



**POLITECNICO
DI MILANO**



Green Move

Report finale



Ottobre 2013





Sommario

1	Il progetto Green Move	3
1.1	Introduzione.....	3
1.2	Articolazione del progetto	5
1.3	Reportistica	7
2	Opportunità di sviluppo e aree di offerta del servizio	11
2.1	Principali modelli di car sharing	11
2.2	Analisi delle potenziali aree di sviluppo del servizio (A2.3)	14
3	Analisi e progetto dei componenti HW/SW e dei servizi	31
3.1	Sviluppo dell'infrastruttura informatica di gestione e controllo del sistema (A3.1).....	32
3.2	Sviluppo hardware e software del "Green e-Box" elettronico (A3.2).....	52
3.3	Sviluppo hardware e software delle docking station (A3.3)	61
3.4	Sviluppo della rete telematica a supporto dell'infrastruttura di comunicazione (A3.4).....	74
3.5	Sviluppo delle logiche dei servizi (A3.5)	80
3.6	Realizzazione dei servizi Green Move (A3.6)	84
3.7	Modelli per l'ottimizzazione delle policy di gestione del sistema (A3.7)	98
3.8	Visualizzatore cartografico web per il monitoraggio del sistema (A3.8)	102
4	Attività di monitoraggio e valutazione di impatti e benefici	111
4.1	Monitoraggio del servizio/sistema (A4.1).....	111
4.2	Valutazione degli impatti e dei benefici del progetto a breve, medio e lungo termine (A4.2)	120
5	Analisi dei risultati della sperimentazione	147
5.1	Field-test e sperimentazione (A3.9).....	147
5.2	Attività a supporto del dimostratore (A5.2).....	159
6	Comunicazione e documentazione.....	162
6.1	Disseminazione, workshop finale e dimostrazione di fattibilità (A4.3)	162
6.2	Documentazione, rendicontazione, gestione progetto (A5.1)	171
7	Raccomandazioni.....	172
7.1	Modello di servizio	172
7.2	Tecnologia	173
8	Allegati	175

1 Il progetto Green Move

1.1 Introduzione

La limitata diffusione dei sistemi di car-sharing può forse ricondursi alle caratteristiche insite alle attuali implementazioni. I servizi in essere appaiono spesso troppo generici, a volte configurandosi come una semplice offerta di un'auto a noleggio. **Green Move ha progettato un servizio flessibile in grado di rivolgersi a target diversi e ad offrire un significativo ventaglio di servizi aggiuntivi personalizzabili sulle esigenze dell'utenza.**

Il contesto

Nei paesi occidentali i modelli di mobilità personale (essenzialmente basati su automobili a combustibile fossile, di proprietà privata) sono ormai consolidati e vi è la generale aspettativa di una graduale evoluzione verso veicoli sempre più comodi, puliti, tecnologicamente avanzati, sicuri, efficienti.

Le problematiche vanno dall'inquinamento alla scarsità dei tradizionali combustibili fossili e, soprattutto, alla necessità di ridurre drasticamente i tassi di immissione di CO₂ in atmosfera. Ad aggravare il problema ci sono altri fattori di carattere sociale: il difficile compromesso fra veicolo sicuro e veicolo ecologico, l'incerta evoluzione del potere d'acquisto nei paesi ricchi, la necessità di decongestionare le aree metropolitane dal traffico e dall'occupazione di spazio dei veicoli parcheggiati.

L'approccio a questi problemi dovrà necessariamente passare (salvo improbabili discontinuità tecnologiche) attraverso tre direttrici evolutive, soprattutto per la mobilità urbana e metropolitana:

- la riduzione in peso e dimensioni dei veicoli circolanti;
- una drastica riduzione dei motori che utilizzano combustibile a base carbonica e il conseguente sviluppo di veicoli elettrici;
- il cambio del modello di mobilità, passando dal tradizionale concetto di veicolo a proprietà individuale a un modello basato su articolati meccanismi di vehicle sharing.

È inoltre importante sottolineare come la tendenza verso l'uso di veicoli elettrici abbia una forte connessione con gli aspetti legati alla produzione di energia: è infatti già iniziato un lento processo che trasformerà la rete elettrica in un gigantesco "collettore" e "omogeneizzatore" di innumerevoli mini/micro-generatori di energia rinnovabile distribuiti sul territorio (eolici, fotovoltaici, geotermici, da biomasse, etc.). Lo sviluppo nella produzione di energia rinnovabile a basso impatto ambientale dovrà essere strettamente coordinato e coerente con lo sviluppo di nuovi modelli di mobilità: i veicoli elettrici vanno interpretati alla luce di questa sinergia fra il mondo dell'energia e il mondo della mobilità.

Piccolo, elettrico, condiviso: è dunque questo il nuovo scenario a cui tendono i modelli di mobilità urbana e metropolitana nel prossimo decennio. Il progetto Green Move si è proposto di affrontare congiuntamente l'aspetto tecnico/tecnologico del problema e il modello di business di un nuovo modello di mobilità urbana e metropolitana, valutandone in modo integrato tutti i principali aspetti.

Obiettivi specifici del progetto Green Move

Elemento chiave del progetto è stata la progettazione e lo sviluppo integrato di un sistema innovativo di vehicle sharing, basato su veicoli elettrici leggeri adatti all'uso urbano e metropolitano da cui sono discesi obiettivi specifici di progetto:

- **emissioni inquinanti e climalteranti e congestione:** sviluppo di una soluzione in grado di ridurre drasticamente non solo le emissioni inquinanti e di gas serra ma anche la congestione del traffico;
- **uso di energia rinnovabile:** proposta di una soluzione al problema della mobilità integrandola con l'evoluzione dei sistemi di produzione di energia rinnovabile a basso impatto ambientale;
- **monitoraggio e profiling:** realizzazione di metodi e strumenti di monitoraggio e profiling capillari ed efficaci, che legano il comportamento di ciascun utente all'effettivo consumo energetico e non solo al percorso compiuto;
- **ambiente urbano:** abilitare un sistema di mobilità urbanisticamente sostenibile; le colonnine di ricarica di un servizio di car sharing elettrico, infatti, necessitano soltanto di accesso all'energia elettrica e non pongono limitazioni di posizionamento anche in zone di accesso a traffico limitato;
- **modello di business:** utilizzare primariamente le tecnologie ICT contestualizzandole con aspetti di carattere non tecnologico: modello di business e sostenibilità economico finanziaria, impatto urbanistico, social networking, modelli comportamentali degli utenti;
- **approccio integrato:** sviluppare una soluzione integrata e completa che potrà aver ricadute in molteplici direzioni, anche al di fuori della soluzione stata studiata nell'ambito del progetto proposto.

Caratteristiche principali del sistema

Il progetto si è posto nell'ottica di creare un sistema dotato delle seguenti caratteristiche.

- **Ampio portafoglio veicoli.** Green Move è stato pensato come sistema multi-veicolo, non solo perché ha previsto diverse macro-classi di veicoli (motocicli, autovetture, etc.) ma anche per l'utilizzo di varie tipologie di veicoli all'interno della medesima macro-classe (ad esempio motocicli a due, tre, quattro ruote). Il sistema Green Move, infatti, non è stato sviluppato come un sistema per un ristretto insieme di nuovi veicoli, ma con una logica inclusiva, in grado di consentire a qualunque costruttore di veicoli la facile adattabilità ed integrazione nel sistema dei propri veicoli, tramite l'installazione di un piccolo cruscotto elettronico ("Green e-Box"), e di un sistema standard di "docking" alle stazioni di deposito. La verifica della possibilità di utilizzo di veicoli ZELS (ZEV, Electric, Ligth, Small) porta a una sostanziale evoluzione del concetto di vehicle sharing. Oltre alla riduzione dell'inquinamento legata alla condivisione di veicoli (anche a propulsione tradizionale), l'utilizzo di veicoli ZELS ottimizza l'efficienza energetica e consente meccanismi di monitoraggio e profiling dei consumi più dettagliati. L'utilizzo di veicoli ZELS, quindi, permette di definire tariffazioni più precise, anche profilate sul singolo utente, che tengano conto dell'effettivo consumo energetico e non solo del chilometraggio percorso.
- **Interoperabilità.** È la caratteristica fondamentale di Green Move. In stretta analogia alla rete Internet, ogni veicolo del sistema, così come ogni nodo della rete internet, può essere diverso per dimensione, costo e struttura, ma deve rispettare un "protocollo" di sistema, condiviso e standardizzato, che gli consenta di entrare nella rete (il sistema di sharing) e garantire la completa interoperabilità.
- **Ownership del sistema.** Green Move è stato pensato e progettato come un sistema distribuito, gestito da un ente che si occupa del coordinamento, della gestione, della standardizzazione e della manutenzione. Il sistema può comprendere una serie di sottosistemi (veicoli e colonnine di ricarica) appartenenti a enti e società diversi. Veicoli e colonnine sono "standardizzati" nelle loro interfacce al sistema (interfacce informatiche, elettriche e meccaniche) e quindi completamente interoperabili (ciascun veicolo può essere agganciato a ciascuna docking-station). La gestione telematica del servizio e della tariffazione consente però di amministrare in modo flessibile e coerente tutti gli specifici "privilegi" di sotto-gruppi di utenti (a titolo di esempio una azienda multi-sede può sostenere il costo di poche colonnine di ricarica collocate presso i propri edifici e di un ristretto parco veicoli; tali veicoli potrebbero essere telematicamente abilitati solo ai dipendenti

dell'azienda, ma accedere a tutta la rete di ricarica presente sul territorio urbano; viceversa, le docking-station dell'azienda possono essere utilizzate da tutti gli altri utenti del sistema).

- **Business model.** Nell'ambito del sistema progettato possono coesistere vari modelli di business. A titolo di esempio: veicoli messi a disposizione da un comune per i propri cittadini dietro pagamento di una tariffa forfettaria annua; veicoli messi a disposizione da una azienda per i propri dipendenti per gli spostamenti fra sedi o per i collegamenti stazione-azienda; veicoli messi a disposizione a pagamento da una società di vehicle-rental aeroportuale; veicoli messi a disposizione da un hotel o da un ente fieristico ai propri clienti, etc.. Ciascun attore può essere libero di acquistare i propri veicoli, su cui imporre le proprie restrizioni e tariffazioni, e di contribuire alla rete con l'installazione di proprie colonnine di ricarica; unico vincolo per l'attore è l'inserimento nel sistema di veicoli "Green Move compliant" e l'interoperabilità e la standardizzazione delle proprie colonnine di ricarica, collegate e coordinate al sistema di gestione. In tal modo, ciascuna attore massimizza il beneficio per il proprio utente/cliente, sostenendo solo una piccola parte dell'intero investimento del sistema.

1.2 Articolazione del progetto

In Figura 1.1 viene riportato lo schema logico per l'articolazione delle attività.

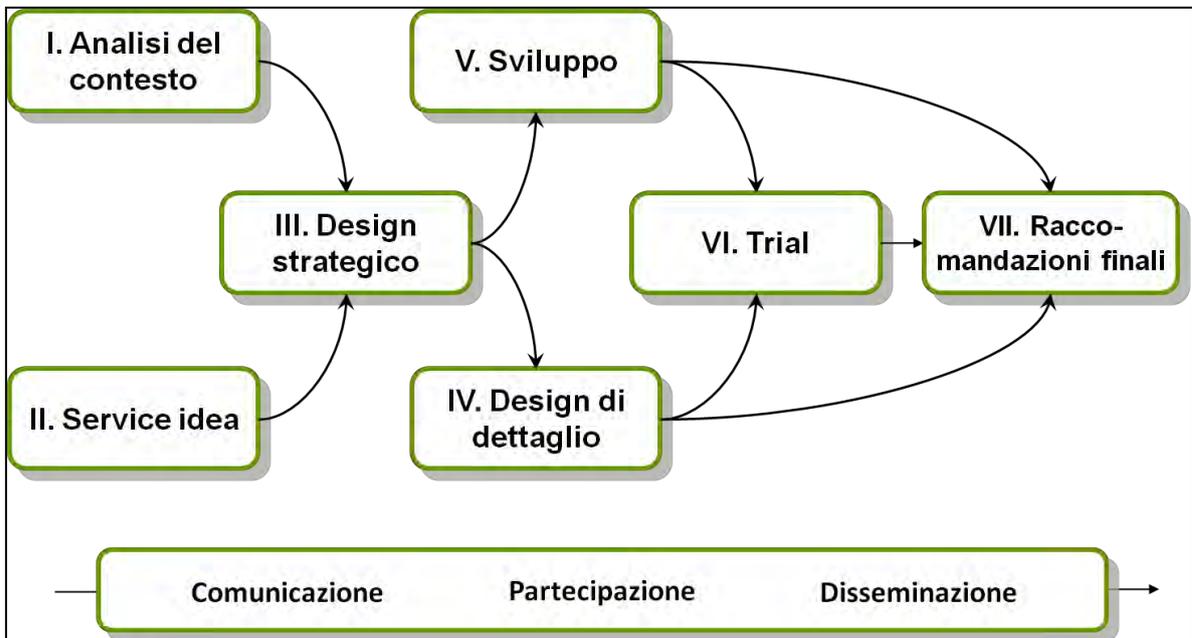


Figura 1.1 – Schema logico per le attività di progetto

I. Analisi del contesto

L'analisi del contesto si è mossa attraverso l'analisi di letteratura e la survey delle esperienze attualmente in essere nel campo del vehicle sharing (best practice). Le informazioni sono state raccolte da tutti i gruppi coinvolti, quindi condivise attraverso un workshop e successivamente sistematizzate.

II. Service idea

A partire dalle caratteristiche chiave del servizio (intermodalità, multi-owner, multi-business e crediti verdi di mobilità), è stata concepita la vision del progetto.

III. Design strategico

Il Design strategico è stato focalizzato sulla definizione dei requisiti specifici per l'implementazione del dimostratore e per il design del servizio full-scale. La combinazione delle differenti opzioni identificate in questa fase, riguardanti il business model, i servizi accessori forniti all'utenza, le scelte tecnologiche, la tipologia di veicoli, il modello di servizio, hanno dato origine alle diverse alternative di servizio.

IV. Design di dettaglio

Scopo dell'attività è stata la valutazione delle differenti alternative di servizio elaborate nelle precedenti fasi progettuali. Le valutazioni sono state effettuate utilizzando l'Analisi Costi Benefici per la valutazione della sostenibilità economica dell'alternativa e l'Analisi a Molti Criteri per la valutazione della sostenibilità globale della stessa.

V. Sviluppo

La fase di sviluppo ha visto la realizzazione della Green e-Box, l'add-on che rende possibile a qualsiasi veicolo di interfacciarsi con il sistema Green Move, delle componenti hardware e di controllo, dei servizi per l'utente e del sistema informativo.

VI. Trial

La sperimentazione è stata di due tipologie. Da un lato sono state testate le tecnologie progettate e implementate nella fase V. Sviluppo, dall'altro è stato sperimentato il car sharing condominiale, una delle configurazioni di servizio ipotizzate nel corso della fase III. Design strategico, presso due condomini di Milano.

VII. Raccomandazioni finali

In base all'esperienza maturata nel corso del progetto sono state stilate le raccomandazioni utili per l'implementazione del sistema su vasta scala.

VIII. Comunicazione, partecipazione, disseminazione

Le fasi di progetto sono state accompagnate costantemente da attività di comunicazione verso l'esterno (con la presentazione di articoli scientifici con tematiche legate al progetto), di partecipazione (dei vari soggetti coinvolti) e di disseminazione (nei confronti dei soggetti pubblici presenti sul territorio).

1.3 Reportistica

Report intermedio

Di seguito viene riportato un breve riassunto del primo report. Per maggiori dettagli si confronti il Report 1 – Obiettivi e configurazioni di servizio.

L'ANALISI DELLA LETTERATURA

L'analisi della letteratura si è concentrata su tre principali filoni che hanno fornito la base di partenza per lo sviluppo delle configurazioni di servizio:

1. Profilazione dell'utenza: la definizione dei profili degli utenti del car sharing si è mossa lungo la dimensione degli attributi demografici (età, sesso, educazione, reddito, dimensione del nucleo familiare, possesso di veicoli all'interno del nucleo familiare) e dei profili di mobilità (ovvero le ragioni principali che inducono allo spostamento e quindi, potenzialmente, all'utilizzo del car sharing).
2. Individuazione delle prestazioni che caratterizzano un servizio di vehicle sharing dal punto di vista del servizio, della tecnologia e del modello di business.
3. Analisi delle configurazioni di servizio esistenti ossia dei modelli di car sharing noti in letteratura.

LE PRINCIPALI ESPERIENZE A LIVELLO NAZIONALE E INTERNAZIONALE

In seguito all'analisi della letteratura, è stata effettuata un'indagine delle principali iniziative di vehicle sharing a livello nazionale e internazionale al fine di comprendere il posizionamento relativo di tali servizi. L'analisi dei casi si è basata sulle dimensioni evidenziate attraverso l'analisi della letteratura, con particolare riferimento alle prestazioni e alla tipologia di configurazione di servizio dei casi in esame.

Proprio a partire dai casi è poi stato possibile dettagliare ulteriormente tali dimensioni. Inoltre, al fine di fornire un quadro completo, si sono mappati i principali parametri tecnologici e di struttura organizzativa delle diverse iniziative.

LA GENERAZIONE DELLA SERVICE IDEA E IL DESIGN DEL SERVIZIO

Una volta creato un quadro di riferimento e di inquadramento del modello Car sharing, attraverso la generazione della service idea sono stati delineate le caratteristiche principali che le varie alternative di servizio analizzate nel seguito avrebbero dovuto includere.

L'analisi dei casi nazionali e internazionali ha mostrato la mancanza di una chiara polarizzazione dei progetti esistenti in termini di performance e, di conseguenza, di profili di mobilità serviti. Tale situazione ha suggerito una limitata capacità da parte delle iniziative attuali di rispondere adeguatamente ai bisogni dei clienti poiché rimangono molto generali nei loro scopi.

