle procedure di attivazione e chiusura del servizio.

6.1.2 La generazione degli esperimenti

A partire dai valori proposti nella Sezione 6.1.1, si è proceduto con la generazione di un possibile insieme di combinazioni dei vari attributi, utilizzando il software statistico R [65]. In una prima fase si era cercato di svolgere lo sviluppo attraverso il solo pacchetto AlgDesign [66], specializzato nella progettazione e ottimizzazione di esperimenti di scelta. Questo strumento, però, non è in grado di gestire un numero così elevato di combinazioni di alternative, attributi e livelli. Infatti, provando a generare un design ortogonale per poi ottimizzarlo, si nota che le risorse richieste da questo pacchetto sono eccessive. Per ovviare a questa limitazione, si è scelto di utilizzare il pacchetto cbcTools [67], anch’esso pensato per la progettazione di questo tipo di esperimenti di scelta. A differenza di AlgDesign, cbcTools è in grado di generare scenari più grandi e rimuovere specifiche combinazioni su indicazione del progettista. Questo pacchetto, però, non è dotato di funzioni in grado di generare design efficienti, se non conoscendo già un’ipotetica funzione di utilità. Per questo motivo, si è scelto di utilizzare comunque AlgDesign per creare un design efficiente a partire da quanto prodotto da cbcTools. Infatti, dopo aver generato una matrice contenente tutte le combinazioni possibili dei

vari livelli degli attributi, detto full factorial design, si estraggono casualmente un certo numero di righe, creando così una matrice di dimensione ridotta. Ogni riga contiene i valori dei livelli assegnati ad ogni attributo, andando così a descrivere le caratteristiche dell'esperimento a cui è sottoposto un singolo soggetto. A partire dalla matrice ridotta, ora gestibile da AlgDesign, si genera una formulazione D-optimal dell'esperimento utilizzando l'algoritmo di Federov. Questa procedura va a modificare la matrice di input scambiando tra loro un numero prestabilito di coppie di righe. L'operazione viene svolta osservando la variazione del determinante della matrice di output, scegliendo le coppie da scambiare in modo da massimizzare il valore di questa variazione. Al termine di questa elaborazione, si ottiene il design dell'esperimento. L'efficienza del processo di generazione è calcolata rispetto alla matrice asintotica varianza-covarianza del design, detta matrice AVC, che è un'approssimazione della matrice varianza-covarianza reale. Quest'ultima rappresenta la covarianza di ogni variabile, cioè degli attributi dell'esperimento, rispetto alle altre. Un design si dice D-optimal se minimizza il cosiddetto D-error, ovvero il determinante della matrice AVC. L'utilizzo della matrice approssimata si rende infatti necessario poiché non si conosce l'effettiva distribuzione delle variabili di interesse, non avendo ancora a disposizione le risposte degli intervistati.

Nel processo utilizzato in questa tesi, l'efficienza del design è misurata dai parametri D e Ge ottenuti come output dalla funzione optFederov di AlgDesign. Questi due valori sono pari rispettivamente alla radice k-esima della varianza generalizzata e alla varianza normalizzata rispetto alla matrice di input dell'algoritmo di Federov, dove k è il numero di attributi presenti nel design. Svolgendo alcuni test, andando a variare il numero di righe estratte casualmente dal full factorial design e utilizzate come input per l'ottimizzazione e variando il numero di righe richieste in output all'algoritmo di Federov, si è cercato di trovare il miglior modo per generare un design efficiente e allo stesso tempo praticamente realizzabile in realtà virtuale. Partendo da questi presupposti, a partire da 2000 righe estratte casualmente full factorial design, ne sono state selezionate 100, ottenendo valori di D intorno a 0.75 e di Ge prossimi a 0.85.

Si riporta in Appendice A.1 il codice utilizzato per la generazione dei design e, in Tabella 6.1, il risultato di questo processo. Nei dati riportati, le varie colonne rappresentano gli attributi, e ogni riga riporta i valori assunti da ognuno di questi. La matrice ottenuta rappresenta quindi le caratteristiche degli esperimenti da svolgere, dove ogni riga definisce l'esperienza vissuta da un singolo soggetto: quanto progettato in realtà virtuale va infatti costruito proponendo spostamenti definiti dai valori riportati in tabella.

Tabella 6.1: Esempio del design dell’esperimento

Automobile privata		Autobus					Bicicletta privata		Taxi		Car sharing			Micromobilità condivisa			
costo_a	tempo_a	dist_b	attesa_b	aff_b	costo_b	tempo_b	inf_bc	tempo_bc	costo_t	tempo_t	dist_cs	costo_cs	tempo_cs	dist_mc	inf_mc	costo_mc	tempo_mc
2	9	100	1	10%	2,2	6	Si	9	15	8	100	7	7	50	No	2	10
5	9	100	4	90%	1,7	6	No	5	15	10	50	3	11	50	Si	1,2	8
2	9	200	4	90%	1,7	12	No	9	10	10	50	7	11	50	Si	1,2	8
5	5	50	4	90%	1,7	12	Si	7	10	6	200	7	9	200	Si	1,2	6
3	9	100	1	90%	1,7	6	No	5	15	6	50	7	11	200	No	1,2	10
3	9	50	1	10%	2,2	12	No	5	10	10	50	3	9	50	Si	2	8
5	5	200	1	90%	2	6	No	5	12	10	200	3	11	200	Si	1,2	10
3	9	200	4	90%	2,2	6	No	5	10	10	50	7	7	100	Si	1,2	10
5	5	200	2	10%	1,7	6	No	9	15	6	200	7	7	50	No	1,2	10
5	5	200	2	10%	2	6	No	5	15	6	50	3	7	200	No	2	10
5	9	100	4	10%	2,2	12	Si	5	10	6	50	5	7	50	Si	2	6
2	9	100	4	10%	1,7	12	Si	9	10	10	50	5	11	200	Si	1,2	10
5	9	50	1	90%	1,7	6	Si	7	10	10	200	7	7	100	No	1,2	6
2	9	200	4	10%	1,7	12	Si	5	10	8	50	3	7	200	No	1,2	8
5	5	200	1	90%	2,2	6	Si	9	10	10	100	3	7	200	No	1,2	10
2	5	50	1	50%	2	12	No	5	10	6	50	5	7	200	No	2	8
2	9	50	4	90%	2,2	12	Si	9	10	6	50	3	9	200	Si	1,2	10
5	9	50	1	90%	1,7	12	No	9	12	8	50	3	7	50	No	1,2	6
5	5	200	4	10%	1,7	6	No	7	15	6	200	7	7	200	No	2	8
3	5	50	4	90%	2	12	Si	9	10	6	50	7	11	50	Si	2	10
5	5	200	1	90%	2,2	8	No	5	15	6	100	7	11	50	Si	1,2	6
2	9	100	4	50%	2,2	8	Si	9	15	10	200	3	11	50	No	1,2	6
2	9	50	1	90%	2	6	Si	5	15	10	50	3	7	200	No	1,2	6
2	5	50	4	10%	2,2	8	Si	9	10	10	200	3	7	200	Si	1,2	10
2	9	200	4	90%	2,2	6	No	9	15	6	200	7	7	200	Si	1,2	10
5	9	50	4	90%	1,7	6	Si	5	12	10	50	7	7	50	Si	2	10
5	5	200	1	10%	2	12	Si	7	15	6	50	3	9	50	Si	1,2	6
5	9	200	4	10%	2,2	12	No	5	15	10	50	7	9	50	Si	1,2	10
3	5	200	1	90%	2,2	12	No	7	10	10	50	7	11	50	Si	2	6
5	5	50	4	50%	2,2	6	Si	9	15	8	50	7	7	50	Si	2	10
5	9	200	4	90%	1,7	8	No	7	10	6	50	3	7	200	No	2	6
3	9	100	1	10%	2,2	12	Si	9	15	10	200	3	11	200	No	1,2	8
3	9	50	1	10%	2,2	8	No	5	15	6	200	7	11	100	No	2	10
2	5	100	2	10%	2	6	No	9	10	10	50	7	7	50	Si	2	10
5	5	200	1	10%	2	6	Si	9	15	6	50	7	7	200	Si	1,5	6
2	7	50	4	10%	1,7	8	No	5	10	6	50	7	11	50	No	1,2	10
5	5	50	1	50%	2	12	No	9	15	10	200	3	9	50	No	2	10
5	9	50	2	10%	2,2	12	No	9	15	6	50	5	11	200	Si	1,2	6
5	7	200	4	90%	2	6	No	9	10	10	100	7	11	200	Si	2	6
2	5	200	4	90%	1,7	12	Si	5	15	10	50	3	11	50	Si	2	10

Automobile privata		Autobus					Bicicletta privata		Taxi		Car sharing			Micromobilità condivisa			
costo_a	tempo_a	dist_b	attesa_b	aff_b	costo_b	tempo_b	inf_bc	tempo_bc	costo_t	tempo_t	dist_cs	costo_cs	tempo_cs	dist_mc	inf_mc	costo_mc	tempo_mc
2	9	100	4	90%	1,7	6	Si	7	10	10	200	7	11	50	No	2	6
3	9	200	4	10%	1,7	12	No	5	15	8	200	7	7	200	No	2	8
2	5	100	1	50%	2,2	12	No	7	10	10	50	3	7	50	No	1,2	6
2	5	50	1	90%	2	6	Si	5	10	6	100	7	11	200	Si	2	6
5	9	50	1	90%	2,2	6	Si	7	10	6	50	3	11	200	Si	2	6
2	9	200	1	10%	2,2	12	No	9	15	10	200	7	7	200	Si	1,2	6
5	9	50	4	10%	2,2	6	No	7	10	6	200	3	11	50	No	1,2	10
2	5	200	2	90%	2,2	6	Si	5	10	8	200	3	7	200	No	1,2	6
3	7	50	2	10%	2,2	6	No	9	10	6	50	7	9	200	No	2	6
3	9	50	4	10%	1,7	8	Si	5	12	10	50	7	7	200	No	2	6
5	9	200	2	10%	2,2	12	No	5	10	8	200	3	11	200	No	2	10
3	9	200	1	90%	1,7	12	No	9	15	6	50	3	7	100	Si	2	6
2	9	50	4	90%	2,2	6	No	7	15	6	50	3	11	100	No	2	10
5	7	50	4	10%	1,7	12	No	9	10	10	200	3	7	200	Si	1,5	6
2	9	200	1	90%	2,2	6	No	9	10	10	200	5	11	100	No	2	6
2	9	100	4	90%	2,2	6	No	9	12	10	200	3	9	50	Si	2	6
3	7	50	4	50%	2,2	6	No	5	15	10	200	7	7	200	Si	2	10
5	9	50	1	90%	2,2	12	Si	7	12	10	200	7	7	50	No	2	10
3	5	50	1	10%	1,7	6	No	5	10	10	100	5	7	200	Si	2	10
2	5	50	1	90%	1,7	8	Si	9	15	6	50	7	7	200	No	1,5	10
2	5	200	1	90%	2,2	12	No	9	15	6	50	3	7	50	Si	2	6
2	9	200	4	10%	1,7	12	No	9	10	6	100	3	7	50	Si	2	6
2	5	200	4	10%	2	12	No	5	15	6	200	7	11	50	Si	2	6
2	9	50	1	90%	2	12	Si	7	10	6	200	7	7	50	Si	2	10
5	5	50	1	10%	2,2	8	Si	9	10	6	100	5	11	200	Si	2	10
2	9	50	1	50%	1,7	6	Si	9	10	6	100	5	11	200	Si	1,2	10
5	5	200	1	10%	1,7	8	No	9	10	10	200	5	11	200	No	1,5	10
2	5	100	4	10%	2,2	12	Si	5	10	10	200	3	7	100	Si	2	10
2	5	50	2	10%	1,7	6	Si	9	12	6	200	3	11	200	No	1,5	6
2	9	200	1	10%	2,2	6	Si	7	15	6	200	5	7	50	Si	1,2	6
5	5	50	1	90%	1,7	12	No	5	15	6	200	5	9	50	Si	1,2	10
5	5	50	1	10%	1,7	6	Si	5	10	10	200	3	9	50	Si	1,2	6
3	5	200	4	90%	2,2	12	Si	7	15	6	200	5	7	50	No	2	10
2	5	50	4	50%	2,2	12	No	5	10	6	200	5	7	50	No	1,2	10
2	5	200	2	10%	2	12	Si	5	10	6	50	7	7	50	No	1,2	6
3	5	50	4	50%	2,2	12	Si	5	15	10	200	5	11	200	Si	1,2	6
5	5	100	4	10%	1,7	12	Si	9	10	6	200	7	7	50	No	1,2	8
2	5	200	4	50%	1,7	12	No	9	12	10	50	7	11	200	Si	1,5	6
2	5	50	1	90%	2	6	No	5	15	10	50	7	9	200	No	1,2	8
3	5	50	4	90%	1,7	12	No	9	15	10	50	3	9	200	No	2	6

Automobile privata		Autobus					Bicicletta privata		Taxi		Car sharing			Micromobilità condivisa			
costo_a	tempo_a	dist_b	attesa_b	aff_b	costo_b	tempo_b	inf_bc	tempo_bc	costo_t	tempo_t	dist_cs	costo_cs	tempo_cs	dist_mc	inf_mc	costo_mc	tempo_mc
2	5	200	4	10%	1,7	6	Sì	5	10	6	200	3	11	50	Sì	1,5	10
5	9	50	4	50%	2	12	Sì	9	15	10	50	3	7	200	No	1,2	10
2	9	200	1	90%	1,7	12	Sì	7	15	8	200	5	7	200	Sì	1,2	10
5	9	50	1	10%	2,2	8	No	5	10	6	200	3	11	50	No	1,5	6
2	5	50	2	50%	1,7	6	No	5	10	6	200	3	7	200	Sì	1,2	6
2	7	200	1	10%	1,7	6	No	9	15	8	50	3	11	50	Sì	2	8
2	7	50	4	10%	1,7	6	Sì	5	15	10	50	3	9	50	Sì	1,2	10
5	7	200	4	90%	2	6	Sì	9	10	6	50	3	9	50	No	2	10
2	5	200	4	10%	2,2	8	Sì	9	10	8	50	7	11	50	No	1,2	10
3	9	200	1	10%	2,2	6	Sì	5	12	8	50	3	11	200	Sì	2	10
3	9	50	1	50%	1,7	12	Sì	9	15	8	50	7	11	50	No	2	6
5	9	200	1	90%	2,2	8	Sì	5	10	8	200	7	11	200	Sì	1,2	6
5	9	100	1	10%	1,7	6	Sì	9	15	6	200	7	9	50	Sì	1,2	6
2	5	200	4	10%	2,2	6	Sì	7	12	10	100	7	11	50	No	2	6
2	9	50	1	90%	2	12	No	9	10	10	200	7	11	50	No	1,5	10
5	5	50	4	90%	2	6	No	9	15	6	100	3	11	200	Sì	1,2	10
2	5	50	2	90%	2,2	12	Sì	5	15	6	200	3	11	200	Sì	2	6
5	7	200	4	90%	1,7	12	Sì	5	12	10	200	3	11	100	No	2	6
5	5	200	1	10%	2	8	Sì	5	15	10	50	7	11	50	No	1,2	10
5	5	50	4	50%	2,2	6	No	7	15	6	50	5	7	50	Sì	1,2	6

Come già spiegato in precedenza, a partire da quanto generato in questa fase si vanno a creare le simulazioni per ogni partecipante alla ricerca, seguendo i valori degli attributi per ogni alternativa. Osservando i valori dei tempi di percorrenza di ogni alternativa, si può stimare che la durata degli effettivi spostamenti vari tra i 35 e i 61 minuti circa, rendendo così possibile svolgere l'intera esperienza in una sola occasione. Si sceglie di non definire l'ordine con cui gli utenti provano i vari modi di trasporto, in quanto la casualità in questo senso aiuta ad evitare eventuali condizionamenti sulle scelte successive.

Nella sperimentazione della realtà virtuale, come spiegato nella Sottosezione 2.3.2, si deve tenere conto anche delle difficoltà legate alla poca familiarità della popolazione generale con questo tipo di strumenti. Per questo motivo, è opportuno prevedere un ambiente di test prima dell'inizio effettivo della simulazione per far abituare i soggetti agli stimoli visivi e all'esplorazione della dimensione virtuale. Inoltre, tra una alternativa e l'altra si lascia qualche minuto di riposo per permettere una maggiore concentrazione nella parte successiva dell'esperimento. Una volta terminata l'ultima simulazione, si prosegue con gli esercizi di scelta. A partire da quanto riportato in precedenza, il numero di soggetti considerato per questa esperienza è 100: i valori di efficienza calcolati nella generazione del design e la durata effettiva delle simulazioni rendono questo numero sufficiente per la raccolta dei dati e non troppo elevato per permettere lo svolgimento completo dell'esperienza. Prima dell'inizio della simulazione, il soggetto viene messo al corrente di quanto sta andando a provare e con che modalità, leggendo il testo che segue:

Benvenuto in questo esperimento relativo alla mobilità e grazie per la tua partecipazione!

Ora, grazie ad una simulazione in realtà virtuale, vivrai uno spostamento tra la zona della stazione di Padova e il Dipartimento ICEA dell'Università. Immagina di compiere questo tragitto in maniera sistematica per motivi di studio o di lavoro.

Proverai sei modi di trasporto diversi, ognuno con caratteristiche differenti. Al termine di questo momento, ti verrà chiesto di rispondere ad alcune semplici domande.

Prima di iniziare la simulazione proverai un ambiente di test, in modo da farti conoscere la realtà virtuale nel caso in cui non l'avessi ancora provata.

6.2 La scelta tra i modi testati

Nel primo esercizio di scelta, il soggetto viene messo di fronte alla descrizione delle scene sperimentate in precedenza, chiedendo di scegliere il modo di trasporto preferito per lo spostamento effettuato. Questa richiesta dev'essere adeguatamente contestualizzata rispetto al tragitto simulato, in particolare tenendo conto di origine, destinazione e motivo. L'obiettivo di questo esercizio è solo il raccogliere informazioni circa il modo di trasporto preferito. Si riporta di seguito il testo che è possibile mostrare all'utente e la presentazione della scelta da effettuare, visibile in Figura 6.2.

Ti vengono proposte ora alcune domande relative all'esperienza di viaggio che hai appena sperimentato in realtà virtuale. Nella simulazione hai vissuto uno spostamento tra la zona della stazione di Padova e il Dipartimento ICEA dell'Università, di cui ti viene mostrata ora una sintesi con le relative caratteristiche. Immaginando di svolgere questo tragitto in maniera sistematica per motivi di studio o di lavoro, ti viene chiesto ora di scegliere quale sia il modo che hai preferito tra quelli proposti. Prendi questa decisione in base a quanto vissuto in realtà virtuale, non tenendo conto per quanto possibile della tua esperienza nella vita di tutti i giorni.

Automobile privata	Autobus	Bicicletta privata
Costo € 2,00 Tempo 9 min	Costo € 2,20 Tempo 7 min	Costo € 0,00 Tempo 9 min
Nel costo e nel tempo sono inclusi il prezzo del parcheggio e il tempo di ricerca del posteggio.	Nel costo e nel tempo sono inclusi il prezzo e il tempo del mezzo necessario per raggiungere la fermata e il tempo di attesa dell'autobus.	
Taxi	Car sharing	Micromobilità condivisa
Costo € 15,00 Tempo 8 min	Costo € 7,00 Tempo 7 min	Costo € 2,00 Tempo 10 min
Nel tempo è incluso il tempo necessario per iniziare la corsa e quello per effettuare il pagamento.	Nel costo e nel tempo sono inclusi il prezzo del parcheggio e il tempo del mezzo necessario per raggiungere la stazione e attivare il mezzo.	Nel tempo è incluso il tempo necessario per trovare un mezzo disponibile e iniziare il viaggio.