Sulla base di queste considerazioni, sono state progettate quattro differenti configurazioni di servizio (auto di condominio, mondo dei servizi, rete delle opportunità e peer-to-peer) ibridando i contributi proposti dalla letteratura con soluzioni maggiormente innovative derivanti dal workshop generativo. Obiettivo della fase di progettazione è stato quello di caratterizzare i servizi in modo molto più specifico rispetto alle esperienze esistenti al fine di offrire delle soluzioni in grado di rispondere meglio a esigenze specifiche dell'utenza.

Tabella 1.1 – Diagramma Gantt di progetto

	Durata (mesi)	Primo anno				Secondo anno							
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4				
WP1: Identificazione degli obiettivi e modello di business													
A1.1 Definizione degli indici di performance	12												
A1.2 Design strategico del servizio	9												
A1.3 Modelli di tariffazione e roaming	6												
A1.4 Sostenibilità economico-finanziaria del sistema	6												
D1: Analisi del modello di business, scenari di fruizione e tariffazione dei servizi													
M1: Verifica di sostenibilità finanziaria del sistema e definizione dei servizi													
WP2: Analisi a supporto e valutazione del sistema e dei servizi													
A2.1 Inquadramento storico e stato dell'arte	18												
A2.2 Opportunità legate al sistema aperto ed al social networking	6												
A2.3 Analisi delle potenziali aree di sviluppo del servizio	9												
D2a: Rapporto su casi d'uso e scenari di utilizzo													
D2b: Rapporto sulle opportunità di sviluppo e sulle aree di offerta del servizio													
M2a: Casi d'uso e scenari di utilizzo legati al sistema aperto													
M2b: Valutazione di possibili aree per l'offerta del servizio													
WP3: Progettazione e sviluppo del sistema e dei servizi offerti													
A3.1 Sviluppo dell'infrastruttura informatica di gestione e controllo del sistema	18												
A3.2 Sviluppo hardware e software del "Green e-Box" elettronico	15												
A3.3 Sviluppo hardware e software delle docking station	12												
A3.4 Sviluppo della rete telematica a supporto dell'infrastruttura di comunicazione	12												
A3.5 Sviluppo delle logiche dei servizi	9												
A3.6 Realizzazione dei servizi Green Move	9												
A3.7 Modelli per l'ottimizzazione delle policy di gestione del sistema	12												
A3.8 Visualizzatore cartografico web per il monitoraggio del sistema	9												
A3.9 Field-test e sperimentazione	6												
D3a: Analisi e progetto dei componenti HW/SW e dei servizi													
D3b: Analisi dei risultati della sperimentazione													
M3a: Sviluppo di tutti i componenti del sistema e dei servizi													
M3b: Completamento del dimostratore e verifica di funzionalità													
WP4: Monitoraggio e valutazione di impatti e benefici													
A4.1 Monitoraggio del servizio/sistema	9												
A4.2 Valutazione degli impatti e dei benefici del progetto a breve, medio e lungo termine	9												
A4.3 Disseminazione, workshop finale e dimostrazione di fattibilità	3												
D4: Rapporto sulle attività di monitoraggio e sulla valutazione di impatti e benefici													
M4: Rapporto sugli impatti e dei benefici del progetto e presentazione pubblica dei risultati													
WP5: Project management													
A5.1 Documentazione, rendicontazione, gestione progetto	24												
A5.2 Attività a supporto del dimostratore	24												
D5: Report Finale	6												
M5: Conclusione del progetto													

Tabella 1.2 – Corrispondenza tra le fasi di progetto, le attività e i capitoli del report

Fasi di progetto	Attività	Deliverable e capitolo del report
I. Analisi del contesto	A1.1	Definizione degli indici di performance
	A1.3	Modelli di tariffazione e roaming
	A2.1	Inquadramento storico e stato dell'arte
	A2.2	Opportunità legate al sistema aperto ed al social networking
	A.2.3	Analisi delle potenziali aree di sviluppo del servizio
II. Service idea	A1.2	Design strategico del servizio
	A1.2	Design strategico del servizio
	A1.3	Modelli di tariffazione e roaming
	A1.4	Sostenibilità economico-finanziaria del sistema
III. Design strategico	A3.1	Sviluppo dell'infrastruttura informatica di gestione e controllo del sistema
	A3.2	Sviluppo hardware e software del "Green e-Box" elettronico
	A3.3	Sviluppo hardware e software delle docking station
	A3.4	Sviluppo della rete telematica a supporto dell'infrastruttura di comunicazione
IV. Sviluppo	A3.5	Sviluppo delle logiche dei servizi
	A3.6	Realizzazione dei servizi Green Move
	A3.7	Modelli per l'ottimizzazione delle policy di gestione del sistema
	A3.8	Visualizzatore cartografico web per il monitoraggio del sistema
	A.4.1	Monitoraggio del servizio/sistema
	A.4.2	Valutazione degli impatti e dei benefici del progetto a breve, medio e lungo termine
	A3.9	Field-test e sperimentazione
	A5.2	Attività a supporto del dimostratore
V. Design di dettaglio	A4.3	Disseminazione, workshop finale e dimostrazione di fattibilità
	A5.1	Documentazione, rendicontazione, gestione progetto
VI. Trial		
Management		
VII. Raccomandazioni finali		

Articolazione del Report finale

Il presente Report raccoglie le tematiche previste per i Deliverable D2b, D3a, D3b, D4 e D5 del Gantt, articolandole in quattro sezioni. Presenta inoltre una sezione relativa agli aspetti di management e una di sintesi dei principali risultati del progetto Green Move.

Capitolo 2 Opportunità di sviluppo e aree di offerta del servizio (D2b)

- 2.2 Analisi delle potenziali aree di sviluppo del servizio (A2.3)

Capitolo 3 Analisi e progetto dei componenti HW/SW e dei servizi (D3a)

- 3.1 Sviluppo dell'infrastruttura informatica di gestione e controllo del sistema (A3.1)
- 3.2 Sviluppo hardware e software del "Green e-Box" elettronico (A3.2)
- 3.3 Sviluppo hardware e software delle docking station (A3.3)
- 3.4 Sviluppo della rete telematica a supporto dell'infrastruttura di comunicazione (A3.4)
- 3.5 Sviluppo delle logiche dei servizi (A3.5)
- 3.6 Realizzazione dei servizi Green Move (A3.6)
- 3.7 Modelli per l'ottimizzazione delle policy di gestione del sistema (A3.7)
- 3.8 Visualizzatore cartografico web per il monitoraggio del sistema (A3.8)

Capitolo 4 Attività di monitoraggio e valutazione di impatti e benefici (D4)

- 4.1 Monitoraggio del servizio/sistema (A4.1)
- 4.2 Valutazione degli impatti e dei benefici del progetto a breve, medio e lungo termine (A4.2)

Capitolo 5 Analisi dei risultati della sperimentazione (D3b)

- 5.1 Field-test e sperimentazione (A3.9)
- 5.2 Attività a supporto del dimostratore (A5.2)

Capitolo 6 Amministrazione

- 6.1 Disseminazione, workshop finale e dimostrazione di fattibilità (A4.3)
- 6.2 Documentazione, rendicontazione, gestione progetto (A5.1)

Capitolo 7 Raccomandazioni finali

2 Opportunità di sviluppo e aree di offerta del servizio

Il presente capitolo descrive le più interessanti configurazioni di servizio (emerse nel corso della prima parte del progetto e presentate nel primo report) e i relativi profili di utenza (paragrafo 2.1). Viene quindi descritto il livello di interesse per le configurazioni da parte dell'utenza potenziale della città di Milano, interesse indagato attraverso una indagine di domanda (paragrafo 2.2).

2.1 Principali modelli di car sharing

Nel corso del primo report, incentrato sullo sviluppo di possibili configurazioni di servizio, sono stati delineati gli elementi di base per la generazione di nuove tipologie di vehicle sharing: i profili di mobilità e le prestazioni. Richiamando brevemente quanto identificato, alla luce anche degli ultimi sviluppi del progetto Green Move, le analisi hanno consentito di identificare otto diverse tipologie di viaggi effettuabili attraverso l'uso di un mezzo condiviso. I profili di mobilità identificati sono:

- **in viaggio “da e verso” il lavoro:** il cliente usa il Trasporto Pubblico Locale (TPL) per recarsi sul luogo di lavoro (commuter) e usa il servizio di vehicle sharing per compiere il tratto iniziale o finale di percorsi definiti home o work based. I viaggi si ripetono sia nel tempo che nello spazio;
- **lo shopping nel centro:** il cliente usa il vehicle sharing per motivi ricreativi. Il percorso si sviluppa in un raggio relativamente circoscritto con possibili soste ripetute. Esso deve muoversi agevolmente nel traffico (corsie preferenziali) e trovare facilmente parcheggio;
- **le faccende nel quartiere:** il cliente deve svolgere diverse attività nel proprio quartiere. Il percorso si sviluppa in prossimità della stazione di parcheggio di partenza a cui alla fine il cliente farà ritorno. Anche in questo caso potrebbero essere presenti delle soste ripetute e la necessità di trasportare oggetti (per esempio la spesa del supermercato);
- **un turista in città:** il cliente usa il vehicle sharing per visitare la città. Il percorso si sviluppa in centro città, non escludendo la possibilità di recarsi anche in zone a media distanza dalla stazione di partenza. Esso deve trovare facilmente parcheggio e muoversi nel traffico. È probabile inoltre che debba muoversi con la famiglia;
- **vivere la notte:** il cliente usa il vehicle sharing per motivi ricreativi e vuole spostarsi di sera/notte, momento in cui il TPL è carente. Il percorso si snoda tra possibili centri di attività quali ristoranti, pub e discoteche. Tipicamente i clienti si muovono in gruppo con lo stesso veicolo;
- **il viaggio d'affari:** il cliente è di tipo business e usa il vehicle sharing come mezzo di trasporto per il tratto finale di percorsi che si sviluppano a partire da aeroporti/stazioni. Il viaggio è di durata non definita a priori, data l'imprevedibilità dell'impegno professionale;
- **muoversi nel campus (o nel...):** il cliente si muove all'interno di spazi ampi ma circoscritti ai confini fisici del campus/struttura. Il percorso effettuato è di tipo aperto in quanto la stazione di arrivo è potenzialmente situata nelle diverse sedi distaccate. I clienti si possono spostare in più persone nello stesso veicolo (tale profilo è adattabile alle realtà ospedaliere piuttosto che universitarie);
- **in viaggio per l'azienda:** il cliente è un'impresa/pubblica amministrazione che sostituisce la sua flotta aziendale con il servizio di vehicle sharing. Esso effettua viaggi per motivi di lavoro e i percorsi generalmente sono caratterizzati dal ritorno alla stazione di parcheggio di partenza.

Per quanto concerne, invece, le prestazioni dei servizi di vehicle sharing sono state identificate dieci dimensioni o variabili di progetto che permettono di caratterizzare un'iniziativa di car sharing:

- **capillarità:** intesa come numerosità e dislocazione delle stazioni sul territorio in modo da garantire l'accessibilità al sistema da parte dell'utenza;
- **flessibilità:** intesa come possibilità del cliente di non essere soggetto, durante i propri viaggi, a vincoli di destinazione e di schedulazione di orari. In particolare, la flessibilità si articola lungo due dimensioni principali:

- **spazio:** in questo caso, l'obbligo di rilasciare il veicolo nella stazione in cui è stato prelevato può essere rilassata. Il cliente è libero di terminare il proprio viaggio in un'altra stazione che può non essere fissata a priori (effettuando un percorso denominato **one-way**). Il **two-way** è contraddistinto, invece, dall'esigenza di riportare il veicolo al punto di prelievo una volta terminato l'utilizzo;
- **tempo:** la variabile tempo influisce sulla possibilità per il cliente di accedere al veicolo senza bisogno di prenotazione o di dover prenotare con un certo anticipo il proprio viaggio e sulla possibilità di effettuare una prenotazione open-end, ovvero senza limiti temporali fissati a priori;
- **intermodalità/interoperabilità:** intesa come integrazione del servizio con altre modalità di trasporto pubblico (metropolitana, treno, ...). Il vehicle sharing, infatti, non dovrebbe essere visto soltanto come un sostituto dell'auto privata ma anche come un'estensione degli altri servizi di trasporto favorendo, quindi, il suo inserimento all'interno di pacchetti di mobilità. Alcuni tentativi di andare in questa direzione già esistono, specialmente in Europa dove l'utilizzo del trasporto pubblico è più alto che in America. In particolare, un modo per favorire l'integrazione è quello di fornire una modalità di accesso unica (ad es. una singola smart card) valida per tutti i diversi tipi di trasporto (interoperabilità) e collocare stazioni di parcheggio nei pressi del TPL (intermodalità);
- **tariffazione:** intesa come prezzo praticato al cliente per l'utilizzo orario del veicolo. Generalmente essa è costituita da due componenti: una tariffa chilometrica e una oraria. Inoltre, spesso, è presente un costo fisso di abbonamento al servizio;
- **incentivi:** intesi come forme di facilitazione al cliente nella fruizione del servizio. Questi ultimi sono generalmente rappresentati da parcheggi gratuiti nelle zone a pagamento e accesso alle zone a traffico limitato e costituiscono un forte vantaggio che il vehicle sharing possiede rispetto all'auto privata;
- **gamma e range:** intesa come tipologie di veicoli disponibili e relative prestazioni. Come evidenziato nel paragrafo precedente, il vehicle sharing viene utilizzato per molteplici tipologie di viaggio. Perciò i veicoli messi a disposizione del cliente devono potersi adattare a esigenze diverse sia in termini di spazi interni (posti a sedere e capienza del bagagliaio) sia in termini di distanze percorribili;
- **facilità di accesso e utilizzo:** intesa sia come semplicità delle procedure di accesso al sistema sia come facilità di utilizzo effettivo dei veicoli presenti. In quest'ottica, il vehicle sharing deve essere dotato di un sistema relativamente semplice di accesso ai veicoli per non creare resistenze all'utilizzo. I veicoli devono essere accessibili per un arco di tempo maggiore possibile nel corso della giornata (la situazione ottimale è 24 ore) e devono essere in numero sufficiente rispetto ai membri iscritti al servizio proprio per consentire al cliente di accedere al servizio. In fine, i veicoli devono essere relativamente semplici nel funzionamento e non differire significativamente da quelli di uso quotidiano, in modo da agevolarne l'uso da parte dei clienti;
- **facilità del sistema di pagamento:** intesa come facilità della procedura di pagamento. Il vehicle sharing deve disporre di un sistema di pagamento semplice che permetta al cliente di fruire in modo rapido del servizio senza creare allungamenti nel tempo complessivo di viaggio o barriere all'uso del servizio (ad es. l'uso esclusivo della carta di credito come mezzo di pagamento preclude l'uso del servizio alla fascia di utenza che ne è sprovvista);
- **facilità del sistema di prenotazione:** intesa come semplicità della procedura necessaria per riservare un veicolo. In una configurazione di tipo multi-porto (dove sono consentiti anche i viaggi one-way) il cliente deve poter essere in grado di prenotare facilmente anche la stazione di arrivo;
- **servizi aggiuntivi:** intesi come servizi accessori che completano le prestazioni di base. Naturalmente esiste un'ampia gamma di parametri che possono caratterizzare un'offerta di vehicle sharing che rientrano sotto il nome di servizi aggiuntivi e possono variare fortemente a seconda della specifica iniziativa.

Sulla base dei profili di mobilità esistenti e delle possibili prestazioni che caratterizzano un servizio di vehicle sharing, sono state identificate tre diverse configurazioni in modo da servire delle classi di utenza mirate massimizzando le prestazioni complessive. Nello specifico tali configurazioni sono:

- **l'auto di condominio** (precedentemente "Condosharing"): servizio di vehicle sharing tradizionale basato sul modello operativo di tipo "Neighborhood". In questo caso, il concetto di quartiere viene estremizzato e le stazioni vengono situate direttamente presso l'abitazione del cliente risolvendo il problema della capillarità e della sicurezza del veicolo. La condivisione del veicolo in micro comunità potrebbe inoltre favorire l'attuazione di forme di collaborazione evoluta;
- **la rete delle opportunità** (precedentemente "Mondo di servizi"): servizio di vehicle sharing basato sul modello operativo di tipo "Multi-Nodal". Alcune infrastrutture vengono viste come poli aggregatori di domanda (ospedali, centri commerciali, centro città). Garantire la mobilità da e verso questi poli soddisfa un nuovo tipo di profilo di mobilità (in viaggio da e verso le infrastrutture) ma anche i profili più tradizionali (il turista in città, vivere la notte) in funzione della dislocazione dei poli. A differenza del modello multi-nodal classico in questo caso il servizio di mobilità viene integrato con quello offerto dai nodi aggregatori;
- **l'auto per l'azienda** (precedentemente Firmsharing): servizio di vehicle sharing tradizionale basato sul modello Business Fleet, volto a complementare o sostituire le flotte aziendali. In questo caso il modello classico viene abbinato ad un'offerta di mobilità per i dipendenti.

Due di queste configurazioni (L'auto di condominio e L'auto per l'azienda), inoltre, si prestano anche alla condivisione dell'auto personale del singolo utente. Per tale ragione è stata considerata anche l'integrazione di meccanismi **peer to peer** all'interno di configurazioni di vehicle sharing tradizionali. Nello specifico, tale condivisione sarà facilitata dalla presenza di comunità ristrette (condomini e colleghi).

2.2 Analisi delle potenziali aree di sviluppo del servizio (A2.3)

L'attività descritta nel presente capitolo¹ ha avuto come obiettivo quello di stimare l'utenza potenziale del servizio Green Move, in funzione dei diversi scenari progettuali e di diversi livelli delle variabili di progetto (elementi, entrambi, analizzati nel Report 1 e richiamati nel paragrafo 2.1 del presente Report). Ci si è proposti di testare le diverse configurazioni di servizio opportunamente schematizzate, attraverso una indagine di domanda, al fine di ottenere informazioni quantitative con cui alimentare le analisi successive.