Figura 6.2: La presentazione dei modi al momento dell'esercizio di scelta.

6.3 Il concetto di MaaS

Una volta risposto al primo esperimento di scelta, si introduce al soggetto il concetto di MaaS e il funzionamento della relativa app. Ipotizzando che la maggior parte degli utenti non abbia mai sentito parlare di questo concetto, la descrizione dev'essere sufficientemente dettagliata ma al contempo facile da comprendere. All'interno di questa parte dell'esperimento, si presenta l'app introdotta nella Sezione 4 con le relative funzionalità, per fare conoscere all'utente le potenzialità di un sistema di trasporto organizzato in questo modo. La Figura 6.3 riporta delle schermate esemplificative delle caratteristiche dell'app mostrata al soggetto.

Al soggetto viene mostrato inoltre il seguente testo:

Immagina ora di trovarti ad avere la possibilità di accedere a tutti i servizi di mobilità in maniera unificata e semplificata, attraverso una sola piattaforma che gestisca pagamenti, orari e pianificazione dei viaggi. Questo è il concetto alla base del Mobility as a Service (MaaS).

Con il MaaS, l'utente è posto al centro della propria esperienza di viaggio, che viene semplificata grazie alla presenza di un'unica entità attraverso cui si accede a tutti i servizi di mobilità inclusi. Oltre a questo, è presente una tariffazione unificata e dei pacchetti (detti bundle) che, come degli abbonamenti, includono l'utilizzo scontato o illimitato dei vari servizi.

Il MaaS è fruibile grazie ad un'app, che ora potrai provare, con la quale è possibile pianificare il proprio viaggio, acquistare i biglietti e conoscere i servizi di trasporto a disposizione nelle vicinanze. Sono inoltre disponibili dati in tempo reale, che permettono di conoscere eventuali problematiche sul percorso e le partenze dei mezzi nelle vicinanze.

Capitolo 6. Gli esperimenti di scelta

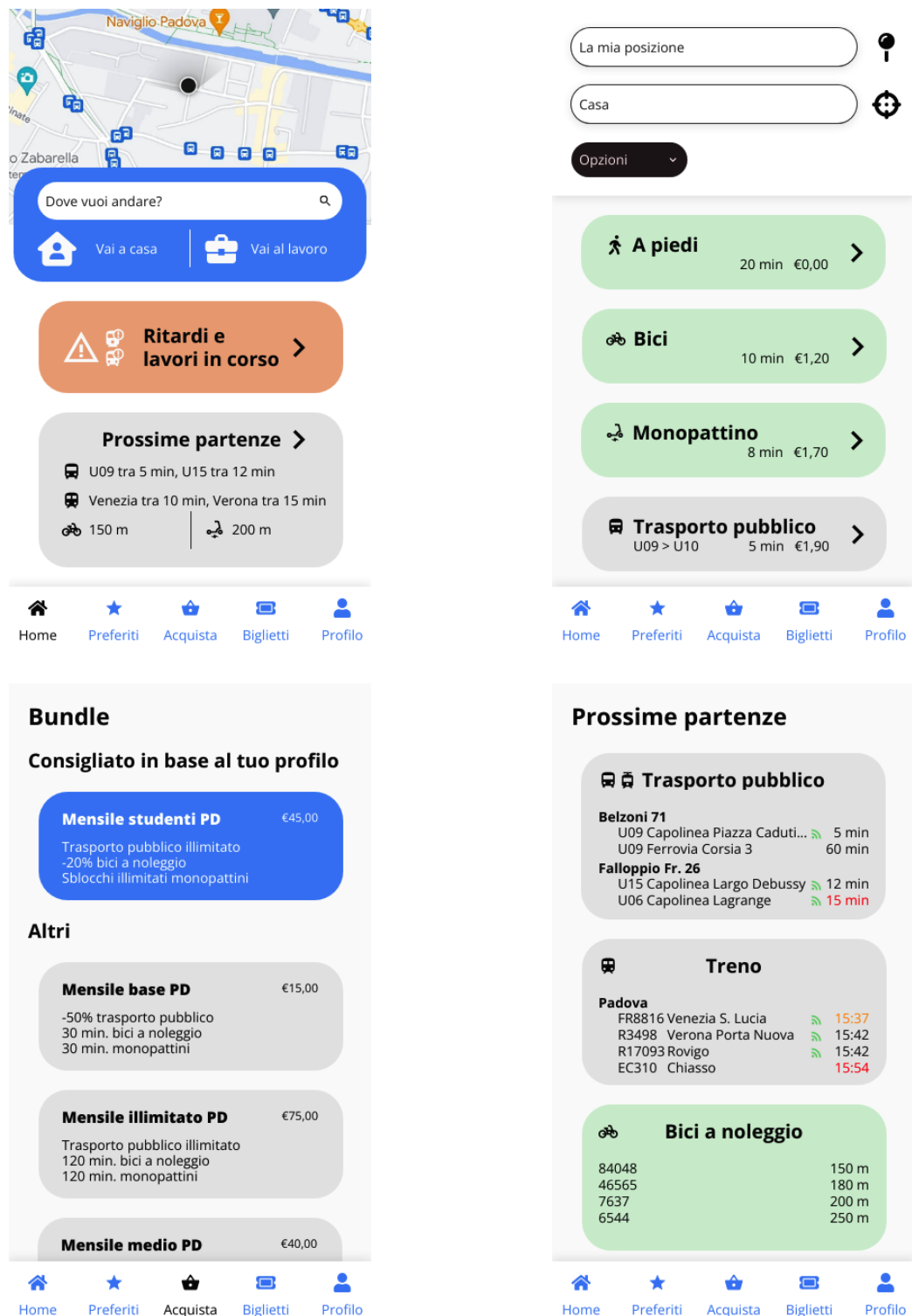


Figura 6.3: La presentazione dell'app per il MaaS, proposta attraverso uno smartphone.

6.4 La scelta del bundle

Nel secondo esercizio di scelta, si introducono degli esempi di bundle MaaS, dopo aver accennato in precedenza di cosa si trattasse. In questo caso, si pongono di fronte all'utente quattro pacchetti alternativi, tra cui si chiede di sceglierne uno. Vengono mostrati inoltre, per permettere un confronto, i prezzi dei servizi in modalità pay as you go, ovvero in assenza del pacchetto. Rispetto ai modi provati nella simulazione, si è aggiunto il car sharing, in quanto si tratta di un'alternativa all'auto di proprietà per gli spostamenti che non è possibile svolgere direttamente.

In Tabella 6.2 si propongono dei prezzi base mensili per ogni modo di trasporto disponibile nei bundle.

Tabella 6.2: Prezzi base mensili per le componenti dei pacchetti MaaS.

Modo	Pay as you go	Costi MaaS			
		<i>Pay as you go</i>	<i>2 corse senza fisso</i>	<i>5 corse senza fisso</i>	
Taxi	€ 6,50 + € 1,60/km	<i>Pay as you go</i> € 0,00	<i>2 corse senza fisso</i> € 9,00	<i>5 corse senza fisso</i> € 27,00	
Bike sharing	€ 1,20/ 20 min	<i>Pay as you go</i> € 0,00	<i>5 corse di 20 min</i> € 5,40	<i>10 corse di 20 min</i> € 9,00	<i>Illimitato</i> <small>corse < 60 min</small> € 27,00
Monopattino elettrico condiviso	€ 1,00 + € 0,20/min	<i>Sblocchi gratis</i> € 4,50	<i>30 min gratis</i> € 13,50	<i>60 min gratis</i> € 27,00	<i>Illimitato</i> € 45,00
Car sharing	€ 4,00/ora + € 0,50/km	<i>Pay as you go</i> € 0,00	<i>Credito</i> € 10 € 4,50	<i>Credito</i> € 25 € 13,50	
Trasporto pubblico	€ 1,70/ corsa	<i>-20%</i> € 8,10	<i>-30%</i> € 12,15	<i>-50%</i> € 20,25	<i>Illimitato</i> € 40,50

Per la loro definizione, si sono presi in considerazione i prezzi disponibili nel territorio di Padova al momento della stesura di questo testo, facendo riferimento ai siti internet relativi [68, 69, 70, 71, 72]. Questi valori sono stati quindi ridotti del 10% per aumentare l'attrattività dei bundle rispetto all'acquisto degli abbonamenti per ogni modo di trasporto.

A partire da questi costi, si sono definiti i possibili bundle da proporre all'utente. Per effettuare questa operazione, si sono sperimentati due diversi metodi: un primo, in cui i pacchetti vengono composti applicando un design dell'esperimento alle varie opzioni relative ad ogni modo e un secondo, in cui i bundle sono prestabiliti e ne viene solo variato il prezzo. In entrambi i casi, il soggetto non viene a conoscere il valore delle singole componenti del pacchetto, ma vede il solo costo complessivo.

Immediatamente prima dell'esercizio di scelta, viene presentato all'utente il seguente testo:

Ti verranno proposti ora quattro pacchetti di servizi, detti anche bundle, che costituiscono quattro offerte acquistabili all'interno di un programma MaaS. Insieme a questi, ti vengono mostrati i prezzi attuali dei vari modi di trasporto, nel caso in cui acquistassi i servizi singolarmente, ad ogni viaggio. Questo tipo di tariffazione è chiamato pay as you go, in quanto si acquista il servizio solo nel caso in cui si scegliesse di utilizzarlo.

Ti viene chiesto di scegliere il bundle MaaS che acquireresti, tra quelli proposti.