In particolare, le indagini ed il presente capitolo, forniscono informazioni sui seguenti aspetti del progetto:

2.2.2 Le abitudini di mobilità a Milano: analisi delle abitudini di mobilità del campione intervistato (Metodologia: statistiche descrittive).

2.2.3 I profili e le caratteristiche dell'utenza potenziale: analisi dei profili dell'utenza potenzialmente interessata ad un servizio di car sharing (Metodologia: statistiche descrittive)

2.2.4 La condivisione della propria auto: stima del numero dei potenziali condivisori partecipanti a Green Move, attraverso la costruzione di una funzione di offerta. (Metodologia: analisi aggregata dell'offerta) e analisi del profilo-tipo di condivisore in funzione di caratteristiche socio-demografiche, del veicolo e di contesto (Metodologia: analisi econometriche e statistiche descrittive).

2.2.5 Gli utenti potenziali del car sharing: stima del numero dei potenziali utenti di Green Move, cioè la domanda potenziale di un servizio di *car sharing* (anche nell'opzione p2p) (Metodologia: analisi econometriche - *stated preferences*).

2.2.6 L'atteggiamento verso i veicoli elettrici: interesse dell'utenza all'acquisto ed alla condivisione di veicoli elettrici (Metodologia: *stated preferences*)

Tutte queste informazioni hanno natura quantitativa e qualitativa.

Il presente capitolo contiene i risultati principali, utili a:

- valutare i diversi scenari di utilizzo in funzione dell'assortimento, del dimensionamento, della localizzazione della flotta;
- fornire elementi per la quantificazione delle dimensioni del servizio tali da rendere possibile la sperimentazione (paragrafo 4.2).

Per tutti i dettagli metodologici e per la descrizione dell'indagine di domanda, si rimanda all'Allegato 1. I contenuti dell'Allegato 1 sono:

- Capitolo 2: descrizione del processo di costruzione del questionario seguito dal gruppo di lavoro e descrizione dei contenuti del questionario.
- Capitolo 3: elaborazioni preliminari di riorganizzazione e ripulitura del database; analisi di coerenza del dato.
- Capitolo 4 (risultati): analisi delle abitudini di mobilità dei milanesi; analisi dell'offerta di *car sharing* esistente.
- Capitolo 5 (risultati): quantificazione disponibilità alla condivisione (offerta).
- Capitolo 6 (risultati): quantificazione interesse all'uso (domanda).

¹ Il presente capitolo riassume e riorganizza i contenuti dell'Allegato 1. Per la lista degli autori delle singole analisi si prega di fare riferimento a tale documento.

2.2.1 L'indagine di domanda

Per lo studio della domanda potenziale del servizio è stata realizzata una corposa indagine di domanda su un campione rappresentativo di milanesi. La complessità dell'indagine di domanda è dovuta al fatto che si è dovuto tenere conto di alcuni elementi caratterizzanti il progetto e che rendevano l'oggetto di indagine articolato, sia per i rispondenti che per l'analisi:

- il concetto di condivisione del veicolo privato;
- l'indagine delle **configurazioni di servizio** individuate ("L'auto di condominio", "Auto e posto di lavoro", "Mondo di servizi", oltre ad un più generico *car sharing*);
- la possibilità di innestare, sul servizio di base di condivisione dell'auto, anche una gamma di **servizi aggiuntivi** basati sulla strumentazione di bordo (Green e-box);
- l'attitudine verso i **veicoli elettrici**.

Per l'indagine è stato costruito un questionario composto di cinque parti:

- Parte 1, domande generali sull'intervistato;
- Parte 2, domande sulla propensione alla condivisione dell'auto;
- Parte 3, esercizi di SP per valutare le variabili legate alle singole tipologie di servizi offerti²;
- Parte 4, conoscenza, in generale, del Car sharing e disponibilità all'uso di tali servizi;
- Parte 5, abitudini generali di spostamento dell'intervistato.

Il questionario è stato somministrato via web, da una società specializzata, ad un campione di 1200 individui, stratificato per quote relative alle seguenti variabili socio-demografiche:

- Popolazione residente a Milano;
- Suddivisione per sesso per età (2 modalità per 4 fasce di età);
- Condizione occupazionale (2 modalità: occupato / non occupato);
- Titolo di studio (2 modalità: laureati / non laureati).

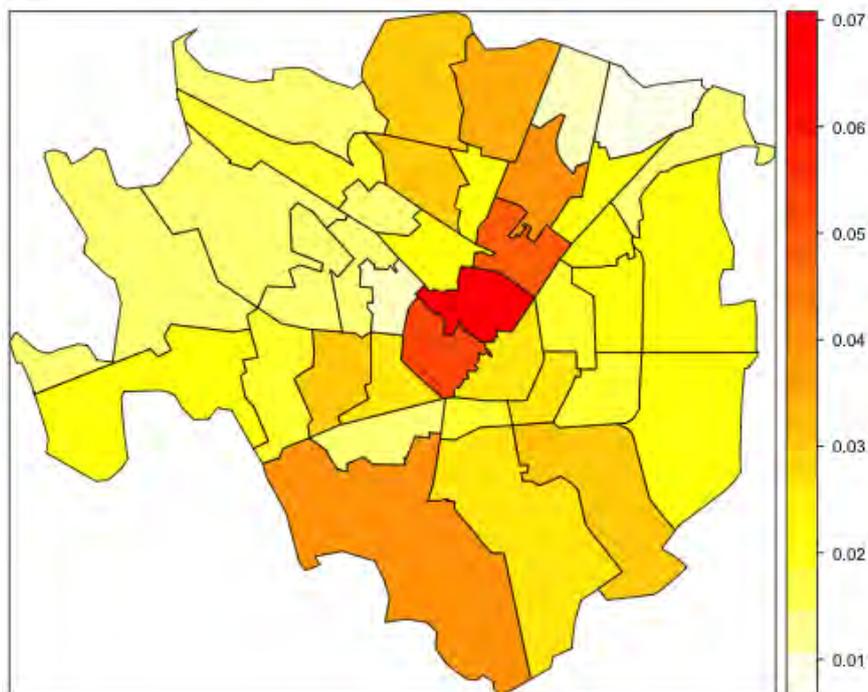


Figura 2.1 – Distribuzione degli intervistati

² per i dettagli sulle indagini SP si veda l'Allegato 1.

2.2.2 Le abitudini di mobilità a Milano

L'indagine ha permesso di tratteggiare un profilo piuttosto dettagliato delle abitudini di mobilità dei milanesi. Gli aspetti indagati sono:

- Il possesso dell'auto a Milano
- Parco veicolare
- Utilizzo dell'auto a Milano
- Scelte di mobilità
- Uso dei servizi di CS esistenti
- Accessibilità ai servizi di CS esistenti

Per l'analisi completa si rimanda all'Allegato 1. Qui di seguito si riportano gli elementi principali, utili a comprendere l'impatto potenziale del progetto Green Move.

In termini di **possesso dell'auto**, solo il 2% non possiede un veicolo proprio. Quasi la metà dei nuclei familiari è in possesso di una sola automobile (49,5%), mentre il 42,2% dei rispondenti dispone di due auto. L' 8,3% delle famiglie ha a disposizione almeno una terza auto. In termini di auto pro-capite per familiare adulto, nel 42% del campione ogni componente dispone di un'auto, mentre nel 30% delle rilevazioni l'auto è a disposizione di due componenti adulti.

Con riferimento al **parco veicolare**, il 26% risulta usato, mentre il rimanente nuovo. In termini di età, il 21% dei veicoli è costituita da auto piuttosto recenti, acquistate cioè da meno di due anni; circa il 30% ha un'età media di 3 anni e un altro 30% circola da un lasso di tempo compreso tra i 4 e gli 8 anni. Il costo di acquisto delle auto è, prevedibilmente, polarizzato verso la fascia bassa, con la maggior parte delle auto (circa l'87%) risulti di valore inferiore ai 20.000€ e il 35% del totale vale meno di 10.000€.

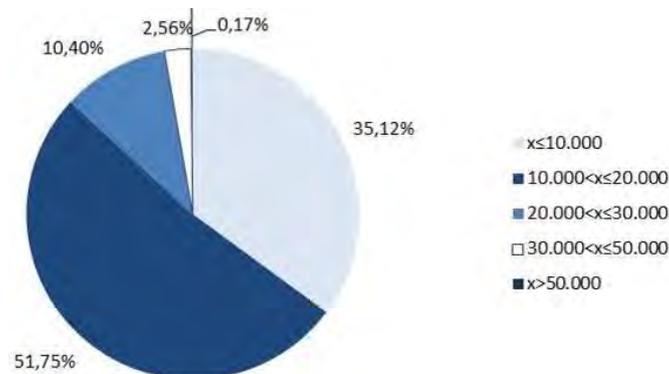


Figura 2.2 – Valore dell'auto più economica

In termini di alimentazione, la maggior parte delle auto è ad alimentazione tradizionale, benzina (53%) o diesel (circa il 37%). Tuttavia, una quota non irrilevante, circa il 10%, appartiene alle motorizzazioni cosiddette innovative: ibride (2,3%), elettriche (0,3%), metano e GPL (7,5%).

Analizzando l'**utilizzo dell'auto**, si scopre che le percorrenze medie sono piuttosto basse: la distanza media annua percorsa in auto è inferiore ai 10.000 km per più della metà della popolazione indagata (54%). Un terzo scarso (30%) della popolazione percorre in media tra i 10.000 e i 20.000 km all'anno, mentre solo il 3% supera i 50.000 km. Il parcheggio su area privata è piuttosto alto, con solo il 33% che parcheggia su aree pubbliche (strada o parcheggi).

La motivazione per l'uso dell'auto è un fattore chiave per il successo di un servizio di car sharing. Con l'esclusione degli spostamenti per lavoro, naturalmente, prevalgono spostamenti di natura occasionale, come da Figura 2.3.

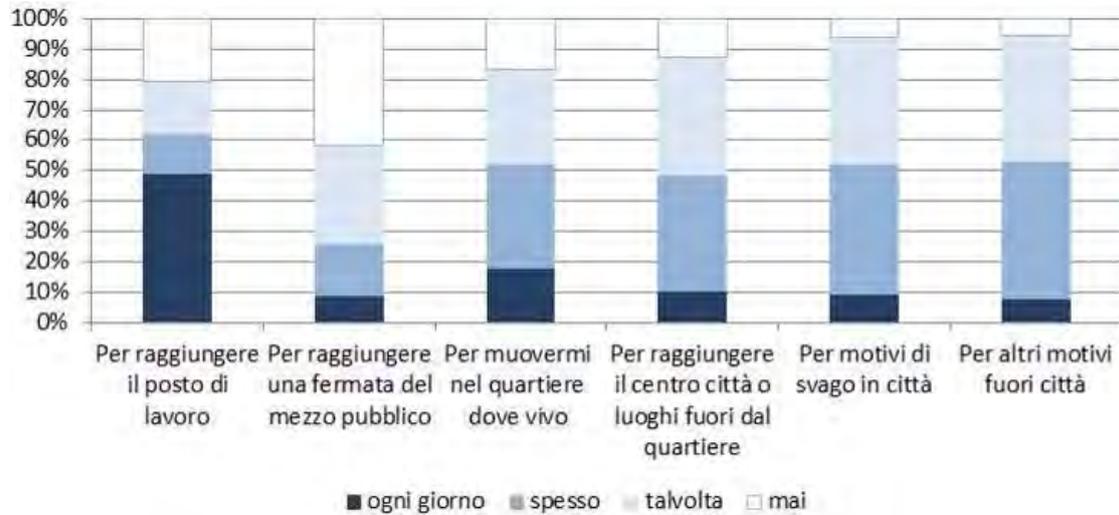


Figura 2.3 – Motivazione alla mobilità a mezzo di auto privata

In termini di **scelta modale**, è evidente come non esista un modo prevalente, grazie al fatto che parte della popolazione urbana può utilizzare il TPL o effettuare spostamenti ridotti, percorribili con sistemi di mobilità dolce: ben il 28% degli intervistati dichiara che non utilizza mai l'auto o la moto, ma solo modi pubblici o bici/piedi.

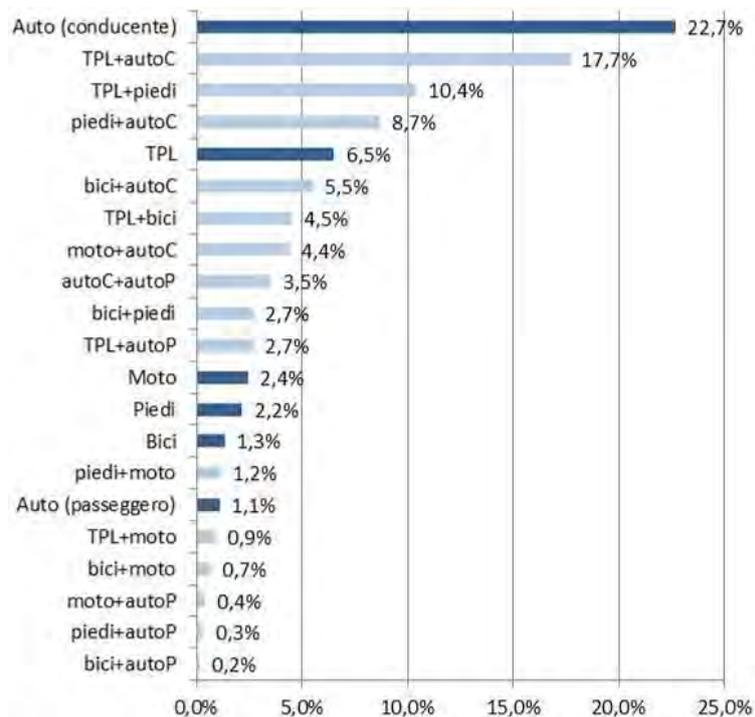


Figura 2.4 – Scelte modali di mobilità: in blu più scuro le modalità di spostamento che prevedono l'utilizzo di un solo mezzo di trasporto

In termini di **esperienza pregressa con i servizi di car sharing**, il 77-83% (donne-uomini), conosce i servizi esistenti. Venendo a coloro che sono o sono stati utenti di un servizio di *car sharing* (il 7% dell'universo considerato), appare alta, in proporzione, la percentuale di iscritti, sia del presente, sia del

passato, che non utilizzano o non hanno utilizzato il servizio. Inoltre, è significativo che tra gli attuali iscritti, coloro che non utilizzano il servizio sono il 31%, rispetto al 25% che lo utilizza.

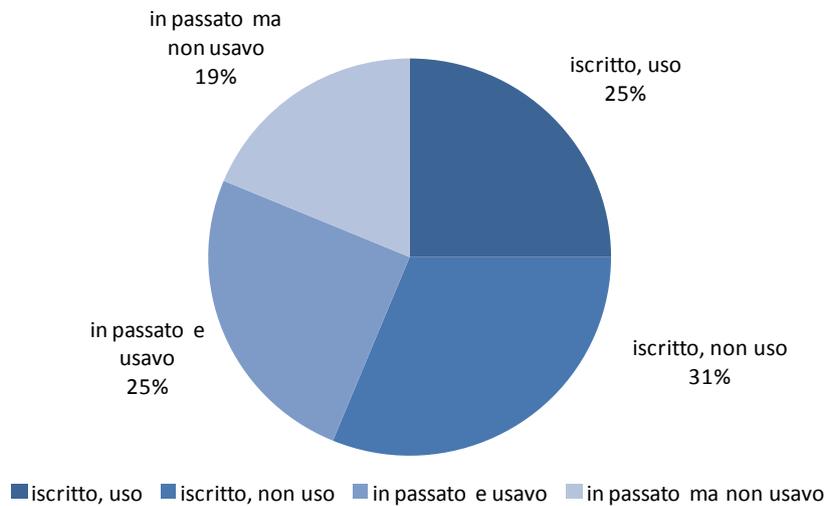


Figura 2.5 – Utilizzo del servizio di car sharing tra gli iscritti

Del resto, la penetrazione piuttosto ridotta (e ancor più ridotto è l'utilizzo), è spiegabile anche con la limitata diffusione dei veicoli per il sistema esistente (Figura 2.6), con solo una porzione ridotta della città dotata di veicoli a 5-10' di cammino.

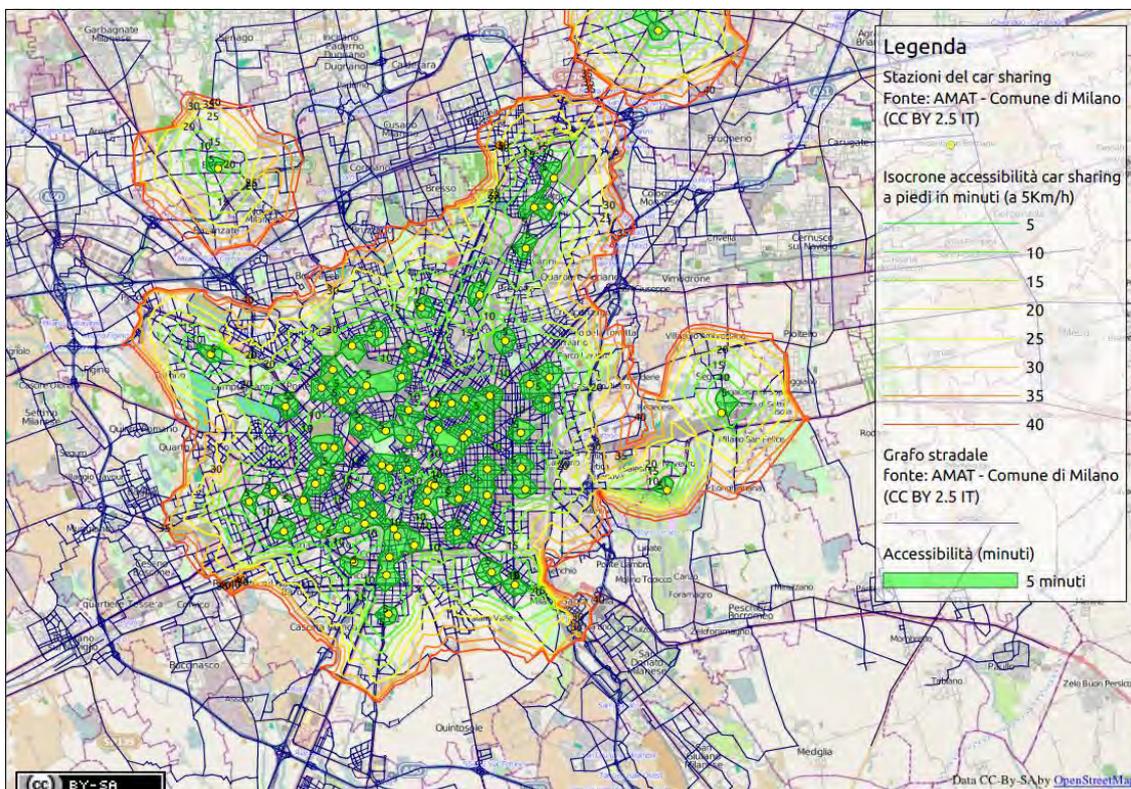


Figura 2.6 – Isocrone accessibilità a piedi postazioni GuidaMi (5km/h) - 5 minuti di cammino (Fonte: elaborazione degli autori su cartografia esistente)

2.2.3 I profili e le caratteristiche dell'utenza potenziale

Le analisi statistiche effettuate sul campione hanno permesso di individuare gruppi potenziali di utenti e le loro caratteristiche.

In primo luogo sono stati individuati, in base alle risposte sulla possibile frequenza di **utilizzo di auto condivise**, tre diversi gruppi di utenti, rappresentati in Figura 2.7. Il 44% degli intervistati appartiene al primo gruppo, caratterizzato da un profilo tendenzialmente positivo, o per lo meno non ostile, nei confronti del car sharing. Il 26% appartiene al secondo gruppo, caratterizzato da un profilo neutro. Il 30% degli intervistati, infine, appartiene al terzo gruppo, caratterizzato da un profilo tendenzialmente negativo verso il car sharing.

Cluster analysis profili utenti potenziali



Figura 2.7 – Raggruppamento utenti potenziali attraverso cluster analysis

L'analisi incrociata degli utilizzi dichiarati con le caratteristiche socio-economiche (impiego, in primis) mostra come ci siano alcune categorie, quali casalinghe ed impiegati, che, per ovvie ragioni, non sono interessate all'utilizzo del CS per recarsi sul posto di lavoro, mentre le categorie più propense all'utilizzo del CS (lavoratori dipendenti, insegnanti e studenti) sembrano essere quelle che hanno un percorso definito e che, quasi ogni giorno, si recano presso la stessa destinazione. Puntare su queste ultime categorie potrebbe essere un elemento di distinzione di Green Move rispetto ai servizi già esistenti sul territorio milanese, che si propongono invece come servizi di car sharing generico.

Infine, l'analisi incrociata tra atteggiamento nei confronti dell'auto in generale e atteggiamento verso il car sharing mostra che esiste una non trascurabile percentuale di persone che utilizza l'auto e non utilizzerebbe il car sharing (26%). Allo stesso modo, una buona percentuale di chi non utilizza l'auto farebbe invece uso di un servizio di car sharing (23%). Un altro dato piuttosto significativo è che solo il 37% delle persone che non utilizza l'auto sarebbe totalmente contraria all'adesione ad un servizio di car sharing.

Analizzando invece il **profilo dei potenziali condivisori**, che rappresentano circa la metà del campione, un'analisi econometrica (attraverso due modelli di logit binomiale e multinomiale) ha permesso di individuarne le principali caratteristiche.

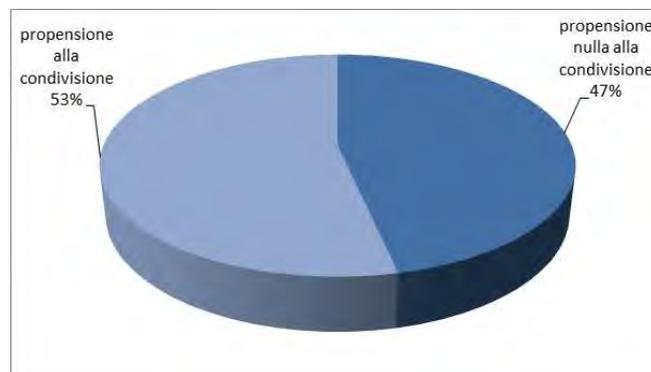


Figura 2.8 – Propensione alla condivisione della propria auto

In termini generali, il “condivisore” è giovane, maschio, laureato, con la disponibilità di più di due auto. Concentrando l’attenzione sulla scelta modale, risulta che, rispetto ai “non-condivisori”, esiste una preferenza per il mezzo pubblico (27% contro 24%) e la bicicletta (11% contro 6%). Il condivisore, inoltre, spesso utilizza quotidianamente l’auto per raggiungere la fermata dei mezzi pubblici. Infine, risulta significativo sia l’essere stato iscritto al car sharing, che l’aver ridotto l’uso dell’auto a causa dell’area C e dell’aumento del prezzo del carburante.

Analizzando più specificatamente l’atteggiamento verso la condivisione verso tutti o verso specifiche categorie di utenti scelte dal condivisore, si possono individuare alcune differenze. Mentre coloro i quali sono disponibili a condividere la propria auto con chiunque hanno le medesime caratteristiche già elencate sopra (maschi, laureati, più di due auto, utilizzano frequente di trasporto pubblico locale e bicicletta, utilizzano l’auto giornalmente per raggiungere la fermata dei mezzi pubblici, iscritti al car sharing e ridotto l’uso dell’auto conseguentemente all’aumento del prezzo del carburante), i potenziali condivisori verso una specifica cerchia appartengono ad una fascia di età ancora più giovane, e utilizzano spesso la bicicletta. Analogamente agli altri condivisori, influisce il numero di auto (oltre due), l’effetto di Area C e dell’aumento del carburante.

2.2.4 La condivisione della propria auto

Una prima analisi aggregata di tutte le osservazioni (Figura 2.9) mostra come il mattino prima dell’inizio della giornata lavorativa sia il momento in cui la maggior parte degli intervistati è disponibile a condividere “sempre” la propria auto. Relativamente alla frequenza di condivisione nelle altre fasce della giornata, la risposta più data è quella di “3/4 giorni alla settimana”. Questo dimostra che vi sono molte auto largamente sottoutilizzate. Molto meno frequenti le disponibilità inferiori, come ad esempio 1/2 giorni a settimana. Non stupisce, dunque, che chi ha bisogno dell’auto, ne pretenda la disponibilità sempre o quasi sempre, mentre chi ha un’auto poco usata sarebbe disposto a condividerla quanto più possibile.

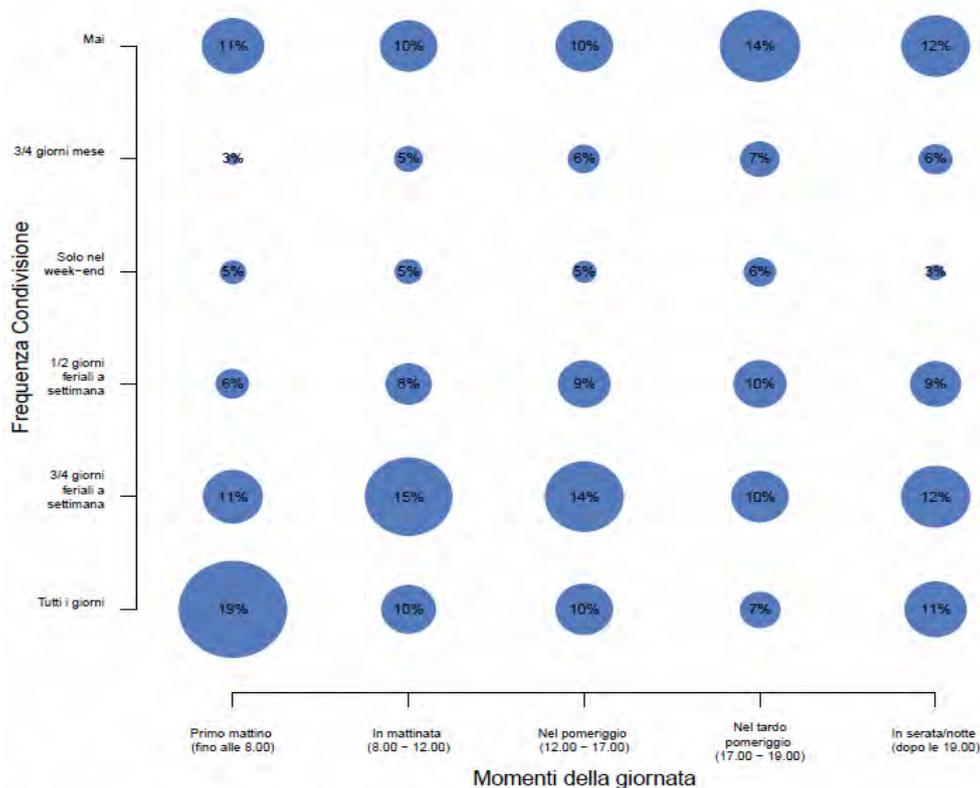


Figura 2.9 – Finestra e frequenza di disponibilità alla condivisione dell'auto

Inoltre, come si vede in Figura 2.10, vi sono sensibili differenze verso la condivisione anche rispetto le diverse zone della città. Ad esempio, le zone periferiche meno densamente popolate sono le meno propense alla condivisione. Il massimo (con l'esclusione di una zona periferica) si trova nelle zone attorno al centro, corrispondenti alla città novecentesca.

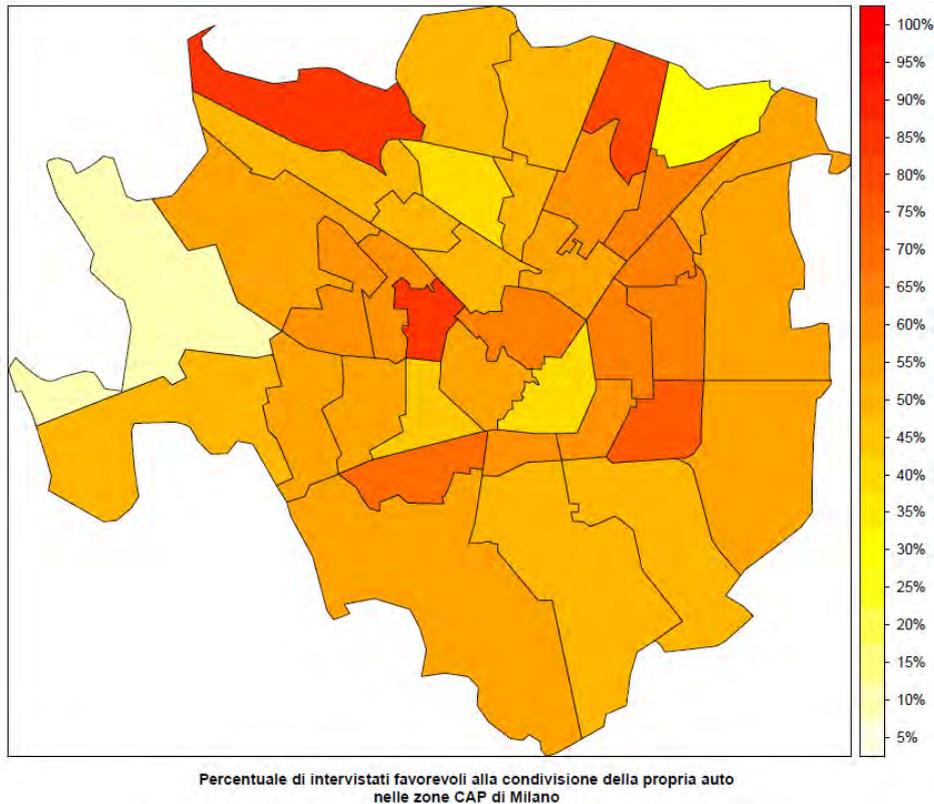


Figura 2.10 – Distribuzione geografica della propensione alla condivisione

Per capire la reale propensione alla condivisione è necessaria una funzione di offerta, ossia una funzione che esprima per quale cifra e in quale momento della giornata/settimana il condivisoro sarebbe disposto a mettere a disposizione la propria auto. Essa tiene conto delle variabili che regolano la disponibilità alla condivisione della propria auto:

4. cifra mensile (o oraria) richiesta dal condivisoro per *non* avere a disposizione la propria auto³;
5. finestre settimanali di condivisione, cioè periodi della settimana in cui il proprietario dell'auto, realisticamente a causa del non uso, è disponibile a mettere la propria auto a disposizione.

Entrambi, per semplicità, vengono riportati alla dimensione mensile, cioè in **€/mese di ricavo a fronte di ore/mese di disponibilità**. La Figura 2.11 fornisce un quadro di sintesi finalizzato ad individuare le diverse tipologie di comportamenti dei potenziali condivisoro a partire dal confronto tra numero di ore equivalenti di disponibilità alla condivisione⁴ ed il valore di ricavo atteso orario⁵. Per il dettaglio sulle elaborazioni effettuate per la costruzione della funzione di offerta si veda l'Allegato 1.

³ Non è la cifra a cui gli utenti noleggiare l'auto, ma quella per cui il proprietario si priva della stessa.

⁴ Ottenute a partire dalle indicazioni di disponibilità fornite dagli intervistati relativi alle finestre temporali (primo mattino, pomeriggio, etc) convertite in ore.

⁵ Dato dal rapporto tra la cifra mensile indicata dall'intervistato ed il numero di ore equivalenti calcolato come sopra.

L'analisi della base dati di risposte⁶, mostra innanzitutto l'esistenza di alcuni "tipi di comportamenti" tra coloro che hanno dichiarato disponibilità a condividere la propria auto.

1. Gli "**egoisti**" o i "**finti-condivisori**": persone che rendono disponibile la propria auto per periodi molto limitati (anche 1-2 ore al mese), ma richiedono cifre molto alte (anche 500€/mese). Si può interpretare questo comportamento come quello di persone che in realtà non vogliono realmente condividere l'auto o sono disposti a farlo solo a fronte di guadagni molto elevati.
2. I "**piccoli condivisori**": sono persone che mettono la propria auto a disposizione in poche e limitate fasce orarie o solo occasionalmente, ma chiedono in cambio somme relativamente basse.
3. I "**condivisori economici**": sono i condivisori della parte bassa e centrale del grafico, cioè coloro i quali che garantiscono una disponibilità media della loro auto (25% - 50% del tempo, compresa la notte) a corrispettivo contenuto.
4. I "**condivisori costosi**": sono condivisori con le stesse caratteristiche dei precedenti, ma la cui richiesta di tariffa oraria è tendenzialmente superiore.
5. I "**grandi condivisori**": al contrario dei primi gruppi, questo gruppo condivide l'auto per la maggior parte del tempo (tra il 50% e il 75% del tempo totale).
6. Le "**auto inutilizzate**": i condivisori della parte destra del grafico dichiarano di mettere a disposizione l'auto oltre 500 ore/mese, cioè quasi sempre. In questo gruppo, anche coloro i quali hanno richieste di oltre 250€/mese, risultano comunque tra i condivisori "economici". Si può interpretare questo comportamento come relativo ad auto sostanzialmente inutilizzate.

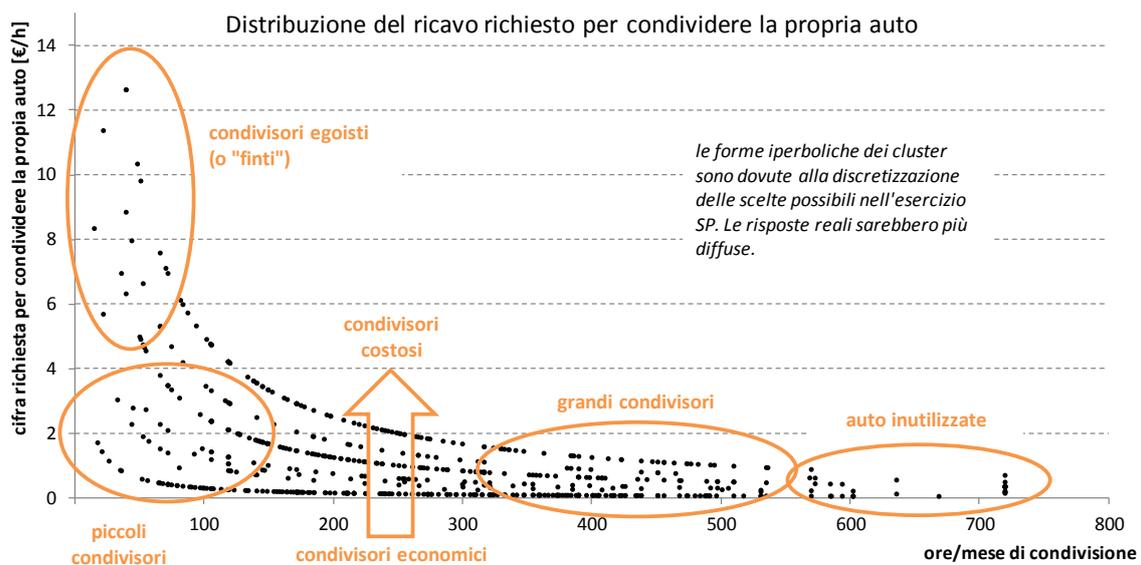


Figura 2.11 – Distribuzione dei ricavi richiesti per la condivisione della propria auto

Suddividendo le risposte per fasce orarie e riaggregandole, si ottengono le curve di offerta aggregata ricercate (settimana e *weekend*), che legano il ricavo con la percentuale di auto disponibili per il noleggio.