6.4.1 I bundle generati

Attraverso questo metodo, i pacchetti proposti vengono generati con un design dell'esperimento basato sulle varie voci della Tabella 6.2. Il costo totale del bundle diventa quindi pari alla somma dei costi individuati in precedenza, che viene poi moltiplicata per un coefficiente che va ad aumentare o diminuire il prezzo del 20%, oppure mantiene il totale invariato. Con questa procedura, l'aspetto di interesse per l'esperimento di scelta è in particolare la disponibilità a pagare a seconda dei servizi all'interno dei pacchetti proposti. Come già visto nella Sezione 6.1, la generazione viene svolta tramite il programma R [65], utilizzando il pacchetto `cbcTools` [67] che permette di raggruppare automaticamente le 4 opzioni mostrate ad ogni soggetto, mantenendo il numero di esperimenti effettuati pari a 100. Si riportano in Appendice A.2 il codice utilizzato per la generazione e, in Tabella 6.3, parte del relativo risultato. Quest'ultima è da leggersi a blocchi di quattro righe, ognuna corrispondente ad una delle quattro alternative proposte al singolo partecipante.

In ogni riga sono specificati i servizi inclusi relativamente ad ogni modo di trasporto, il fattore di moltiplicazione a cui viene sottoposto il totale e il prezzo finale proposto per la specifica alternativa.

In questo caso, il prezzo medio dei bundle generati è pari a poco più di € 72,00. La distribuzione dei prezzi è mostrata in Figura 6.4. Infine, in Figura 6.5 è possibile osservare la modalità con cui si mostrano all'utente i pacchetti proposti.

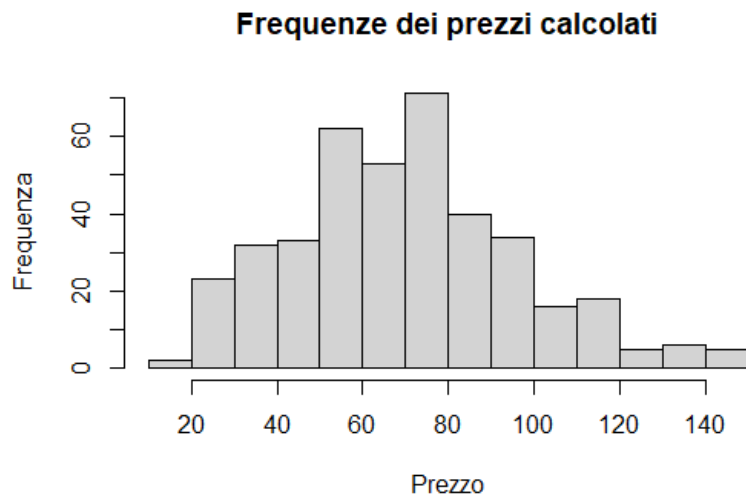


Figura 6.4: L'istogramma relativo ai prezzi dei pacchetti generati con il primo metodo.

Tabella 6.3: Esempio di parte design dei bundle generati.

altID	obsID	Taxi	Bike sharing	Monopattino	Car sharing	Bus	Fatt.	Prezzo
1	1	Pay as you go	Illimitato (< 60 min)	30 min gratis	Credito € 10	Illimitato	0.8	70.00
2	1	2 corse senza fisso	5 corse di 20 min	60 min gratis	Credito € 10	Illimitato	1.2	105.00
3	1	2 corse senza fisso	10 corse di 20 min	30 min gratis	Credito € 25	Illimitato	1	85.00
4	1	2 corse senza fisso	Illimitato (< 60 min)	30 min gratis	Credito € 25	-30%	1	75.00
1	2	2 corse senza fisso	Illimitato (< 60 min)	30 min gratis	Credito € 25	-50%	1.2	100.00
2	2	5 corse senza fisso	10 corse di 20 min	Illimitato	Credito € 25	Illimitato	1.2	160.00
3	2	5 corse senza fisso	5 corse di 20 min	60 min gratis	Pay as you go	-20%	0.8	55.00
4	2	5 corse senza fisso	5 corse di 20 min	30 min gratis	Credito € 10	-50%	1	70.00
1	3	5 corse senza fisso	Pay as you go	Illimitato	Credito € 10	-30%	0.8	70.00
2	3	2 corse senza fisso	5 corse di 20 min	Sblocchi gratis	Credito € 25	-30%	1	45.00
3	3	2 corse senza fisso	Illimitato (< 60 min)	30 min gratis	Credito € 10	-50%	1	75.00
4	3	2 corse senza fisso	Pay as you go	30 min gratis	Credito € 10	-20%	1	35.00
...
1	98	Pay as you go	Illimitato (< 60 min)	30 min gratis	Credito € 10	Illimitato	1	85.00
2	98	5 corse senza fisso	10 corse di 20 min	30 min gratis	Credito € 10	Illimitato	1	95.00
3	98	5 corse senza fisso	10 corse di 20 min	Sblocchi gratis	Credito € 25	-50%	0.8	60.00
4	98	5 corse senza fisso	Pay as you go	Illimitato	Pay as you go	Illimitato	1	110.00
1	99	2 corse senza fisso	5 corse di 20 min	60 min gratis	Pay as you go	-30%	0.8	45.00
2	99	5 corse senza fisso	Illimitato (< 60 min)	60 min gratis	Credito € 25	Illimitato	1.2	160.00
3	99	5 corse senza fisso	Illimitato (< 60 min)	30 min gratis	Credito € 25	-30%	0.8	75.00
4	99	Pay as you go	Illimitato (< 60 min)	60 min gratis	Pay as you go	-30%	0.8	55.00
1	100	Pay as you go	10 corse di 20 min	Illimitato	Credito € 10	-30%	0.8	55.00
2	100	Pay as you go	10 corse di 20 min	60 min gratis	Credito € 10	-30%	1	55.00
3	100	5 corse senza fisso	10 corse di 20 min	60 min gratis	Credito € 10	-30%	1	80.00
4	100	2 corse senza fisso	5 corse di 20 min	60 min gratis	Credito € 25	-20%	0.8	50.00

Modo	Opzione 1	Opzione 2
Taxi	<i>Pay as you go</i>	<i>2 corse senza fisso</i>
Bike sharing	<i>Illimitato corse < 60 min</i>	<i>5 corse di 20 min</i>
Monopattino elettrico condiviso	<i>30 min gratis</i>	<i>60 min gratis</i>
Car sharing	<i>Credito € 10</i>	<i>Credito € 10</i>
Trasporto pubblico	<i>Illimitato</i>	<i>Illimitato</i>
Prezzo	€ 70,00/mese	€ 105,00/mese

Modo	Opzione 3	Opzione 4
Taxi	<i>2 corse senza fisso</i>	<i>2 corse senza fisso</i>
Bike sharing	<i>10 corse di 20 min</i>	<i>Illimitato corse < 60 min</i>
Monopattino elettrico condiviso	<i>30 min gratis</i>	<i>30 min gratis</i>
Car sharing	<i>Credito € 25</i>	<i>Credito € 25</i>
Trasporto pubblico	<i>Illimitato</i>	<i>-30%</i>
Prezzo	€ 85,00/mese	€ 75,00/mese

Prezzi pay as you go				
Taxi	Bike sharing	Monopattino elettrico condiviso	Car sharing	Trasporto pubblico
€ 6,50 + € 1,60/km	€ 1,20/ 20 min	€ 1,00 + € 0,20/min	€ 4,00/ora + € 0,50/km	€ 1,70/ corsa

Figura 6.5: Esempio della proposta dei bundle con il primo metodo di generazione.

6.4.2 I pacchetti prestabiliti

Un altro metodo per la scelta dei bundle da proporre all'utente è quello di stabilire quattro differenti pacchetti, ognuno relativo ad una fascia di prezzo differente. Ogni soluzione è pensata per dare un livello di servizio diverso. Questo approccio è simile a quello proposto da Ho in alcune ricerche [12, 19, 73], nelle quali i soggetti erano portati a dichiarare una preferenza tra le proprie abitudini attuali di mobilità e alcuni pacchetti MaaS preconfigurati. A partire da questa impostazione, si sono definiti dei pacchetti con dei relativi prezzi di base, a partire dalla Tabella 6.2. I bundle proposti sono visibili in Tabella 6.4.

Tabella 6.4: Prezzi base per i pacchetti MaaS prestabiliti.

Modo	Pay as you go	Bundle MaaS			
		Base	MaaS	MaaS+	Illimitato
Taxi	€ 6,50 + € 1,60/km	<i>Pay as you go</i>	<i>Pay as you go</i>	<i>2 corse senza fisso</i>	<i>5 corse senza fisso</i>
Bike sharing	€ 1,20/ 20 min	<i>Pay as you go</i>	<i>5 corse di 20 min</i>	<i>10 corse di 20 min</i>	<i>Illimitato corse < 60 min</i>
Monopattino elettrico condiviso	€ 1,00 + € 0,20/min	<i>Sblocchi gratis</i>	<i>30 min gratis</i>	<i>60 min gratis</i>	<i>Illimitato</i>
Car sharing	€ 4,00/ora + € 0,50/km	<i>Pay as you go</i>	<i>Pay as you go</i>	<i>Credito € 10</i>	<i>Credito € 25</i>
Trasporto pubblico	€ 1,70/ corsa	<i>-20%</i>	<i>-30%</i>	<i>-50%</i>	<i>Illimitato</i>
Costo base		€ 15,00/ mese	€ 30,00/ mese	€ 70,00/ mese	€ 155,00/ mese