⁶ che, si ricorda, è rappresentativa dell'universo.

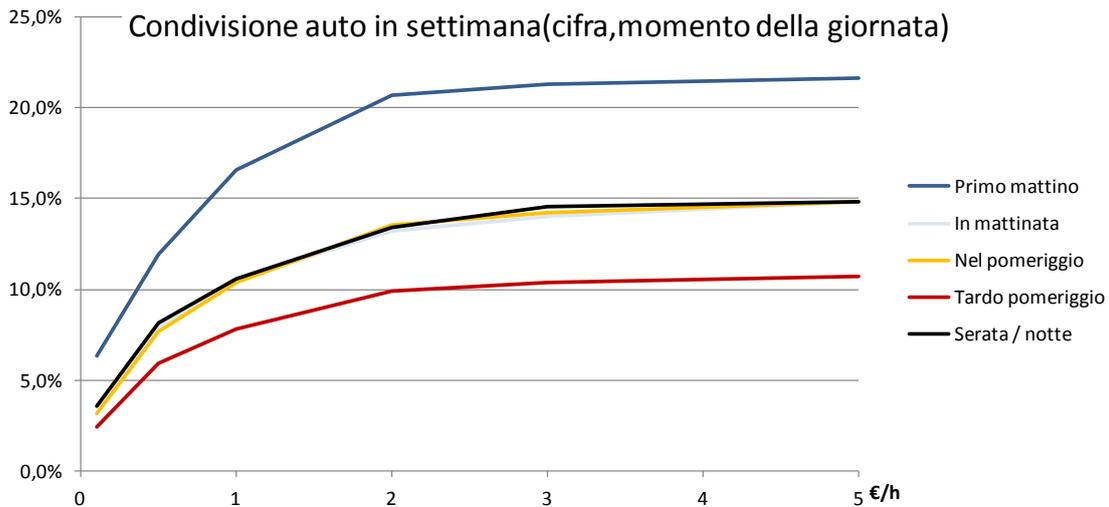


Figura 2.12 – Disponibilità alla condivisione - giorni feriali - in funzione del ricavo orario e della fascia oraria

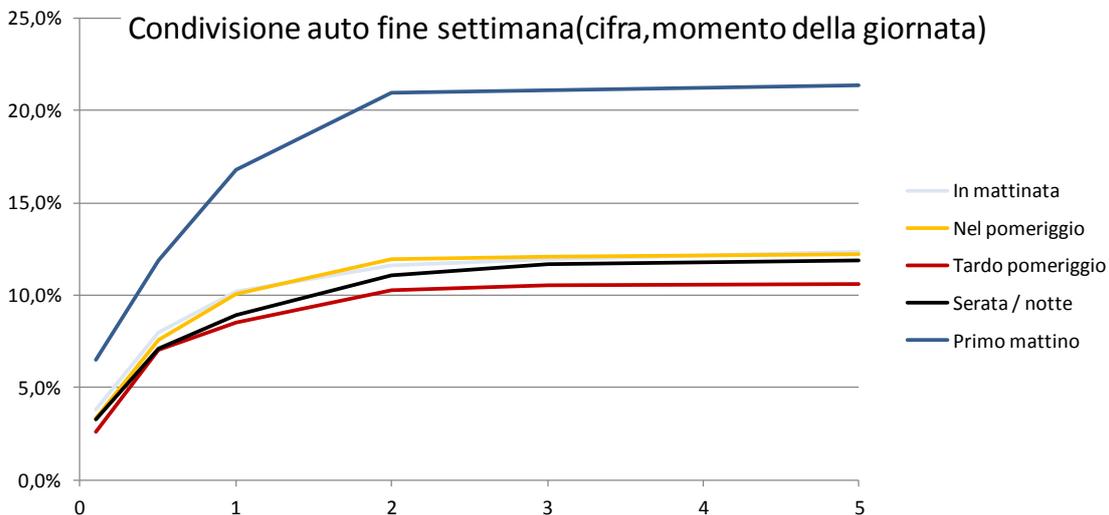


Figura 2.13 – Disponibilità alla condivisione - fine settimana - in funzione del ricavo orario e della fascia oraria

Le curve mostrano che:

1. Nelle **ore notturne e mattutine** (fino alle 8) la disponibilità di auto è massima, da oltre il 6% a oltre il 20% del totale (passando da 0,1€/ora a 5€/ora). Vi sono differenze minime tra giorni feriali e festivi. L'interpretazione di ciò è chiara: si tratta degli orari in cui l'utilizzo è minimo e dunque la disponibilità a privarsene (tipicamente della seconda auto) è massima.
2. Nei giorni feriali la disponibilità di auto nel **secondo pomeriggio** (h17-19) è minima, da 2,4% a 10,7% del totale (passando da 0,1€/ora a 5€/ora). Questo è interpretabile con il fatto che la fascia pre-serale è quella in cui l'uso dell'auto è massimo e in cui si concentra la maggior parte delle attività non sistematiche (palestra, visite, acquisti, ecc.) per cui l'uso dell'auto da parte del proprietario (e potenziale condivisore) è massimo. In un'ottica di equilibrio di mercato, dunque, le tariffe di questa fascia saranno massime, essendovi eccesso di domanda e scarsità di offerta.
3. Le tre fasce orarie rimanenti dei giorni feriali (**mattino 8-12, pomeriggio 12-17 e sera dopo le 19**) hanno disponibilità molto simili, tra il 3% e il 15% al variare della tariffa richiesta (da 0,1€/ora a 5€/ora). Le curve sono simili nonostante si tratti di periodi della giornata con usi piuttosto diversi

- dell'auto (tipicamente nel pomeriggio l'auto è inutilizzata, ma al lavoro, mentre alla sera l'auto è più "richiesta" per usi occasionali).
4. Nel **fine settimana**, il comportamento notturno (prima delle 8) è il medesimo che nei giorni feriali, ma la disponibilità durante il resto della giornata è bassa e simile tra le fasce orarie, variando tra il 2,5% e il 12,5%. Questo comportamento è interpretabile considerando che l'uso dell'auto nei weekend riguarda periodi più lunghi (ad esempio per spostarsi fuori città) e dunque interessanti l'intera giornata.
 5. Infine, si può notare che oltre i 2€/ora, la quantità di auto disponibili alla condivisione cambia in maniera del tutto marginale (meno dello 0,5% in più). Dunque si può considerare il valore di **2€/ora come soglia superiore alla quale tutta la disponibilità a condividere è già espressa**. Questo fatto sarà molto importante nella definizione del *business plan*.
 6. Analizzando la tipologia di auto che viene messa in condivisione si può notare come, diversamente da quanto ci si sarebbe potuto aspettare, **vi sono differenze piuttosto ridotte tra le diverse tipologie di auto**. Cioè, non vi è grande differenza tra chi ha come "ultima" auto (quella meno utilizzata e potenzialmente condivisibile) un'auto vecchia o economica rispetto a chi ha auto recenti e costose. Dunque, l'ipotesi per cui il *car sharing* di auto a proprietà diffusa porterebbe all'uso di auto più vecchie o peggiori, non è verificata: **il mix di auto condivise sarà piuttosto simile a quello medio delle auto di proprietà**.

2.2.5 Gli utenti potenziali del car sharing

Attraverso la tecnica delle indagini di Stated Preferences ("SP"), è stata calcolata l'utenza potenziale⁷ per le quattro configurazioni di servizio e secondo i diversi valori attribuibili alle principali variabili di progetto ossia:

1. tariffa fissa;
2. tariffa variabile oraria;
3. capillarità;
4. one/two ways;
5. servizi aggiuntivi.

Le simulazioni forniscono due stime, una sugli utenti "**certi**", cioè su quanti dichiarano che certamente utilizzeranno il servizio loro proposto, e una sugli utenti "**potenziali**", cioè tutti quelli che hanno dichiarato un generico interesse.

Le configurazioni per le quali è stato esplorato l'interesse al cambio della variabili principali sono quelle descritte nel primo Report ossia:

1. Car sharing generico
2. Auto di condominio
3. La mobilità e il posto di lavoro
4. La rete delle opportunità

⁷ Per tutti i dettagli metodologici, si faccia riferimento all'Allegato 1.

Configurazione Car sharing generico

Tabella 2.1 – Scenari configurazione Car sharing generico

Variabili di progetto	Scenario	A	B	C	D	E	F
Tariffa Fissa	[€]	120	120	50	50	0	0
Tariffa Variabile oraria	[€/h]	10	5	10	5	10	5
Capillarità	[minuti]	5	5	5	5	5	5
One/two ways	[]	1	1	1	1	1	1

Stima utenti: CS Generico

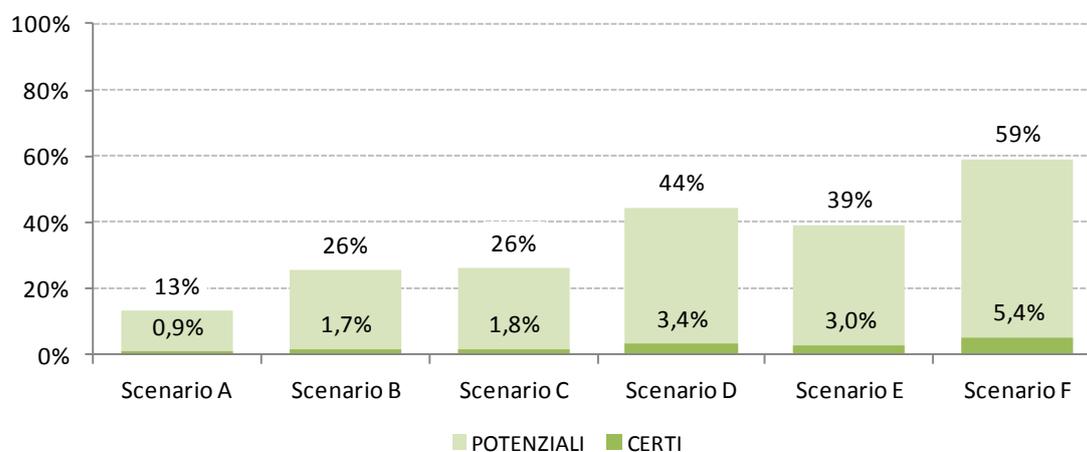


Figura 2.14 – Stima degli utenti configurazione Car sharing generico

Come si vede in figura, il costo annuo di iscrizione influisce significativamente sull'utenza potenziale del servizio. L'utenza potenziale di questa configurazione va dall'1-2% del campione (con tariffe paragonabili a quelle del car sharing attuale) fino a 5% in assenza di tariffa annua e con una tariffa oraria di 5€/ora.

Esplorando gli stessi scenari di cui sopra ma variando la modalità di riconsegna (da one way a two ways) ossia imponendola nel luogo di prelievo, le percentuali passano da 0.9% a 0.7% e da 5.4% a 4.3%.

Nel caso di una accessibilità inferiore, pari a 10' invece di 5', le percentuali calano a 0.8%-4.5%.

Il combinato disposto di entrambe le condizioni fa scendere l'utenza potenziale a 0.6%-3.6%.

Configurazione Auto di Condominio

Tabella 2.2 – Scenari configurazione Auto di condominio

Variabili di progetto	Scenario	A	B	C	D	E	F
Tariffa Fissa	[€]	120	120	50	50	0	0
Tariffa Variabile oraria	[€/h]	10	5	10	5	10	5
Servizi aggiuntivi	[]	1	1	1	1	1	1

Stima utenti: CS Auto di Condominio

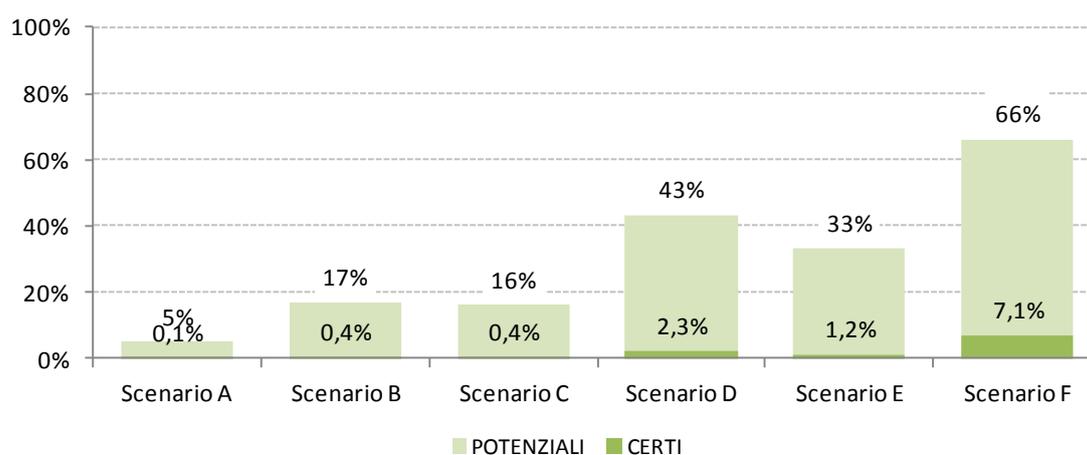


Figura 2.15 – Stima degli utenti configurazione Auto di Condominio

A differenza della configurazione precedente, in questo caso si ottiene una variabilità dei risultati più marcata: le configurazioni più costose sono praticamente irrilevanti (0.1% di utenza), mentre quella più economica ha un'utenza potenziale di ben il 7.1%. Dal confronto degli scenari E ed F si vede come la tariffa variabile abbia qui un peso molto più significativo.

L'assenza dei servizi aggiuntivi fa scendere le percentuali a 0.1%-5.3%.

Configurazione La mobilità e il posto di lavoro

Tabella 2.3 – Scenari configurazione Mobilità e il posto di lavoro

Variabili di progetto	Scenario	A	B	C	D	E	F
Tariffa Fissa	[€]	120	120	50	50	0	0
Tariffa Variabile oraria	[€/h]	10	5	10	5	10	5
Servizi aggiuntivi	[]	1	1	1	1	1	1

Stima utenti: Car-sharing Mobilità e Posto di Lavoro

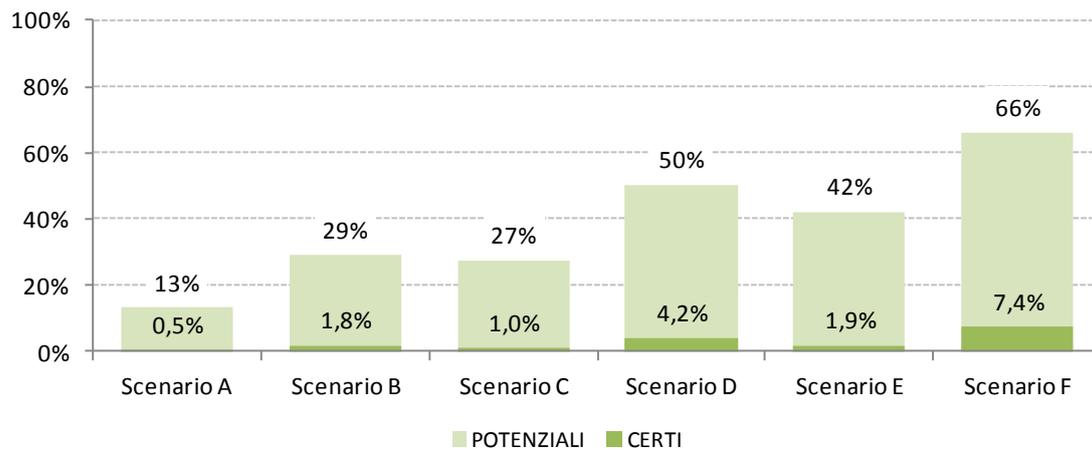


Figura 2.16 – Stima degli utenti configurazione Mobilità e posto di lavoro

I risultati per questa configurazione si discostano poco dai precedenti, variando tra 0.5% e 7.4%. Sono dunque relativamente migliori gli scenari più costosi, rispetto alle altre configurazioni, mentre l'utenza dello scenario F è molto simile. Interessante è lo scenario D, con una utenza potenziale doppia rispetto a quella della configurazione precedente.

Configurazione “La rete delle opportunità”

Tabella 2.4 – Scenari configurazione La rete delle opportunità

Variabili di progetto	Scenario	A	B	C	D	E	F
Tariffa Fissa	[€]	120	120	120	0	0	0
Tariffa Variabile oraria	[€/h]	10	5	5	10	5	5
Capillarità	[minuti]	5	5	5	5	5	5
Servizi Aggiuntivi	[]	1	0	1	0	1	0

Stima utenti: Car-sharing Rete delle Opportunità

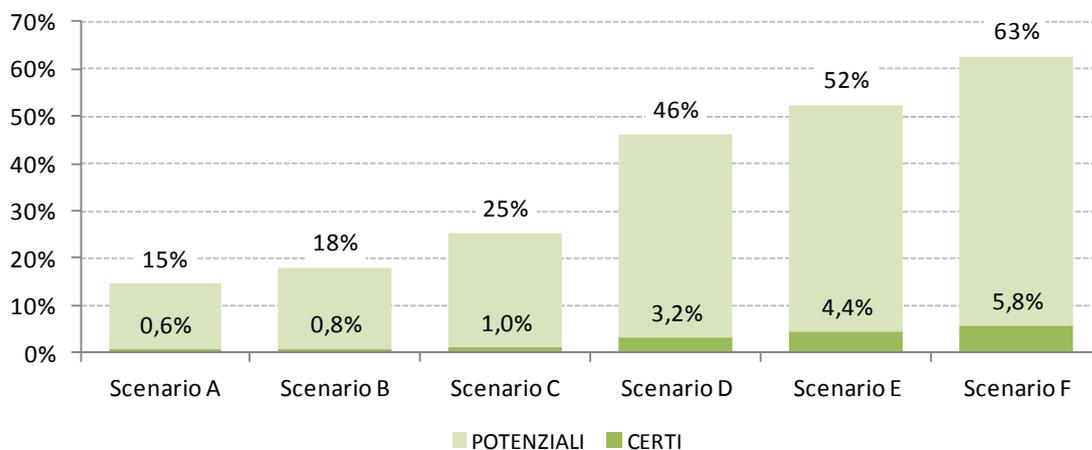


Figura 2.17 – Stima degli utenti configurazione Rete delle opportunità

I risultati percentuali sono simili a quelli del modello 1, tra 0.6% e 5.8% di utenza potenziale. Come si vede confrontando E ed F, ad esempio, l'esistenza di servizi potenziali “vale” circa l'1.4% di utenza in più.

In caso di capillarità inferiori ai 5', situazione in effetti piuttosto probabile data la natura dell'offerta, le percentuali calano (*coeteris paribus*), circa dimezzandosi a 15':

In conclusione, le configurazioni “speciali” (2-4) risultano preferite rispetto a quella generica per tariffe basse e meno interessanti per l'utente per livelli tariffari più alti. Ciò va naturalmente considerato alla luce dei diversi costi associati alle configurazioni, massimi nel caso di *car sharing* generico e inferiori nelle altre configurazioni.

2.2.6 L'atteggiamento verso i veicoli elettrici

Quanto detto finora riguarda i veicoli termici tradizionali. Si analizza infine l'atteggiamento, sia generale, che relativo ad uso e condivisione, dei veicoli elettrici, in alternativa a quelli tradizionali.

In caso di acquisto, per la maggior parte degli intervistati, prevale la preferenza (almeno dichiarata) verso un veicolo a basso impatto ambientale. I veicoli elettrici, tuttavia, attirano l'interesse di una minoranza, seppure non irrilevante (10%).

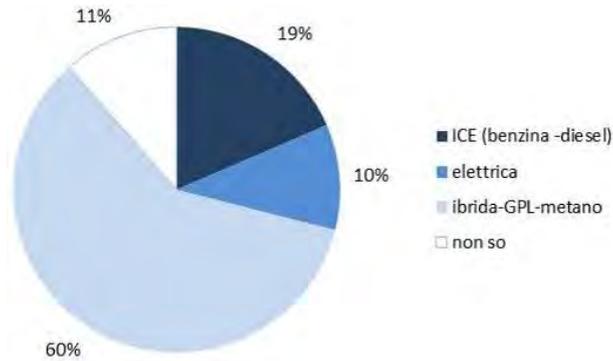


Figura 2.18 – Propensione, per tipologia di alimentazione, all'acquisto/sostituzione del veicolo personale

Al contrario, i rispondenti, intervistati in merito alla propensione verso la tipologia di veicoli in uno scenario di possibile servizio di *car sharing*, mostrano una netta preferenza verso l'auto elettrica, evidenziando quindi un interesse potenziale notevole verso tale tecnologia, non presente nello scenario precedente. Ciò probabilmente è dovuto alla presenza di barriere psicologiche inferiori rispetto al caso dell'acquisto del veicolo personale.

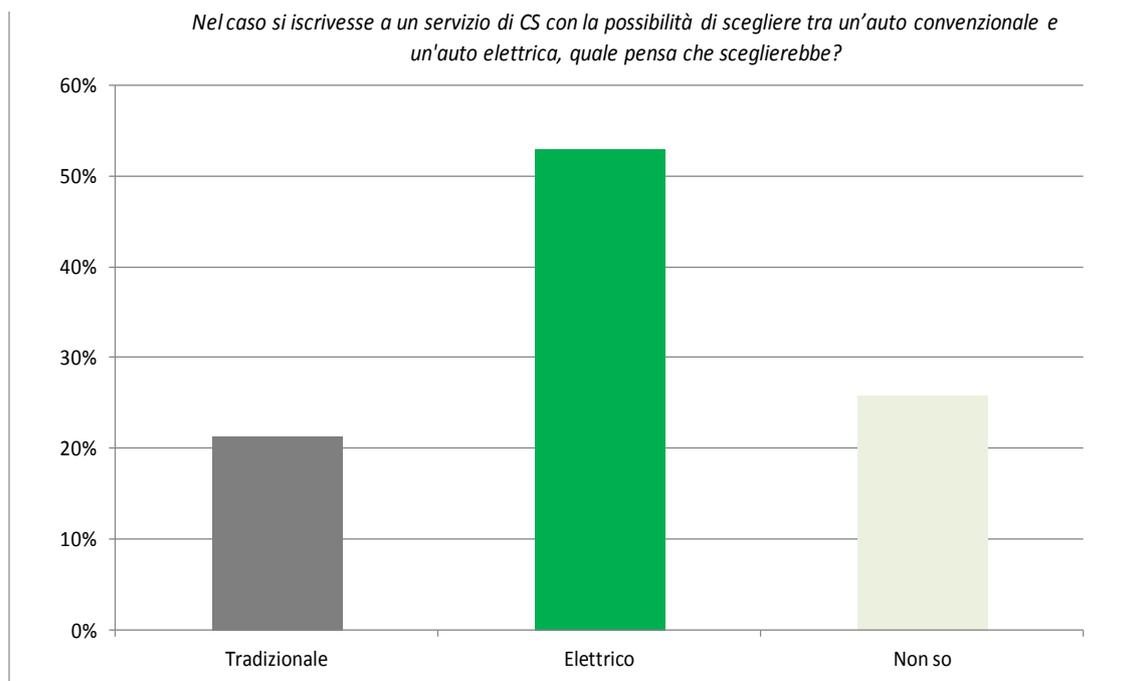


Figura 2.19 – Propensione, per tipologia di alimentazione del motore, all'interno di un servizio di *car sharing*

Dal punto di vista dei condivisori, invece, l'opzione elettrica si traduce in un extracosto da assorbire attraverso richieste più alte per mettere a disposizione la propria auto.

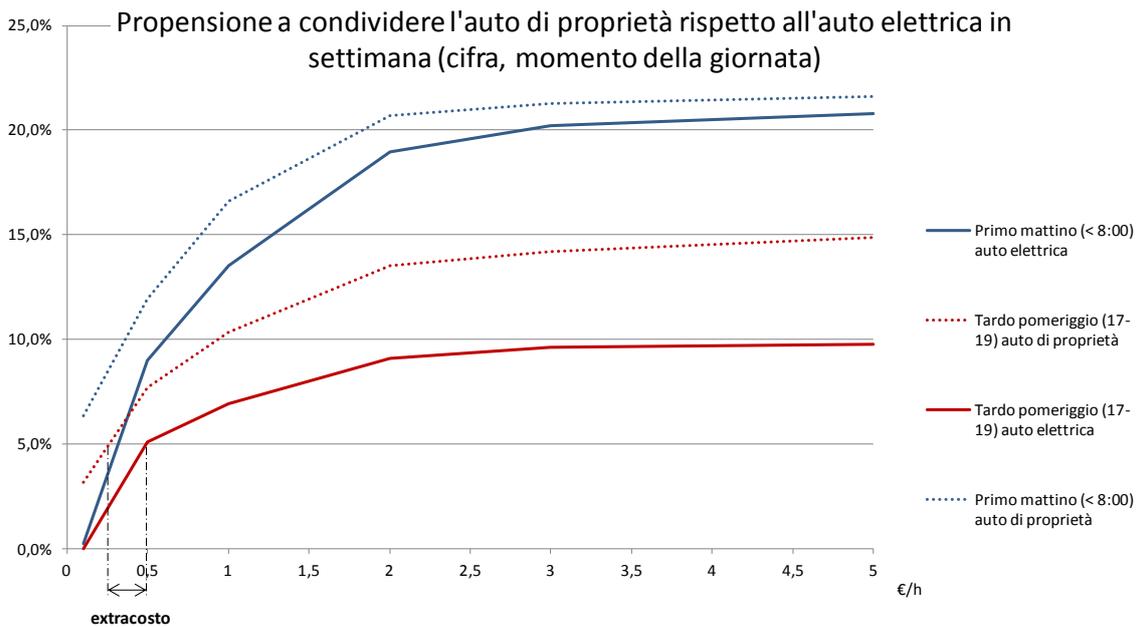


Figura 2.20 – Confronto tra funzione di offerta per la propria auto vs. auto elettrica – giorni feriali - in funzione del ricavo orario e della fascia oraria

Con tutte le cautele del caso, tale extracosto è ottenibile leggendo la differenza “orizzontale” tra le curve riferite all’auto di proprietà (tratteggiate) ed elettrica (linea continua) del grafico precedente. Ad esempio, per il 5% più “disponibile” a dare la propria auto nel pomeriggio, la richiesta extra è di 25 centesimi/ora in più rispetto al caso di condivisione di un’auto tradizionale. Molto maggiore è l’extrarichiesta per il successivo gruppo di utenti.

Leggendo “verticalmente” il grafico si ricava invece che il numero di auto disponibili a parità di ricavo in caso di veicoli elettrici risulta significativamente inferiore. Ad esempio, con un canone di noleggio netto di 3 €/ora si passa, nella fascia pomeridiana, da meno di 10% di veicoli elettrici a quasi il 15% di veicoli termici. Per ricavi prospettati inferiori ai 50 cent/ora il numero di veicoli disponibili è addirittura vicino allo zero.

3 Analisi e progetto dei componenti HW/SW e dei servizi

Questo capitolo descrive la tecnologia che è stata sviluppata nel corso del progetto per realizzare il prototipo di sistema Green Move. Green Move si propone come un sistema complesso e distribuito, quindi la realizzazione del prototipo ha richiesto di affrontare aspetti tra di loro diversi, che vanno dallo sviluppo di centraline elettroniche per veicoli dedicate alla gestione delle funzioni di vehicle sharing, alla definizione di protocolli sicuri di scambio di dati tra dispositivi mobili e sistema di coordinamento, dalla creazione di meccanismi flessibili per il monitoraggio dei veicoli, alla realizzazione di una infrastruttura per la creazione e gestione di applicazioni software che possono essere caricate e rimosse dinamicamente sui veicoli.

Più precisamente, il capitolo inizia descrivendo l'infrastruttura informatica su cui si basa il prototipo di sistema Green Move (paragrafo 3.1); quindi, viene descritta centralina che è stata progettata e realizzata per permettere l'interazione tra sistema informatico e veicoli (paragrafo 3.2); in seguito, il capitolo discute delle problematiche relative alla ricarica dei veicoli elettrici tramite colonnine (paragrafo 3.3), mentre il paragrafo 3.4 dà una descrizione dei protocolli di comunicazione tra i componenti del sistema distribuito Green Move; il paragrafo 3.5 tratta dei requisiti per i servizi offerti all'utente dal sistema Green Move, la cui implementazione è descritta nel paragrafo 3.6. Il paragrafo 3.7 descrive due modalità di riallocazione dei veicoli della flotta mentre il paragrafo 3.8 descrive il visualizzatore cartografico implementato per il monitoraggio del sistema.

Nel paragrafo 0 vengono presentate alcune linee guida per lo sviluppo di sistemi quali Green Move, emerse dalla realizzazione del prototipo. Il prototipo di sistema Green Move è stato realizzato modificando alcuni veicoli, che sono descritti di seguito, ed i cui dettagli verranno presentati lungo tutto il capitolo.

Veicoli impiegati nel prototipo Green Move

La parte di sistema Green Move relativa alla gestione dei veicoli è stata realizzata attrezzando 4 veicoli, di tipologie diverse, che sono mostrati in Figura 3.1. Nel seguito viene fornita una breve descrizione di ogni mezzo.



Tazzari Zero Evo



Estrima Birò



Piaggio Liberty e-Mail



Smart e-Bike

Figura 3.1 – I 4 veicoli utilizzati nel corso del progetto per la sperimentazione tecnologica

Tazzari Zero EVO

La Tazzari Zero EVO è un veicolo full-electric a 2 posti. Si tratta di un veicolo di categoria “L” secondo il codice della strada italiano, l'immatricolazione a cui è soggetta è infatti analoga a quella di un quadriciclo pesante. Di conseguenza è sufficiente una patente di tipo B1 (conseguibile a partire dai 16 anni) per guidare il veicolo. L'autonomia massima dichiarata è di circa 140 km, la massa a vuoto è di 530 kg e la potenza nominale di 15kW. Il pacco batterie di tipo Li-ion FE (80V e capacità di 160 Ah) richiede 9 ore per una ricarica completa (si rimanda al paragrafo 3.3 per i dettagli). La Tazzari è dotata di cruscotto con comandi touch, tramite il quale è anche possibile selezionare tra quattro diverse modalità di guida. Selezionando la modalità *Race* è possibile raggiungere una velocità massima di 110 km/h.

Estrima Birò

Il Birò, prodotto da Estrima, è un veicolo full-electric a 2 posti. È un veicolo di categoria “L”, ed è immatricolato come quadriciclo leggero. È sufficiente una patente di tipo AM (conseguibile a partire dai 14 anni) per guidare il veicolo. La massima velocità è limitata a 45 km/h, in conformità con i regolamenti per quadricicli leggeri, e l'autonomia massima raggiungibile è di circa 50-60 km. È dotato di un pacco batterie al Piombo-gel che impiega circa 9 ore per essere ricaricato dalla presa casalinga.

Piaggio Liberty e-Mail

Il Piaggio Liberty e-Mail è uno scooter full-electric, per il quale è sufficiente una patente di tipo AM. La massima velocità è di 45 km/h e l'autonomia massima è di circa 70 km. Il pacco batterie richiede 4 ore per una ricarica completa, mentre il cavo di ricarica non rimovibile è di tipo 3A, adatto quindi per ricariche da colonnine pubbliche (si veda al paragrafo 3.3 per maggiori dettagli).

Smart e-bike

Tra i veicoli elettrici impiegati nel progetto Green Move è stato considerato un nuovo tipo di veicoli a due ruote che sta ricevendo sempre più attenzione ed interesse per tragitti urbani ed extraurbani in breve tratta: le biciclette a pedalata assistita elettricamente (EPACs).

Le tematiche di principale rilevanza scientifica e tecnologica, in questo settore, riguardano gli aspetti energetici del sistema ciclista-veicolo, in particolare lo sviluppo di politiche di gestione elettronica della pedalata, in grado di aiutare il ciclista nelle condizioni di lavoro più impegnative (ad esempio durante la partenza).

Queste tecnologie, da un lato rendono l'utilizzo della bicicletta più piacevole per gli utenti abituali e dall'altro la rendono un mezzo di trasporto più accessibile anche per le persone che normalmente non ne fanno uso, rendendo interessante la loro introduzione negli attuali circuiti di bike-sharing.

3.1 Sviluppo dell'infrastruttura informatica di gestione e controllo del sistema (A3.1)

Questa sezione descrive l'infrastruttura informatica che è stata sviluppata a supporto del sistema Green Move. La descrizione parte dai requisiti generali del sistema, che hanno portato a effettuare le scelte progettuali e realizzative descritte nei capitoli successivi. Vengono quindi descritte l'architettura generale del sistema e le interazioni tra i vari componenti dell'infrastruttura. Inoltre, in questa sezione vengono brevemente presentate le tecnologie sulla quali si è scelto di costruire l'infrastruttura Green Move.

3.1.1 Requisiti del sistema

Il sistema che il progetto Green Move ha come obiettivo di sviluppare è innovativo sotto diversi aspetti relativi alla sua configurazione e gestione, e questo ha importanti ripercussioni sui requisiti tecnologici del sistema.

In particolar modo, il sistema deve poter gestire diversi tipi di veicoli, di marche e proprietari diversi, e deve poter permettere a terze parti di offrire servizi agli utenti del sistema. Inoltre, volendo ridurre

quanto più possibile le barriere di accesso degli utenti al sistema, il sistema non deve basarsi, per permettere agli utenti di accedere ai veicoli, su meccanismi legati a oggetti quali chiavi o smartcard, i quali richiederebbero l'acquisizione di tali oggetti prima dell'utilizzo dei veicoli. A questo proposito notiamo come una soluzione in cui l'utente acceda al veicolo mediante, per esempio, SMS, e poi all'interno di questo trovi le chiavi per l'accensione non può essere compatibile con un sistema quale Green Move, per almeno due ragioni:

- non tutti i veicoli hanno un "interno", isolato da un "esterno", in cui chiudere le chiavi (si pensi ad uno scooter, o ad una bicicletta);
- si vuole evitare l'uso di chiavi/smartcard anche in caso di sosta di breve durata senza rilascio del veicolo, per limitare al massimo le barriere tra sistema e utente.

Questo porta ad individuare, a livello generale e molto astratto, i seguenti requisiti tecnologici per il sistema Green Move.

- Dal punto di vista dell'hardware necessario perché un utente possa accedere al sistema, il sistema deve essere tale che l'utente non debba usare altro che **dispositivi già in suo possesso**, quali smartphone e tablet.
- Il sistema deve essere **altamente automatizzato** per quel che riguarda la sua operatività (ad un livello di base, per quel che riguarda almeno prenotazione, presa in carico, monitoraggio, e rilascio del veicolo).
- Il sistema deve essere **aperto**, sia per quel che riguarda i fornitori di veicoli, che per i fornitori di servizi.

Rispetto ai fornitori di veicoli, il sistema deve permettere di automatizzare la gestione di veicoli di diverse marche; più precisamente, i meccanismi di interazione tra veicolo e sistema devono essere standardizzati tramite opportune interfacce hardware/software che forniscano al sistema una visione omogenea dei veicoli, il più possibile indipendente dalle loro specificità.

Rispetto invece ai fornitori di servizi esterni, il sistema deve offrire dei meccanismi che permettano a questi di sviluppare funzionalità che possano essere facilmente ed opportunamente integrate nel sistema stesso.