A partire da questi prezzi, per la preparazione dell'esercizio di scelta si sono andati a definire dei coefficienti moltiplicativi, utilizzati per far variare i costi dei vari pacchetti, in modo da poter sondare la disponibilità degli utenti a pagare per le varie offerte. I vari prezzi, quindi, sono stati moltiplicati secondo un design dell'esperimento per coefficienti pari a 0.8, 0.9, 1, 1.1 e 1.2. In questo modo, moltiplicando i prezzi base con questi valori e arrotondando i risultati all'unità più vicina, si sono creati i valori finali proposti agli utenti. Anche in questo caso, il design è stato sviluppato utilizzando R e i pacchetti `cbcTools` e `AlgDesign`, come visibile nel codice riportato in Appendice A.3, sempre rispetto al numero di 100 partecipanti definito in precedenza. In Figura 6.6 è inoltre possibile vedere una distribuzione dei prezzi risultanti, in cui si può notare la variabilità intorno ai quattro valori base. Il prezzo medio delle proposte è stato, in questo caso, pari a poco meno di € 68,00, quindi comparabile con quanto visto nella Sottosezione 6.4.1. In Tabella 6.5 è possibile osservare un esempio dei prezzi generati per ogni soggetto. Rispetto al caso proposto nella Sottosezione 6.4.1, si sceglie di introdurre i bundle proposti con alcune spiegazioni, in quanto questi pacchetti non sono stati costruiti casualmente, ma a livelli di prezzo e servizi crescenti. Il testo mostrato all'utente è il seguente:

I bundle che ti vengono proposti sono stati pensati per permetterti di scegliere l'opzione che è più consona alle tue necessità e al prezzo che ritieni adeguato per i servizi offerti. Nello specifico, i quattro pacchetti sono stati pensati come segue:

- **Base:** il bundle per entrare nel mondo del MaaS. Il trasporto pubblico viene scontato del 20% rispetto al prezzo base e ti è possibile utilizzare i monopattini condivisi senza pagare il prezzo dello sblocco.
- **MaaS:** con questo pacchetto, hai a disposizione diverse corse con biciclette e monopattini elettrici, permettendoti di muoverti all'aria aperta per compiere piccoli spostamenti quotidiani. Inoltre, il trasporto pubblico ti costa il 30% in meno.
- **MaaS+:** grazie a questo bundle, ti è possibile accedere a prezzo agevolato a taxi e car sharing, permettendoti di muoverti anche senza avere sempre l'auto a tua disposizione. Aumentano anche le corse incluse con bicicletta e monopattino, e il trasporto pubblico costa la metà.

- **Illimitato:** questo pacchetto punta a sostituire completamente l'automobile privata. Hai a disposizione tutto il trasporto pubblico, biciclette e monopattini senza limiti e, in caso di necessità, prezzi particolarmente agevolati per taxi e car sharing, in modo da sostituire l'auto per i tragitti in cui è impossibile rinunciarci.

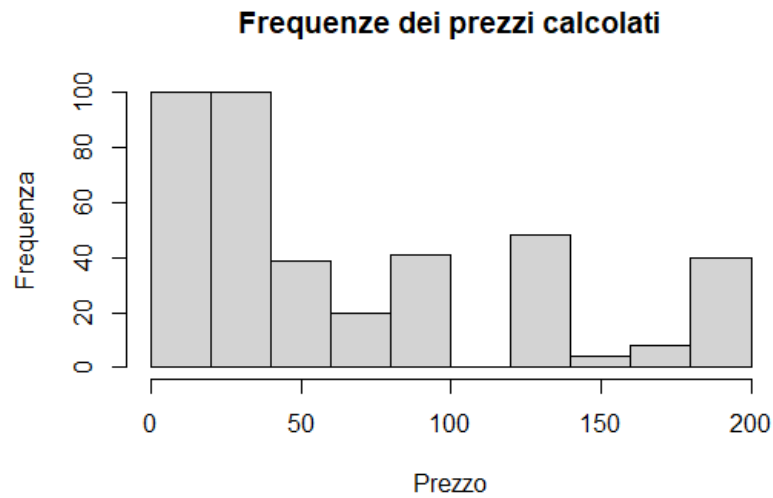


Figura 6.6: L'istogramma relativo ai prezzi dei pacchetti prestabiliti.

Tabella 6.5: Esempio di parte design dei prezzi dei bundle prestabiliti.

Base	MaaS	MaaS+	Illimitato
12.00	24.00	56.00	124.00
14.00	24.00	56.00	124.00
15.00	24.00	56.00	124.00
16.00	24.00	56.00	124.00
18.00	24.00	56.00	124.00
12.00	27.00	56.00	124.00
18.00	27.00	56.00	124.00
12.00	30.00	56.00	124.00
18.00	30.00	56.00	124.00
12.00	33.00	56.00	124.00
18.00	33.00	56.00	124.00
12.00	36.00	56.00	124.00
14.00	36.00	56.00	124.00
16.00	36.00	56.00	124.00
18.00	36.00	56.00	124.00
12.00	24.00	63.00	124.00
18.00	24.00	63.00	124.00
12.00	36.00	63.00	124.00
...
18.00	24.00	77.00	186.00
12.00	36.00	77.00	186.00
18.00	36.00	77.00	186.00
12.00	24.00	84.00	186.00
14.00	24.00	84.00	186.00
15.00	24.00	84.00	186.00
16.00	24.00	84.00	186.00
18.00	24.00	84.00	186.00
12.00	27.00	84.00	186.00
18.00	27.00	84.00	186.00
12.00	30.00	84.00	186.00
18.00	30.00	84.00	186.00
12.00	33.00	84.00	186.00
18.00	33.00	84.00	186.00
12.00	36.00	84.00	186.00
14.00	36.00	84.00	186.00
16.00	36.00	84.00	186.00
18.00	36.00	84.00	186.00

Capitolo 6. Gli esperimenti di scelta

Modo	Base	MaaS
Taxi	<i>Pay as you go</i>	<i>Pay as you go</i>
Bike sharing	<i>Pay as you go</i>	<i>5 corse di 20 min</i>
Monopattino elettrico condiviso	<i>Sblocchi gratis</i>	<i>30 min gratis</i>
Car sharing	<i>Pay as you go</i>	<i>Pay as you go</i>
Trasporto pubblico	<i>-20%</i>	<i>-30%</i>
Prezzo	€ 12,00/mese	€ 28,00/mese

Modo	MaaS+	Illimitato
Taxi	<i>2 corse senza fisso</i>	<i>5 corse senza fisso</i>
Bike sharing	<i>10 corse di 20 min</i>	<i>Illimitato corse < 60 min</i>
Monopattino elettrico condiviso	<i>60 min gratis</i>	<i>Illimitato</i>
Car sharing	<i>Credito € 10</i>	<i>Credito € 25</i>
Trasporto pubblico	<i>-50%</i>	<i>Illimitato</i>
Prezzo	€ 64,00/mese	€ 136,00/mese

Prezzi pay as you go				
Taxi	Bike sharing	Monopattino elettrico condiviso	Car sharing	Trasporto pubblico
€ 6,50 + € 1,60/km	€ 1,20/20 min	€ 1,00 + € 0,20/min	€ 4,00/ora + € 0,50/km	€ 1,70/corsa

Figura 6.7: Esempio della proposta dei bundle con il secondo metodo di generazione.

6.5 Il confronto tra modo scelto e bundle

Dopo aver scelto il bundle preferito, si pone il soggetto di fronte ad un confronto tra la scelta effettuata nella Sezione 6.2 e quella effettuata nella Sezione 6.4. In questo modo, si vuole cercare di comprendere se il MaaS può essere impiegato in alternativa al modo selezionato nel primo esperimento di scelta per lo spostamento specifico. Per rendere comparabili le due alternative, si uniforma il costo del viaggio scelto nel primo esperimento di scelta, considerandolo svolto cinque volte a settimana, quindi venti volte al mese, in modo da ottenere un valore su base mensile, come quello definito per i pacchetti MaaS oggetto del secondo esperimento di scelta.

Il quesito viene posto come segue:

Ti viene ora chiesto di mettere a confronto le scelte che hai fatto nei due quesiti precedenti, dove nel secondo caso è presente un pacchetto MaaS, con i vantaggi aggiuntivi legati alla disponibilità di più servizi e al supporto che ti viene dato dall'app.

Tra il modo di trasporto scelto dopo la simulazione virtuale e il pacchetto MaaS che hai selezionato, quale sceglieresti?

Pacchetto MaaS	
Taxi	<i>2 corse senza fisso</i>
Bike sharing	<i>10 corse di 20 min</i>
Monopattino elettrico condiviso	<i>60 min gratis</i>
Car sharing	<i>Credito € 10</i>
Trasporto pubblico	<i>-50%</i>
Prezzo	€ 56,00/ mese

Modo scelto
Automobile privata
9 minuti/viaggio
€ 40,00/ mese

Figura 6.8: Esempio della scelta nel terzo esercizio.

6.6 La scelta del modo preferito all'interno del bundle

Nell'ultimo esperimento di scelta, si va a chiedere una preferenza tra i modi disponibili all'interno del bundle: l'interesse di questo esercizio sta nel conoscere se uno dei modi di trasporto disponibili nel bundle è di particolare interesse per l'utente. L'esercizio viene presentato all'utente come segue:

Pensando ora di aver aderito al bundle MaaS che hai scelto in precedenza, ti viene chiesto ora di scegliere, tra i modi che abbiamo presentato, quale utilizzeresti con maggiore probabilità in un contesto in cui è disponibile questo tipo di servizio di mobilità.

Modi di trasporto nel pacchetto MaaS				
Taxi	Bike sharing	Monopattino elettrico condiviso	Car sharing	Trasporto pubblico

Figura 6.9: Esempio della proposta dei bundle con il primo metodo di generazione.

6.7 Altre informazioni

Infine, per poter analizzare le risposte anche rispetto alle caratteristiche personali degli intervistati, viene chiesto all'utente di rispondere ad alcune domande relative alla propria condizione socio-economica, alle proprie abitudini e alla propria sensibilità rispetto ai temi della mobilità sostenibile.