- Collegato al punto precedente è il requisito che il sistema possa **interagire con tipi di veicoli diversi**, gestendo quindi flotte fatte non solo, per esempio, di diversi tipi di autovetture, pur di marche differenti, ma anche mix di autovetture, quadricicli leggeri e pesanti, scooter, biciclette. Quindi, le interfacce menzionate al punto precedente devono essere sufficientemente flessibili da poter rendere trasparente il più possibile al sistema questa eterogeneità di tipologie.
- Tra gli aspetti più rilevanti per quel che riguarda l'automatizzazione della gestione dei veicoli vi è la necessità di **tenere costantemente monitorata** la flotta Green Move; quindi il sistema deve offrire meccanismi che permettano da un lato di raccogliere dati dai veicoli e di riconoscere eventi rilevanti (per esempio, il verificarsi di una condizione anomala di funzionamento) e, dall'altro, di inviare ai veicoli informazioni (e possibilmente comandi), se necessario. Tali meccanismi devono essere flessibili per potersi adattare alle diverse eterogeneità presenti nel sistema e descritte sopra.
- Tra i fenomeni più rilevanti da monitorare nel sistema Green Move vi sono gli aspetti energetici dei veicoli (che, ricordiamo, nel caso di Green Move sono veicoli elettrici a zero emissioni); questi sono influenzati da diversi fattori, tra cui per esempio lo stile di guida del conducente del veicolo. Tra i requisiti del sistema vi è quindi la necessità di avere meccanismi di **monitoraggio dei parametri di guida** dei veicoli, al fine di dare anche feedback all'utente teso a migliorare il rendimento della guida.
- I requisiti di apertura del sistema Green Move hanno come conseguenza la necessità di progettare il sistema stesso con l'obiettivo di avere massima possibile **flessibilità** nella gestione dei servizi del sistema (loro creazione, installazione, configurazione, riconfigurazione, e rimozione quando non più necessari). Per esempio il tipo di analisi fatte sui parametri di viaggio e l'eventuale feedback da dare all'utente possono cambiare durante la vita del sistema; nuove analisi possono essere ideate, analisi esistenti possono diventare inutili, ecc. Per questo, il sistema deve offrire la possibilità di modificare dinamicamente, mentre il sistema è operativo, le funzionalità ed i servizi offerti all'utente, per esempio riconfigurando il software di gestione dei veicoli, anche mentre questi sono in uso (per esempio, per rispondere a precise esigenze di particolari classi di conducenti).

- Come indicato al punto precedente, il sistema Green Move deve essere flessibile per poter rispondere alle esigenze di diverse categorie di utenti. Questo presuppone anche che il sistema sia in grado di riconoscere e gestire diverse tipologie di utenti, adattando i servizi alle loro esigenze. La conseguenza di ciò è che il sistema deve includere anche dei **meccanismi di profilazione** degli utenti e di **gestione del contesto** corrente in cui questi operano, per poter riconoscere la necessità di riconfigurazione delle funzionalità offerte e, quindi, di operare le corrispondenti modifiche opportune.
- Uno dei punti principali in cui emerge la necessità di flessibilità del sistema è nella fase di prenotazione dei veicoli da parte degli utenti. I meccanismi di prenotazione di Green Move devono quindi essere tali da poter permettere di **gestire diversi vincoli di prenotazione** dei veicoli (per esempio alcuni veicoli potrebbero essere disponibili solo in certe fasce orarie per richiesta dei loro proprietari).

Nel seguito di questa sezione vengono descritte dapprima le tecnologie sulle quali si basa la realizzazione del sistema Green Move (sezione 3.1.2) e, in seguito, il sistema stesso nelle sue varie componenti (sezioni 3.1.3-3.1.6).

3.1.2 Strumenti e metodi

T-Rex

La maggior parte delle applicazioni distribuite prevede, tra le proprie funzionalità, la necessità di elaborare un insieme più o meno grande di informazioni che provengono dal mondo esterno e ne riflettono l'evoluzione per gli aspetti di interesse dell'applicazione medesima. Tale elaborazione avviene di norma sulla base di un insieme di regole che descrivono l'informazione rilevante e come questa debba essere elaborata.

Ciò è tipico di numerosi domini applicativi che vanno dalle Wireless Sensor Network, ai sistemi di elaborazione finanziaria o di monitoraggio delle reti. Più in generale, come osservato nel testo di Luckham⁸, ogni sistema informativo complesso può essere organizzato attorno ad un nucleo "ad eventi" che realizza una sorta di sistema nervoso per guidare e controllare le operazioni dei vari moduli.



Figura 3.2 – Architettura di un sistema di Complex Event Processing

Al fine di dare risposta a tale esigenza di elaborazione dati, nell'ultimo decennio sono state sviluppate numerose infrastrutture di Complex Event Processing (CEP). Con tale termine si identifica un sistema quale quello in Figura 3.2, capace di acquisire da un insieme di *sorgenti* la notifica di un insieme di *eventi primitivi* accaduti nel mondo esterno e di elaborarli sulla base di un insieme di regole che stabiliscono

⁸ Luckham, D. C. 2001. *The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.

come dedurre l'occorrenza di *eventi complessi* di interesse per un insieme di consumatori a partire dalle notifiche di eventi primitivi acquisite.

Il sistema Green Move non sfugge alla regola che vuole il nucleo della maggior parte dei sistemi distribuiti sfruttare una infrastruttura ad eventi e vede a sua volta come elemento centrale della propria architettura il motore di Complex Event Processing T-Rex, sviluppato presso il Politecnico di Milano, in parte nell'ambito dello stesso Progetto Green Move.

T-Rex si distingue dagli altri motori di CEP per due caratteristiche: l'espressività del linguaggio di regole⁹ e le prestazioni del motore stesso¹⁰.

Il linguaggio di regole di T-Rex va sotto il nome di TESLA. Ogni regola TESLA ha la seguente struttura:

```
define CE(att1: Type1, ..., attn: Typen)
from Pattern
where att1 = f1, .., attn = fn
```

dove CE è l'evento complesso definito dalla regola, con i propri attributi (ad esempio Furto(id_auto: String)), il pattern definisce l'insieme di eventi primitivi che portano ad identificare l'occorrenza dell'evento complesso, con le loro relazioni, mentre f_1, \dots, f_n sono un insieme di funzioni che, sulla base dei valori degli attributi degli eventi primitivi di cui sopra, determina il valore degli attributi dell'evento complesso.

Senza entrare nel dettaglio del linguaggio TESLA, per cui si rimanda alle relative pubblicazioni scientifiche, riportiamo nel seguito una tipica regola TESLA che mette in evidenza l'espressività del linguaggio e il tipo di pattern di eventi che è possibile specificare. La regola:

```
define Theft(GreenBox_id: String)
from VehicleData(GreenBox_id=$a and speed>0.0) and
    last Released(GreenBox_id=$a) within 30days from VehicleData and
    not Taken(GreenBox_id=$a) between VehicleData and Released
where Theft.GreenBox_id=VehicleData.GreenBox_id
```

definisce un evento complesso Theft (furto) se:

1. viene rilevato il movimento di un veicolo (VehicleData.speed>0.0) e
2. dall'ultimo rilascio nel passato (last Released within 30days from VehicleData)
3. il medesimo veicolo (VehicleData.GreenBox_id=\$a così come Released.GreenBox_id=\$a e Taken.GreenBox_id=\$a) non è stato più ripreso (not Taken between VehicleData and Released).

La regola stabilisce altresì che l'evento complesso Theft ha un attributo di nome GreenBox_id il cui valore coincide con il valore dell'attributo di pari nome dell'evento primitivo VehicleData che scatena la regola stessa (Theft.GreenBox_id = VehicleData.GreenBox_id).

Il motore di T-Rex prende un insieme di regole TESLA (che possono essere aggiunte e/o rimosse dinamicamente dall'esterno) ed elabora in tempo reale notifiche di eventi primitivi inviate da componenti remoti, calcolando ed emettendo i corrispondenti eventi complessi che vengono consegnati agli eventuali consumatori secondo lo schema di Figura 3.2.

Come già accennato, tra le caratteristiche di T-Rex, oltre al linguaggio adottato, che come vedremo ben si presta alle esigenze del sistema Green Move, spicca la capacità di sfruttare le moderne architetture multi-core e many-core¹¹ (es. le CPU multi-core di Intel e le GPU di Nvidia) per ottenere prestazioni che

⁹ G. Cugola e A. Margara, "TESLA: a Formally Defined Event Specification Language. In *Proc. of the 4th ACM Int. Conf. On Dist. Event-Based Systems*. Cambridge, United Kingdom. July 12 - 15, 2010.

¹⁰ G. Cugola e A. Margara, "Complex Event Processing with T-REX". *Journal of Systems and Software*, vol. 85, n. 8, pp. 1709-1728, Aug. 2012.

¹¹ G. Cugola e A. Margara, "Low latency complex event processing on parallel hardware". *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol. 72, Issue 2, February 2012, Pages 205-218.



lo pongono al vertice della propria categoria, con la capacità di processare milioni di eventi al secondo anche in presenza di numerose - decine o centinaia – di regole TESLA.

PerLa

PerLa¹² (Pervasive Language) è un framework che comprende un middleware e un linguaggio di interrogazione¹³ volto alla configurazione e alla gestione dei moderni sistemi pervasivi, con un occhio particolare alle Wireless Sensor Networks.

PerLa adotta un approccio simil-database nella visione del sistema pervasivo, una visione data-centrica e basata sull'uso di un linguaggio simile a SQL. Le interrogazioni PerLa permettono di recuperare dati dal sistema, di descrivere come i dati raccolti devono essere trattati e salvati; inoltre PerLa permette di descrivere il comportamento dei vari dispositivi presenti nel sistema.

I sensori vengono gestiti dal middleware attraverso una descrizione in XML dei dati che essi trasmettono; tramite questa descrizione il sistema genera un'opportuna astrazione (un oggetto Java) che fornisce le opportune interfacce atte ad estrarre i dati trasmessi e a consentirne l'utilizzo nelle query.

L'astrazione del sensore nel sistema prende il nome di Functionality Proxy Component (FPC). Nel seguito ci si riferirà ai sensori sia definendoli sensori che FPC.

Al momento il linguaggio PerLa supporta tre differenti tipi di interrogazioni:

- Low Level Queries (LLQ), interrogazioni di basso livello che vengono eseguite dal Low Level Query Executor (LLQE) direttamente sul sensore (o su un gruppo di sensori) e descrivono il suo comportamento (i criteri di selezione dei dati, la frequenza di campionamento, eventuali operazioni da eseguire sui dati prima della trasmissione, ...).
- High Level Queries (HLQ), interrogazioni di alto livello, eseguite dallo High Level Query Executor (HLQE), che definiscono operazioni più complesse che possono coinvolgere flussi di dati provenienti da differenti sensori ed equivalgono a operazioni SQL.
- Actuation Queries (AQ), che forniscono meccanismi per cambiare alcuni parametri sui dispositivi o inviare comandi ad attuatori eventualmente presenti nel sistema.

¹² <http://perlawsn.sourceforge.net>

¹³ F. A. Schreiber, R. Camplani, M. Fortunato, M. Marelli, G. Rota. "PerLa: A Language and Middleware Architecture for Data Management and Integration in Pervasive Information Systems". *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 38(2), pp. 478-496, 2012.

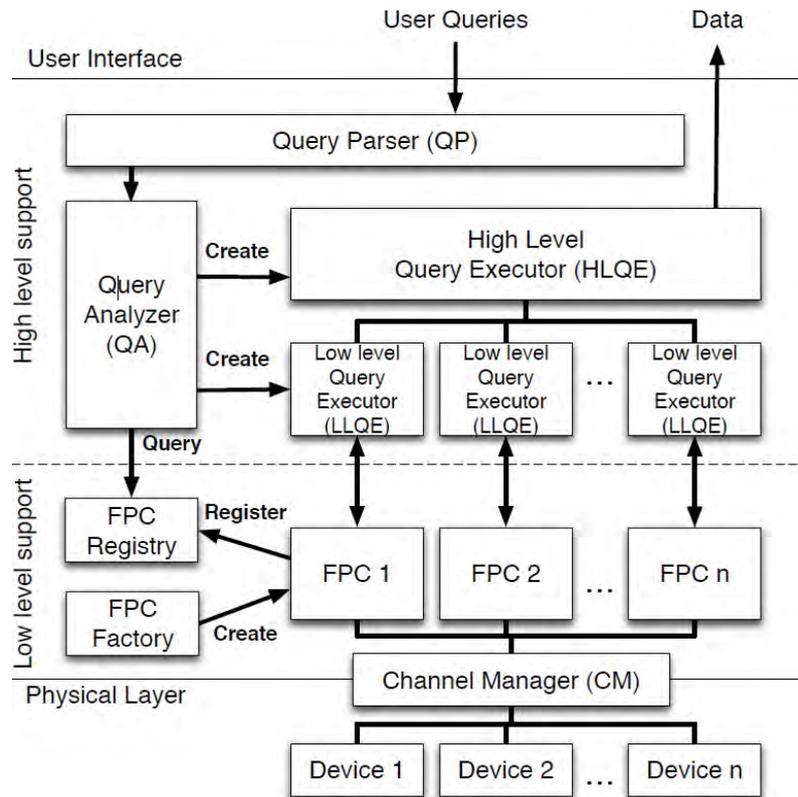


Figura 3.3 – Architettura del middleware PerLa

L'altro componente fondamentale di PerLa è un middleware la cui architettura espone due principali interfacce: un'interfaccia di alto livello, attraverso cui l'utente interagisce con il sistema e pone le interrogazioni e un'interfaccia di basso livello che si occupa di gestire l'inserimento "Plug & Play" di nuovi sensori e si occupa della gestione energetica dei dispositivi.

Un altro aspetto importante della cui gestione si occupano congiuntamente il middleware e il linguaggio di interrogazione è la gestione della banda di comunicazione.

Nei sistemi moderni la scarsità di banda non è ritenuto essere un problema di primaria importanza, grazie allo sviluppo delle reti di comunicazioni di nuova generazione, che forniscono capacità notevoli dal punto di vista della banda. Purtroppo però anche queste reti sono soggette a problemi di qualità del servizio o di sovraccarico, problemi che provocano un decadimento delle prestazioni della rete.

In un sistema complesso come Green Move tale aspetto diventa di fondamentale importanza, visto il grande numero di flussi di dati che il sistema deve gestire (flussi di dati che arrivano dai veicoli, flussi di dati generati dal server per la gestione della flotta, ...), e richiede attenzione.

PerLa consente di eseguire già a livello di sensore alcuni tipi di operazione (ad esempio l'aggregazione dei dati), in modo da ridurre sia il consumo di banda che il consumo di energia dovuto alla trasmissione (i dati aggregati vengono inviati con minore frequenza e si riduce di conseguenza il numero di pacchetti di dati inviati). L'unico problema cui bisogna prestare attenzione riguarda eventuali vincoli temporali (o di operatività in tempo reale): in questo caso il protocollo di trasmissione dovrà assicurarsi che eventuali dati necessari per operare in tempo reale vengano effettivamente trasmessi non appena questi diventano disponibili.

Gestione del contesto

Nella vita di tutti i giorni sempre più servizi richiedono di essere utilizzati su larga scala prevedendo tempi di risposta molto ridotti. Data la crescente complessità dei servizi, la mole di dati richiesta per

fornire risposte corrette e precise è in continuo aumento, richiedendo sempre maggiori risorse in termini di trasmissioni e computazioni.

Nel seguito viene presentato un approccio volto a ridurre la quantità dei dati necessari per svolgere queste operazioni basato sul concetto di *contesto dell'utente*.

Il contesto viene determinato sia tramite opportuni sensori (es.: la posizione dell'utente rilevata dal sensore GPS del suo smartphone) sia grazie a informazioni fornite dall'utente (come ad esempio i suoi argomenti di interesse). Queste informazioni vengono utilizzate mediante opportune tecniche¹⁴ per selezionare i soli dati di interesse per lo specifico utente e ridurre il consumo di banda per la trasmissione e i tempi di calcolo, fornendo le risposte in tempi più ristretti.

Ridurre i dati messi a disposizione di un utente non solo permette di ottimizzare la loro distribuzione, riducendo il consumo di banda di trasmissione, ma realizza un adattamento contestuale dell'informazione che supporterà gli utenti Green Move in una fruizione personalizzata.

A-Context Dimension Tree

Il modello di contesto, chiamato *Context Dimension Tree* (CDT), è stato definito con lo scopo di filtrare i dati relativi ad una particolare applicazione, in base alle reali necessità dell'utente. Esso è una rappresentazione ad albero dell'insieme delle possibili prospettive e dei relativi valori, utili alla descrizione dei diversi aspetti del contesto nel quale un utente si colloca; un esempio di CDT, relativo al nostro esempio applicativo, è riportato nella parte superiore di Figura 3.4.