Un elenco delle informazioni richieste può contenere:

- **Informazioni personali**
 - Età
 - Genere
 - Titolo di studio
- **Informazioni sociali**
 - Numero di componenti del nucleo familiare
 - Ruolo nella propria famiglia

- Residenza (CAP/Comune)
- **Informazioni sulle abitudini di trasporto**
 - Possesso della patente di guida
 - Possesso di un abbonamento al trasporto pubblico
 - Possesso di automobile/bicicletta/ciclomotore
 - Frequenze d'uso dei modi di trasporto
 - Complessità dei propri spostamenti abituali (monomodali/multi-modali)
 - Preferenze per la scelta dei modi di trasporto (velocità, sicurezza, semplicità, attrattività)
- **Informazioni comportamentali e valoriali**
 - Attitudine nei confronti dell'ambiente
 - Attitudine nei confronti della mobilità sostenibile
 - Valori bio-altruistici
 - Valori egoistici
- **Informazioni economiche**
 - Occupazione
 - Reddito del nucleo familiare

Conclusione e sviluppi futuri

In questo lavoro di tesi si è presentata una procedura per la realizzazione di esperimenti di scelta relativi al Mobility as a Service (MaaS), un concetto di mobilità integrata e orientata verso l'utente definito negli scorsi anni. Gli esercizi di scelta progettati si basano su simulazioni in realtà virtuale (VR), una tecnologia innovativa che permette di immergere l'utente in una simulazione 3D progettata su misura.

Questo lavoro di tesi si è prefissato l'obiettivo di costruire uno scenario virtuale in cui far sperimentare ai partecipanti degli spostamenti con l'utilizzo di alcuni modi di trasporto, per poi proporre dei quesiti di scelta relativi a quanto vissuto nella simulazione. Con queste modalità si è indagato l'interesse degli utenti rispetto al tema del MaaS, da un punto di vista funzionale e tariffario. L'attività svolta si è sviluppata nell'ambito del gruppo di lavoro Spoke 8 – MaaS & innovative services del MOST - Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del piano NextGenerationEU.

Per raggiungere quanto appena spiegato, questo elaborato si è sviluppato a partire da un'analisi di letteratura sul tema del MaaS, andando ad analizzarne le caratteristiche fondamentali, i punti di forza e le difficoltà nell'implementazione. In seguito, l'analisi della letteratura si è concentrata sulla realtà virtuale, andando ad analizzare gli strumenti utilizzati e le applicazioni di questa tecnologia. Da queste ricerche, è emersa una presenza molto limitata di articoli relativi all'utilizzo della realtà virtuale a fini di indagini trasportistiche.

Partendo da questa lacuna, il presente lavoro si è articolato proponendo delle modalità attraverso cui proporre un'esperienza virtuale su cui sviluppare delle indagini nella forma di quattro esercizi di scelta. Per poter progettare una simulazione, si è delineato un caso studio, calato nel contesto urbano di Padova, di cui si sono analizzate le caratteristiche e i modi di trasporto disponibili, con le rispettive peculiarità. Oltre a ciò, per introdurre il concetto di MaaS, si è definito il concept di un'applicazione per smartphone che permetta all'utente di usufruire in tutti i suoi aspetti del sistema dei trasporti

gestito dal MaaS, dalla pianificazione del viaggio all'acquisto del biglietto. A partire dal contesto analizzato si è quindi costruito un ambiente virtuale "proof-of-concept", in cui si sono delineati gli aspetti principali della simulazione e le caratteristiche di interesse della rappresentazione dell'ambiente analizzato.

Infine, si è proposta la struttura con cui svolgere gli esperimenti: in seguito alla definizione delle caratteristiche delle simulazioni mostrate ad ogni soggetto della ricerca, scelte attraverso un processo di design tipico degli esperimenti di scelta discreta, si procede con l'immersione nella realtà virtuale. In questa simulazione, l'utente sperimenta sei differenti modi di trasporto per effettuare uno stesso spostamento. A partire da quanto vissuto in questa fase, nel primo esercizio di scelta, il soggetto deve esprimere la propria preferenza per uno dei modi presentati. In seguito, vengono introdotti il concetto di MaaS, l'app proposta in precedenza e il concetto di bundle, cioè i pacchetti integrati che caratterizzano la proposta del MaaS. Successivamente, nel secondo esperimento di scelta, si propongono all'utente quattro bundle tra cui è chiesto di sceglierne uno, secondo una delle due formulazioni proposte in questa tesi. Nel terzo esercizio, si pongono a confronto il pacchetto appena adottato e il modo di trasporto selezionato dopo la simulazione. Infine, nel quarto esperimento, viene chiesto all'utente di scegliere un modo preferito tra quelli disponibili all'interno del bundle.

In conclusione, questo testo propone dei metodi efficaci per la realizzazione della simulazione in realtà virtuale, definiti considerando l'interdipendenza tra questa e le caratteristiche degli esercizi di scelta svolti in seguito. La formulazione dei quesiti si concentra sul tema del MaaS, andando ad indagare l'interesse degli utenti per questo concept rispetto alla mobilità monomodale, sulla preferenza rispetto a diverse formulazioni dei bundle e sondando l'interesse verso specifici modi di trasporto proposti nei pacchetti MaaS.

Grazie a quanto analizzato in questa tesi, è stato possibile definire un numero di soggetti considerato adeguato ai fini della ricerca, ritenuto pari a 100. Infatti, questo valore è accettabile rispetto ai parametri statistici analizzati e permette di svolgere gli esperimenti simulando tutti i modi di trasporto disponibili, vista la durata dell'esperienza in realtà virtuale di circa un'ora. Inoltre, l'attività svolta si configura anche come uno step preliminare per una simulazione 3D più estesa, in modo da permetterne una rapida ed efficace implementazione.

In particolare, il lavoro sviluppato pone le basi per sviluppare ulteriormente i temi affrontati, nell'ottica dei task relativi al progetto proposto dal MOST, di cui si è parlato in precedenza.

All'interno del contesto di ricerca in cui si sviluppa questa tesi, è possibile delineare alcuni sviluppi futuri del progetto.

Innanzitutto, per rendere completamente attuabile il processo proposto, è necessario completare la simulazione virtuale, superando l'approccio del "proof-of-concept" e creando un ambiente più esteso e in grado di mostrare in maniera completa tutte le variabili di interesse al fine degli esperimenti di scelta. Rispetto al modello 3D può essere utile anche migliorarne il realismo, attraverso una simulazione del traffico in grado di provocare ritardi e code, e allo stesso modo affollare le zone ciclopedonali con i relativi utenti. È possibile inoltre rendere più interattiva la simulazione, permettendo di interagire con i mezzi disponibili e di condurli, o di spostarsi a piedi, in bici o in monopattino in completa libertà.

Un altro aspetto che è possibile approfondire è quello dell'applicazione, superando lo stato del concept e rendendola, almeno in parte, funzionante. Questa può essere introdotta anche all'interno della simulazione, dando la possibilità di sperimentarla in maniera più tangibile, testandola in un contesto in cui è effettivamente funzionale.

Infine, per poter testare il concetto di MaaS sul campo, si può pensare di creare un progetto pilota per sperimentazione di bundle e app nella mobilità reale. In questo senso, sarebbe necessario trovare degli accordi con le imprese di trasporto e le aziende di micromobilità in modo da poter verificare l'effettiva efficacia di una tariffazione unificata e dei bundle, ma soprattutto riuscendo ad avere a disposizione un'applicazione completamente funzionante anche nella rete reale dei trasporti.

Appendice A

Codice utilizzato per il design degli esperimenti

A.1 La generazione degli esperimenti

```
# Generazione design con 18 attributi, raggruppati per
  alternativa

library(cbcTools)
library(AlgDesign)

nSogg <- 100;

# Generazione del full factorial design contenente tutte le
  alternative
profiles <- cbc_profiles(
costo_a      = c(1,2,3),
tempo_a      = c(1,2,3),
dist_b       = c(1,2,3),
attesa_b     = c(1,2,3),
aff_b        = c(1,2,3),
costo_b      = c(1,2,3),
tempo_b      = c(1,2,3),
inf_bc       = c(1,2),
tempo_bc     = c(1,2,3),
costo_t      = c(1,2,3),
tempo_t      = c(1,2,3),
dist_cs      = c(1,2,3),
costo_cs     = c(1,2,3),
tempo_cs     = c(1,2,3),
```

Appendice A. Codice utilizzato per il design degli esperimenti

```
dist_mc      = c(1,2,3),
inf_mc       = c(1,2),
costo_mc     = c(1,2,3),
tempo_mc     = c(1,2,3)
)

# Estrazione random di profili dal full factorial
design_random <- cbc_design(
  profiles = profiles,
  n_resp   = 1000,
  n_alts   = 2,
  n_q      = 1,
)

# Rimozione colonne non utili per il design
design_random = design_random[,-1:-5]

# Generazione del design D-optimal
opt.design.Fed=optFederov(~.,data = design_random, nTrials
  = nSogg)
opt.design.Fed[["D"]]
opt.design.Fed[["Ge"]]

# Sostituzione nomi dei livelli nel design finale
design = opt.design.Fed[["design"]]
livelli <- read.csv(file = "livelli_design.csv", dec = ",",
  sep = ";",header = T)
nome_colonne = colnames(design)

for(i in 1:length(nome_colonne)) {
  if(livelli[i,1] == nome_colonne[i]){
    for(j in 1:nrow(design)) {
      design[j,i] = livelli[i,1 + strtoi(
        design[j,i])]
    }
  }
}
```

A.2 I bundle generati

```
# Generazione bundle con design delle caratteristiche

library(cbcTools)
library(AlgDesign)

nSogg <- 100;

# Generazione del full factorial design contenente tutte le
  alternative
bundle_profiles <- cbc_profiles(
taxi      = c(1,2,3),
bs        = c(1,2,3,4),
mp        = c(1,2,3,4),
cs        = c(1,2,3),
bus       = c(1,2,3,4),
fatt      = c(1,2,3)
)

# Estrazione random di profili dal full factorial
bundle_design <- cbc_design(
profiles  = bundle_profiles,
n_resp   = nSogg, # Number of respondents
n_alts   = 4, # Number of alternatives per question
n_q      = 1, # Number of questions per respondent
)

# Sostituzione nomi dei livelli nel design finale
livelli_bundle <- read.csv(file = "livelli_bundle.csv", dec
  = ",", sep = ";", header = T)
nome_colonne = colnames(bundle_design[,-1:-5])

for(i in 1:length(nome_colonne)) {
  if(livelli_bundle[i,1] == nome_colonne[i]){
    for(j in 1:nrow(bundle_design)) {
      bundle_design[j,nome_colonne[i]] =
        livelli_bundle[i,1 + strtoi(
          bundle_design[j,nome_colonne[i]
            ])]
    }
  }
}
}
```

Appendice A. Codice utilizzato per il design degli esperimenti

```
# Calcolo prezzo
bundle_design$prezzo <- NA
tariffe <- read.csv(file = "tariffe.csv", dec = ",", sep =
  ";",header = T)

mround <- function(x,base){
  base*round(x/base)
}

for(i in 1:nrow(bundle_design)) {
  prezzo <- 0
  for (j in c('taxi','bs','cs','bus','mp')){
    for(k in 1:nrow(tariffe)){
      if(tariffe[k,'modo']==j & bundle_
        design[i,j]==tariffe[k,'opzione'
        ]){
          prezzo <- prezzo + tariffe[
            k,'costo']
        }
      }
    }
  }
  prezzo <- mround(prezzo*as.numeric(bundle_design[i,
    'fatt']),5)
  bundle_design[i, 'prezzo'] <- prezzo
}

# Visualizzazione dati
hist(bundle_design$'prezzo', main = 'Frequenze dei prezzi
  calcolati', xlab = 'Prezzo', ylab = 'Frequenza')
mean(bundle_design$'prezzo')
```

A.3 I pacchetti prestabiliti

```

# Generazione del design della variazione dei prezzi dei
  bundle prestabiliti

library(cbcTools)
library(AlgDesign)

nSogg <- 100;

# Generazione del full factorial design contenente tutte le
  alternative
bundle2_profiles <- cbc_profiles(
fatt1      = c(1,2,3,4,5),
fatt2      = c(1,2,3,4,5),
fatt3      = c(1,2,3,4,5),
fatt4      = c(1,2,3,4,5)
)

# Rimozione colonne non utili per il design
bundle2_profiles = bundle2_profiles[,-1:-1]

# Calcolo del design ottimizzato
bundle2_opt = optFederov(~.,data = bundle2_profiles,
  nTrials = nSogg)
bundle2_design = bundle2_opt[["design"]]

# Sostituzione nomi dei livelli nel design finale
livelli_bundle2 <- read.csv(file = "livelli_bundle2.csv",
  dec = ",", sep = ";",header = T)
nome_colonne = colnames(bundle2_design)

for(i in 1:length(nome_colonne)) {
  if(livelli_bundle2[i,1] == nome_colonne[i]){
    for(j in 1:nrow(bundle2_design)) {
      bundle2_design[j,nome_colonne[i]] =
        livelli_bundle2[i,1 + strtoi(
          bundle2_design[j,nome_colonne[i]
        ])]
    }
  }
}

```

Appendice A. Codice utilizzato per il design degli esperimenti

```
# Calcolo prezzo
tariffe_base <- c(15, 30, 70, 155)

# Creazione nuova matrice
columns = c("Base", "MaaS", "MaaS+", "Illimitato")
bundle2_prezzi = data.frame(matrix(nrow = nSogg, ncol =
  length(columns)))
colnames(bundle2_prezzi) = columns

mround <- function(x, base){
  base*round(x/base)
}

for(i in 1:nrow(bundle2_design)) {
  for (j in 1:ncol(bundle2_design)){
    bundle2_prezzi[i,j] <- mround(bundle2_
      design[i,j]*tariffe_base[j], 1)
  }
}

# Visualizzazione dati
prezzi <- c(bundle2_prezzi[,1], bundle2_prezzi[,2], bundle2_
  _prezzi[,3], bundle2_prezzi[,4])

hist(prezzi, main = 'Frequenze dei prezzi calcolati', xlab
  = 'Prezzo', ylab = 'Frequenza')
mean(prezzi)
```


Bibliografia

- [1] MOST - Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.centronazionalemost.it/>.
- [2] Daniela Arias-Molinares e Juan C. García-Palomares. “The Ws of MaaS: Understanding mobility as a service from a literature review”. In: *IA-TSS Research* 44.3 (ott. 2020), pp. 253–263. URL: <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.02.001>.
- [3] Elena Alyavina, Alexandros Nikitas e Eric Tchouamou Njoya. “Mobility as a service (MaaS): A thematic map of challenges and opportunities”. In: *Research in Transportation Business & Management* 43 (giu. 2022), p. 100783. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100783>.
- [4] Ricky Goulding e Maria Kamargianni. “The Mobility as a Service Maturity Index: Preparing the Cities for the Mobility as a Service Era”. In: (2018). URL: <https://zenodo.org/record/1485002>.
- [5] Peraphan Jittrapirom et al. “Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges”. In: *Urban Planning* 2.2 (giu. 2017), pp. 13–25. URL: <https://doi.org/10.17645/up.v2i2.931>.
- [6] Yale Z. Wong, David A. Hensher e Corinne Mulley. “Mobility as a service (MaaS): Charting a future context”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 131 (gen. 2020), pp. 5–19. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.030>.
- [7] James Bushell, Rico Merkert e Matthew J. Beck. “Consumer preferences for operator collaboration in intra- and intercity transport ecosystems: Institutionalising platforms to facilitate MaaS 2.0”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 160 (giu. 2022), pp. 160–178. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.04.013>.

- [8] Vincent A.C. van den Berg, Henk Meurs e Erik T. Verhoef. “Business models for Mobility as an Service (MaaS)”. In: *Transportation Research Part B: Methodological* 157 (mar. 2022), pp. 203–229. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.02.004>.
- [9] David A. Hensher, Corinne Mulley e John D. Nelson. “Mobility as a service (MaaS) – Going somewhere or nowhere?” In: *Transport Policy* 111 (set. 2021), pp. 153–156. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.07.021>.
- [10] Göran Smith e David A. Hensher. “Towards a framework for Mobility-as-a-Service policies”. In: *Transport Policy* 89 (apr. 2020), pp. 54–65. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.02.004>.
- [11] Márk Miskolczi et al. “Urban mobility scenarios until the 2030s”. In: *Sustainable Cities and Society* 72 (set. 2021), p. 103029. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103029>.
- [12] Chinh Q. Ho. “Can MaaS change users’ travel behaviour to deliver commercial and societal outcomes?” In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 165 (nov. 2022), pp. 76–97. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.09.004>.
- [13] Panagiotis Georgakis et al. “MultiModal Route Planning in Mobility as a Service”. In: *IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence - Companion Volume*. ACM, ott. 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3358695.3361843>.
- [14] Nima Dadashzadeh et al. “Mobility as a Service Inclusion Index (MaaSINI): Evaluation of inclusivity in MaaS systems and policy recommendations”. In: *Transport Policy* 127 (ott. 2022), pp. 191–202. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.09.006>.
- [15] Panagiotis Georgakis et al. “Heuristic-Based Journey Planner for Mobility as a Service (MaaS)”. In: *Sustainability* 12.23 (dic. 2020), p. 10140. URL: <https://doi.org/10.3390/su122310140>.
- [16] Georgina Santos e Nikolay Nikolaev. “Mobility as a Service and Public Transport: A Rapid Literature Review and the Case of Moovit”. In: *Sustainability* 13.7 (mar. 2021), p. 3666. URL: <https://doi.org/10.3390/su13073666>.
- [17] Yuntian Deng et al. “Incentive design and profit sharing in multi-modal transportation networks”. In: *Transportation Research Part B: Methodological* 163 (set. 2022), pp. 1–21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.06.011>.

-
- [18] Pim Labee, Soora Rasouli e Feixiong Liao. “The implications of Mobility as a Service for urban emissions”. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 102 (gen. 2022), p. 103128. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103128>.
- [19] Chinh Q. Ho et al. “Potential uptake and willingness-to-pay for Mobility as a Service (MaaS): A stated choice study”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 117 (nov. 2018), pp. 302–318. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.025>.
- [20] Stella Huang. “Listening to users’ personal privacy concerns. The implication of trust and privacy concerns on the user’s adoption of a MaaS-pilot”. In: *Case Studies on Transport Policy* 10.4 (dic. 2022), pp. 2153–2164. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.09.012>.
- [21] David A. Hensher. “What might Covid-19 mean for mobility as a service (MaaS)?” In: *Transport Reviews* 40.5 (lug. 2020), pp. 551–556. URL: <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1770487>.
- [22] André de Palma, Shaghayegh Vosough e Feixiong Liao. “An overview of effects of COVID-19 on mobility and lifestyle: 18 months since the outbreak”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 159 (mag. 2022), pp. 372–397. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.03.024>.
- [23] Youngseo Kim et al. “A comparative analysis of the users of private cars and public transportation for intermodal options under Mobility-as-a-Service in Seoul”. In: *Travel Behaviour and Society* 24 (lug. 2021), pp. 68–80. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.03.001>.
- [24] John D. Nelson e Brian Caulfield. “Implications of COVID-19 for future travel behaviour in the rural periphery”. In: *European Transport Research Review* 14.1 (mag. 2022). URL: <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00547-0>.
- [25] Jan Schikofsky, Till Dannewald e Matthias Kowald. “Exploring motivational mechanisms behind the intention to adopt mobility as a service (MaaS): Insights from Germany”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 131 (gen. 2020), pp. 296–312. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.022>.
- [26] Andrea Baldassa et al. “MaaS Bundling and Acceptance in the Pandemic Era: Evidence from Padua, Italy”. In: *Journal of Advanced Transportation* 2022 (ago. 2022). A cura di Alessandro Severino, pp. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1155/2022/9833689>.

- [27] Helena Strömberg, I. C. MariAnne Karlsson e Jana Sochor. “Inviting travelers to the smorgasbord of sustainable urban transport: evidence from a MaaS field trial”. In: *Transportation* 45.6 (nov. 2018), pp. 1655–1670. URL: <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9946-8>.
- [28] Jana Sochor, Helena Strömberg e I. C. MariAnne Karlsson. “Travelers’ motives for adopting a new, innovative travel service: insights from the UbiGo field operational test in Gothenburg, Sweden”. In: *21st World Congress on Intelligent Transport Systems, Detroit, September 7-11, 2014*. Chalmers Publication Library, set. 2014. URL: <https://research.chalmers.se/en/publication/204386>.
- [29] *Whim*. *Whim - Insights from the world’s first Mobility-as-a-Service (MaaS) system*. 2019. URL: <https://whimapp.com/helsinki/en/rambolls-whim-study-reveals-that-public-transportation-is-the-backbone-of-mobility-as-a-service/>.
- [30] Whim. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://whimapp.com/>.
- [31] Transport for New South Wales. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://transportnsw.info/>.
- [32] Moovit. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://moovit.com/>.
- [33] Citymapper. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://citymapper.com/>.
- [34] Citymapper. *Pagina di download dell’app*. 2023. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.citymapper.app.release>.
- [35] MooneyGo. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.mooneygo.it/>.
- [36] MooneyGo. *Pagina di download dell’app*. 2023. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.pluservice.myCicero>.
- [37] Moovit. *Pagina di download dell’app*. 2023. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tranzmate>.
- [38] Whim. *Pagina di download dell’app*. 2023. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=global.maas.whim>.
- [39] Google Maps. *Pagina di download dell’app*. 2023. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps>.

-
- [40] Rico Merkert, James Bushell e Matthew J. Beck. “Collaboration as a service (CaaS) to fully integrate public transportation – Lessons from long distance travel to reimagine mobility as a service”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 131 (gen. 2020), pp. 267–282. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.025>.
- [41] Jitendra Kumar Verma e Sudip Paul, cur. *Advances in Augmented Reality and Virtual Reality*. Springer Singapore, 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-7220-0>.
- [42] Zhenan Feng et al. “Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review”. In: *Computers & Education* 127 (dic. 2018), pp. 252–266. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.002>.
- [43] Ilias Mokas et al. “Can immersive virtual reality increase respondents’ certainty in discrete choice experiments? A comparison with traditional presentation formats”. In: *Journal of Environmental Economics and Management* 109 (set. 2021), p. 102509. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102509>.
- [44] J. Arellana et al. “On the use of virtual immersive reality for discrete choice experiments to modelling pedestrian behaviour”. In: *Journal of Choice Modelling* 37 (dic. 2020), p. 100251. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2020.100251>.
- [45] Yuwen Zhao et al. “Comparing self-navigation and video mode in a choice experiment to measure public space preferences”. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 95 (lug. 2022), p. 101828. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2022.101828>.
- [46] Laura Agudelo-Vélez, Iván Sarmiento-Ordosgoitia e Jorge Córdoba-Maquilón. “Virtual reality as a new tool for transport data collection”. In: *Archives of Transport* 60.4 (dic. 2021), pp. 23–38. URL: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5392>.
- [47] Zachary Patterson et al. “Comparing text-only and virtual reality discrete choice experiments of neighbourhood choice”. In: *Landscape and Urban Planning* 157 (gen. 2017), pp. 63–74. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.024>.
- [48] Tarapada Mandal, K. Ramachandra Rao e Geetam Tiwari. “Study of exit choice behaviour in metro station using partial immersive virtual reality”. In: *IATSS Research* 46.2 (lug. 2022), pp. 290–296. URL: <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2022.02.002>.

- [49] Mohd Javaid e Abid Haleem. “Virtual reality applications toward medical field”. In: *Clinical Epidemiology and Global Health* 8.2 (giu. 2020), pp. 600–605. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.010>.
- [50] Jaziar Radianti et al. “A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda”. In: *Computers & Education* 147 (apr. 2020), p. 103778. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
- [51] Xiaojun Fan, Xinyu Jiang e Nianqi Deng. “Immersive technology: A meta-analysis of augmented/virtual reality applications and their impact on tourism experience”. In: *Tourism Management* 91 (ago. 2022), p. 104534. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104534>.
- [52] Alessandro Innocenti. “Virtual reality experiments in economics”. In: *Journal of Behavioral and Experimental Economics* 69 (ago. 2017), pp. 71–77. URL: <https://doi.org/10.1016/j.socec.2017.06.001>.
- [53] Ruggiero Lovreglio et al. “Exit choice in built environment evacuation combining immersive virtual reality and discrete choice modelling”. In: *Automation in Construction* 141 (set. 2022), p. 104452. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104452>.
- [54] Saeedeh Sadeghi et al. “Affective experience in a virtual crowd regulates perceived travel time”. In: *Virtual Reality* (nov. 2022). URL: <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00713-8>.
- [55] Giuseppe Vizzari. “Virtual Reality to Study Pedestrian Wayfinding: Motivations and an Experiment on Usability”. In: *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*. IEEE, dic. 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/aivr50618.2020.00042>.
- [56] Tomás Rossetti e Ricardo Hurtubia. “An assessment of the ecological validity of immersive videos in stated preference surveys”. In: *Journal of Choice Modelling* 34 (mar. 2020), p. 100198. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2019.100198>.
- [57] Chengyan Xu et al. “The comparability of consumers’ behavior in virtual reality and real life: A validation study of virtual reality based on a ranking task”. In: *Food Quality and Preference* 87 (gen. 2021), p. 104071. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104071>.

-
- [58] Eunhee Chang, Hyun Taek Kim e Byoungyun Yoo. “Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements”. In: *International Journal of Human–Computer Interaction* 36.17 (lug. 2020), pp. 1658–1682. URL: <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1778351>.
- [59] Unity. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://unity.com/>.
- [60] SketchUp. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.sketchup.com/>.
- [61] Mixed Reality Portal. *Pagina di download dell'app*. 2023. URL: <https://apps.microsoft.com/store/detail/mixed-reality-portal/9NG1H8B3ZC7M>.
- [62] HP Reverb G2. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.hp.com/it-it/vr/reverb-g2-vr-headset.html>.
- [63] Mixamo. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.mixamo.com/>.
- [64] David A. Hensher, John M. Rose e William H. Greene. *Applied Choice Analysis*. Cambridge University Press, apr. 2015. URL: <https://doi.org/10.1017/cbo9781316136232>.
- [65] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2023. URL: <https://www.R-project.org/>.
- [66] Robert E. Wheeler. *AlgDesign: Algorithmic Experimental Design*. R package. 2022. URL: <https://github.com/jvbrown/AlgDesign>.
- [67] John Paul Helveston. *cbcTools: Design and Evaluate Choice-Based Conjoint Survey Experiments*. R package. 2023. URL: <https://jhelvy.github.io/cbcTools/>.
- [68] Taxi Padova. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.taxipadova.it/>.
- [69] RideMovi. *App ufficiale*. 2023.
- [70] Bit Mobility. *App ufficiale*. 2023.
- [71] Car Sharing Padova. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.carsharingpadova.it/>.
- [72] Busitalia Veneto. *Sito internet ufficiale*. 2023. URL: <https://www.fsbusitalia.it/content/fsbusitalia/it/veneto.html>.

Bibliografia

- [73] Chinh Q. Ho, Corinne Mulley e David A. Hensher. “Public preferences for mobility as a service: Insights from stated preference surveys”. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 131 (gen. 2020), pp. 70–90. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.031>.

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro di tesi, ritengo doveroso ringraziare tutte le persone che, a vario titolo, mi hanno accompagnato e supportato durante questi anni di studio.

Desidero ringraziare il mio relatore, il prof. Massimiliano Gastaldi, e i miei correlatori, l'ing. Riccardo Ceccato e l'ing. Federico Orsini, per la loro costante presenza e la loro attenzione verso il mio lavoro durante questi ultimi mesi. I loro utili consigli e le loro precise correzioni sono stati indispensabili per poter completare questo progetto in maniera stimolante e completa. Un grazie anche a Matteo Gardin, per il suo contributo essenziale per lo sviluppo delle simulazioni in realtà virtuale.

Voglio ringraziare in modo particolare la mia famiglia, che mi ha permesso di raggiungere questo traguardo supportandomi ogni giorno e permettendomi di dedicarmi completamente al mio percorso di studi. Grazie ai miei genitori, Silvia e Stefano, e alle mie sorelle, Giulia e Giorgia. Sento di dovere un ringraziamento speciale a chi mi sta accompagnando dal primo giorno e anche a chi non è più qui, in particolare la nonna Anna e il nonno Nini, la nonna Sofia, la zia Lucia e lo zio Beni.

Grazie a Gloria, che in questi mesi mi ha accompagnato lungo questo percorso di tesi, vedendomi a volte stressato e preoccupato, ascoltando tante spiegazioni ingegneristiche non richieste, ma riuscendo comunque a tranquillizzarmi e sostenermi ogni giorno.

Ringrazio infine tutti i miei amici e le mie amiche, quelli che ho incontrato durante questi anni di università e quelli con cui ho condiviso tante altre esperienze. La loro presenza è stata fondamentale in questo viaggio, permettendomi di distrarmi e pensare ad altro, attraverso momenti diversi ma tutti importanti, fossero un pranzo in mensa, un aperitivo in centro o una vacanza di due giorni decisa all'ultimo.