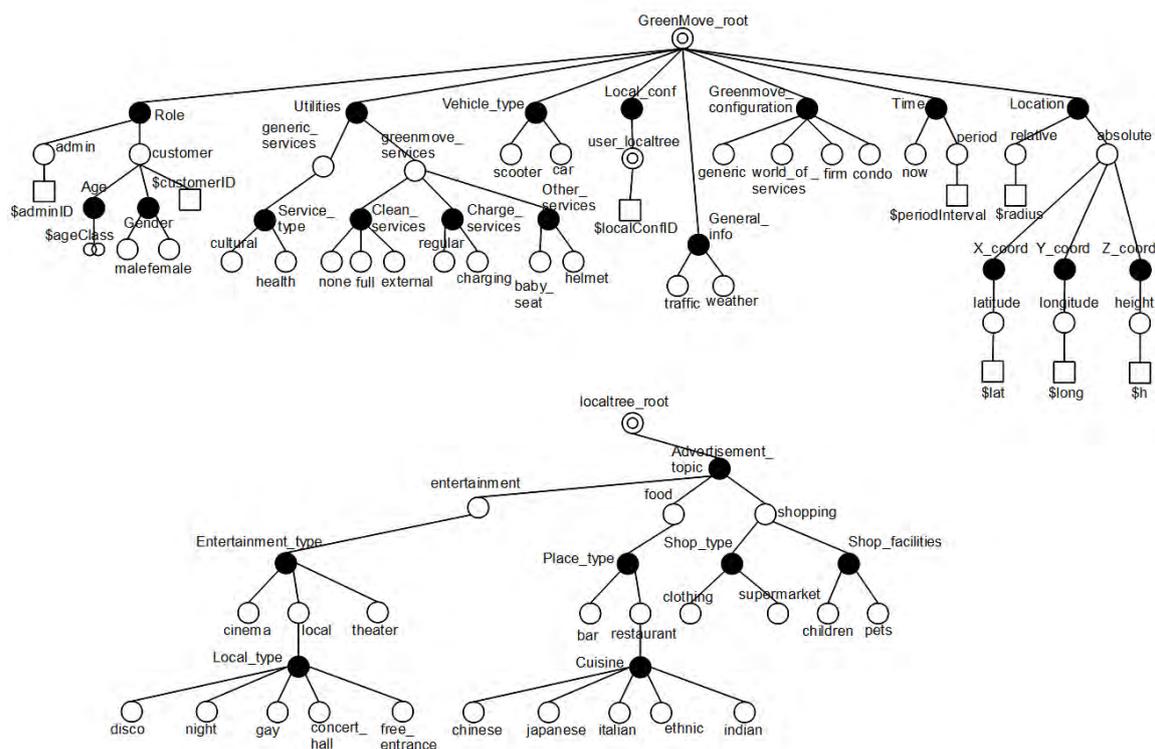


Figura 3.4 – Context Dimension Tree per il sistema Green Move

Si noti che nella rappresentazione gerarchica dei contesti così definita, ogni generazione è formata da nodi dello stesso tipo (dimensioni o concetti) e ogni nodo specifica in modo più dettagliato gli aspetti descritti dai suoi antenati.

¹⁴ C. Bolchini, E. Quintarelli, L.Tanca. "CARVE: Context-aware automatic view definition over relational databases". *Information Systems*, Vol. 38(1), pp. 45-67, 2013.

Nel modello utilizzato vigono alcune convenzioni grafiche che permettono di identificare i differenti tipi di nodi:

- il nodo radice è identificato da un doppio cerchio concentrico;
- i nodi dimensione sono di colore nero, ed i loro parametri sono indicati da un doppio cerchio (vedi il parametro del nodo *Age*);
- i nodi valore sono di colore bianco e i loro parametri sono indicati con dei quadrati bianchi.

Si noti che alcune sottodimensioni non hanno figli che sono nodi concetto (per esempio, *Age*). In tal caso, il numero di diversi valori per tali dimensioni sarebbe elevato: per non indicare esplicitamente l'insieme di tutti i possibili valori, si introduce un nodo parametro che verrà istanziato al momento dell'esecuzione con il reale valore assunto dalla dimensione nel contesto corrente dell'utente. Nel caso del nodo *Age*, quindi il parametro potrà assumere come valore l'età dell'utente.

I parametri possono essere aggiunti anche a nodi concetto (nodi bianchi) quando si desidera che l'istanza del relativo concetto venga filtrata al momento dell'esecuzione in base ad un opportuno valore: per esempio, il parametro $\$adminID$, identificatore dell'utente amministratore.

Nel nostro modello, gli elementi di contesto rappresentano l'attualizzazione delle dimensioni di contesto e corrispondono a nodi di un Context Dimension Tree che possono essere: nodi concetto senza parametro (per esempio, *scooter*), nodi concetto con parametro (per esempio, $admin(\$adminID)$) o nodi dimensione con parametro (per esempio, $Age(\$ageClass)$).

Un contesto è formalizzato come una congiunzione di proposizioni sempre relative agli elementi di contesto che lo descrivono, ognuno dei quali è espresso mediante la proposizione $nome_dimensione = valore$ dove $nome_dimensione$ rappresenta il nome di una (sotto-)dimensione e $valore$ il valore per quella dimensione. Tale valore quindi può essere un nodo concetto oppure un nodo concetto filtrato dal valore del suo parametro, o ancora il valore di un parametro di un nodo sotto-dimensione foglia. Un esempio di possibile contesto estratto dal Context Dimension Tree di Figura 3.4 è relativo ad un cliente (customer) – identificato al momento dell'esecuzione istanziando il suo identificatore $\$customerID$ (nell'esempio uguale a 174) – che è interessato a veicoli di tipo "car" nella configurazione Green Move di tipo "condo". Esso è formalizzato nella seguente espressione:

$$CI_1 = \left\{ \begin{array}{l} Role = customer < 174 > \wedge Vehicle_{type} = car \wedge \\ Greenmove_{configuration} = condo \end{array} \right\}$$

La profondità del Context Dimension Tree per un'applicazione dipende dal livello di dettaglio utilizzato per definire i diversi aspetti che contribuiscono alla selezione delle informazioni disponibili; alcune dimensioni di contesto si prestano maggiormente ad essere rappresentate con un sotto-albero a vari livelli di dettaglio, come *Utilities*, mentre altre hanno una rappresentazione più piatta (si veda per esempio, la dimensione *Green Move_configuration*).

È compito del progettista scegliere il livello di dettaglio adeguato nella specifica del Context Dimension Tree, e quindi dei contesti, in quanto più specifici sono i contesti, più selettiva sarà l'interrogazione per selezionare le informazioni di interesse per ogni contesto.

Alcune dimensioni di contesto da noi proposte sono utilizzabili nella maggior parte delle applicazioni, ma non tutte sono sempre necessarie e altre potrebbero essere aggiunte a quelle elencate in questo lavoro a seconda delle reali necessità.

A ogni contesto C, definito come sopra, si associa una view sui dati a disposizione, che definirà la parte di informazione da fornire all'utente che si trova nel contesto C. Nella sezione 3.1.3 si vedrà nel dettaglio come queste view vengono utilizzate.

Se da una parte il sistema Green Move intende supportare l'utente con la personalizzazione dei suoi dati, dall'altra è anche vero che alcuni aspetti dei gusti e del contesto degli utenti potrebbero essere delicati e sensibili, e non necessariamente dovrebbero essere noti al sistema. Per preservare la privacy di alcune delle informazioni di contesto abbiamo introdotto il Local Context Dimension Tree, ovvero una parte dell'albero che può essere salvata sul dispositivo locale dell'utente in modo che le

informazioni sensibili di contesto non abbandonino mai il dispositivo personale dell'utente. Maggiori informazioni sul Local CDT saranno fornite più avanti in questa stessa sezione.

B-Local Context Dimension Tree

Come verrà descritto nel seguito del documento (in particolare nella sezione 3.6.4), alcune applicazioni che fanno parte del bundle Green Move richiederanno all'utente di inserire alcuni dati fortemente sensibili che possono riguardare le preferenze in ambiti molto particolari. L'utente potrebbe quindi essere scoraggiato nel rilasciare queste informazioni per evitarne la loro diffusione. Per evitare questo inconveniente, si è deciso di sfruttare il concetto di "Local Context Dimension Tree" per salvare questa parte del profilo utente solo ed esclusivamente sul dispositivo mobile (smartphone) dell'utente.

A questo scopo è stato creato l'albero di contesto locale (Local CDT)¹⁵, che descrive quella parte dell'albero da trattare localmente. Analogamente le operazioni di filtraggio dei dati basate sul contesto relative a questa parte dell'albero, avvengono localmente.

Il Local CDT è ovviamente soggetto a tutti i vincoli del CDT, essendo a tutti gli effetti una parte di questo.

Sfruttando le proprietà del CDT descritte in precedenza, è possibile ottenere il contesto rilevante in due passi: nel primo passo viene selezionato il contesto sfruttando solo gli elementi noti al livello dell'albero principale (come ad esempio nella Figura 3.4 *Age*, *Gender* e *Location*) e si filtrano i dati a livello globale sfruttando questo contesto; nel secondo passo, a livello locale, i dati vengono filtrati sulla base degli elementi di contesto note a livello locale (facendo sempre riferimento alla Figura 3.4, *entertainment*, *food* e *shopping*). I dati ottenuti a questo punto soddisfano entrambi i contesti

C-PerLa for Context

Oltre a quanto presentato precedentemente, PerLa consente anche di agire sul contesto¹⁶.

In particolare, sono state modellate e implementate le seguenti componenti.

- Un'estensione dell'esistente sintassi del linguaggio PerLa, chiamata *Context Language (CL)* che consente di dichiarare il CDT, i contesti disponibili e le azioni da eseguire ogni volta che si è in un particolare contesto.
- Il *Context Manager (CM)* che consente di gestire il CDT dichiarato, rileva il contesto attivo in un certo istante ed esegue le azioni conseguenti.

La sintassi del linguaggio CL è divisa in due parti: la prima si occupa della dichiarazione del CDT; la seconda della creazione e gestione dei contesti attraverso una struttura detta "blocco di istruzioni contestuale", che si compone di 4 parti fondamentali:

- **ATTIVAZIONE:** consente la creazione di un contesto con l'istruzione CREATE CONTEXT e di associarvi un nome; la clausola ACTIVE IF consente di tradurre in PerLa l'espressione contestuale $Context \equiv V_{i,j}(Dimension_j = Value_i)$ e di governare l'attivazione di un determinato contesto
- **ESECUZIONE:** introdotta dalla clausola ON ENABLE, permette di specificare quali sono le azioni che devono essere eseguite quando il contesto si attiva
- **DISABILITAZIONE:** introdotta dalla clausola ON DISABLE, contrariamente all'operazione precedente, permette di specificare quali azioni eseguire quando il contesto non è più valido (e, generalmente, si passa a un altro contesto)
- **AGGIORNAMENTO:** definisce la frequenza con cui il CM deve verificare se è necessario o meno effettuare un passaggio di contesto.

¹⁵ E. Panigati, A. Rauseo, F. A. Schreiber, L. Tanca. "Aspects of Pervasive Information Management: An Account of the Green Move System". *IEEE 15th International Conference on Computational Science and Engineering*, pp. 648-655, 2012.

¹⁶ F. A. Schreiber, L. Tanca, R. Camplani, D. Viganò. "Pushing context-awareness down to the core: more flexibility for the PerLa language". *Electronic Proceedings of the 6th PersDB 2012 Workshop (Co-located with VLDB 2012)*, pp. 1-6, 2012.

3.1.3 Architettura globale del sistema

Come indicato nella sezione 3.1.1, un aspetto fondamentale del sistema Green Move è il non frapporre intermediari tra utenti e veicoli: la prenotazione, l'acquisizione ed il rilascio di un veicolo sono operazioni fatte in modo automatico tramite software che viene eseguito sugli smartphone degli utenti Green Move. Le stesse chiavi fisiche dei veicoli vengono sostituite da chiavi software (biglietti elettronici), che nel sistema realizzato permettono, tramite una App installata sugli smartphone degli utenti, di accedere ai veicoli prenotati.

Tutto ciò si riflette nell'architettura del sistema Green Move, come mostrato nella Figura 3.5. Gli elementi fondamentali di tale architettura sono il **Green Move Center (GMC)**, i **Green e-Box (GEB)** installati sui veicoli, e gli smartphone degli utenti, sui quali è installata la **App client Green Move**. La comunicazione ed il coordinamento tra questi componenti sono basate su uno strato software intermedio (middleware) innovativo che, tra le altre cose, permette di caricare/scaricare dinamicamente applicazioni sui GEB (come sarà spiegato in sezione 3.2).

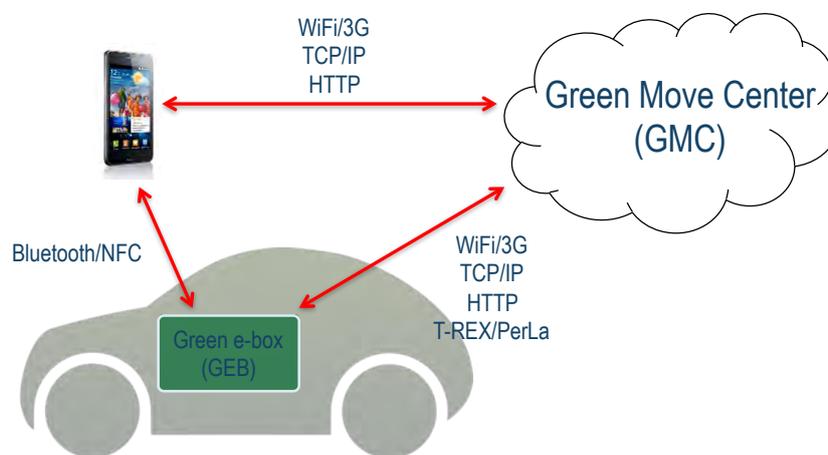


Figura 3.5 – Architettura del sistema Green Move

Il GMC agisce sia da front-end web per gli utenti Green Move che da back-end che offre API (Application Programming Interface) usate dai GEB per interagire con il GMC stesso. Il middleware Green Move usa un canale 3G per permettere a GMC e GEB di comunicare al fine di gestire la flotta di veicoli. Lo stesso canale 3G è usato dai GEB per spedire al GMC, ad intervalli regolari, informazioni sui veicoli quali dati diagnostici, statistiche d'uso, ed informazioni sul viaggio (per esempio la posizione corrente rilevata mediante GPS, la velocità del veicolo, lo stato di carica della batteria). Infine, il GMC può sfruttare questo canale 3G per aggiungere servizi ad ogni GEB, caricando su questi nuovi moduli software che forniscono funzioni aggiuntive rispetto a quelle originariamente installate sul dispositivo. Alcuni esempi di queste funzioni saranno in seguito presentate nella sezione 3.6.4.

Un utente Green Move interagisce con il sistema tramite la App client Green Move installata sul suo smartphone. Tale App comunica con il GMC tramite un canale WiFi o 3G al fine di prenotare i veicoli e di recuperare la chiave software che è necessaria per sbloccare un veicolo prenotato. La chiave software è scambiata tra la client App Green Move ed il GEB tramite un canale Bluetooth (che in futuro potrebbe diventare un canale NFC); essa viene usata per aprire/chudere portiere (laddove presenti), e per abilitare/disabilitare la marcia del veicoli, in modo da sostituire la funzione della chiave del veicolo per accedere al veicolo stesso. La scelta di usare un canale di comunicazione Bluetooth/NFC diretto tra smartphone dell'utente e GEB ha il vantaggio che lo scambio di informazioni tra questi 2 componenti può avvenire in qualunque momento, anche quando non è disponibile una connessione 3G/WiFi tra GEB e GMC (per esempio in un parcheggio sotterraneo). La stessa connessione Bluetooth può essere usata per accedere, dalla client App Green Move, ad informazioni presenti sul GEB (per esempio annunci commerciali provenienti dal GMC, si veda anche la sezione 3.6.4).

Le prossime sezioni descrivono in maggior dettaglio le funzioni offerte dai vari componenti dell'architettura e le loro interazioni.

3.1.4 Architettura del Green Move Center

Il Green Move Center (GMC) è uno dei componenti principali dell'architettura Green Move. Le funzionalità che esso offre sono le seguenti:

- registrazione e login degli utenti via interfaccia web
- prenotazione dei veicoli via interfaccia web
- API utilizzabili da App per smartphone per registrarsi sul sistema e effettuare prenotazioni tramite dispositivi mobile
- invio delle chiavi software agli utenti ed ai GEB
- memorizzazione delle informazioni relative a utenti, veicoli, prenotazioni, ecc. in un database
- monitoraggio dei veicoli tramite raccolta dei dati dai veicoli
- gestione del caricamento/scaricamento di applicazioni sui GEB a run-time.

Il GMC è un sistema complesso che si compone di diversi componenti, alcuni dei quali verranno brevemente illustrati in seguito.

Il GMC è stato progettato in modo modulare, pronto per essere installato su una piattaforma cloud e tale da essere facilmente modificabile ed estendibile. Nel seguito verranno descritte alcune delle scelte che sono state fatte per andare incontro a queste esigenze.

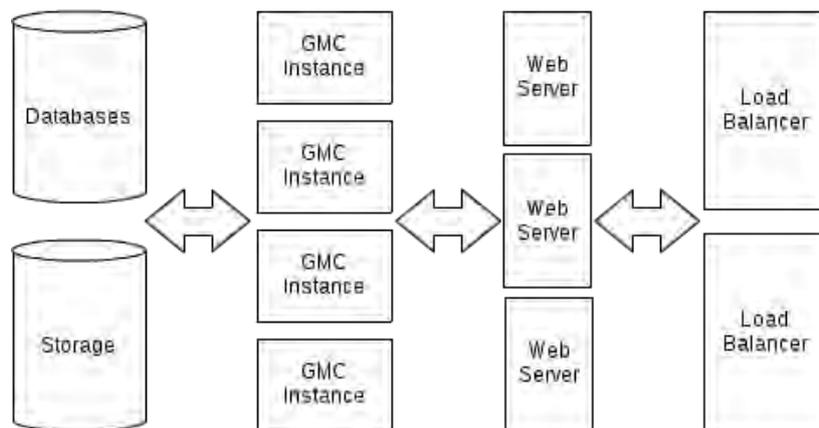


Figura 3.6 – Architettura a servizi del GMC

Per quanto al momento esso risieda su un normale server, il GMC è stato sviluppato avendo in mente tecnologie di cloud computing, e la sua architettura riflette la flessibilità richiesta per gestire questo tipo di ambienti.

La Figura 3.6 mostra l'architettura a servizi progettata per il GMC. I componenti mostrati in essa non sono legati ad una particolare struttura fisica o ad una implementazione software: essi potrebbero essere eseguiti tutti quanti dalla stessa macchina, sia essa fisica o virtuale.

In un ambiente cloud ogni componente può essere considerato come un servizio: il servizio di database, quello di memorizzazione, il servizio di load balancing, e così via. Questo impone alcune restrizioni sulla implementazione (per esempio, i file dovrebbero essere memorizzati tramite il servizio di memorizzazione e non direttamente sul disco fisso locale), ma permette di ottenere maggior flessibilità e scalabilità. Diverse istanze del GMC possono essere aggiunte al pool di istanze di ognuno dei web server mostrati in Figura 3.6, indipendentemente dall'hardware specifico della macchina su cui viene eseguita l'istanza.

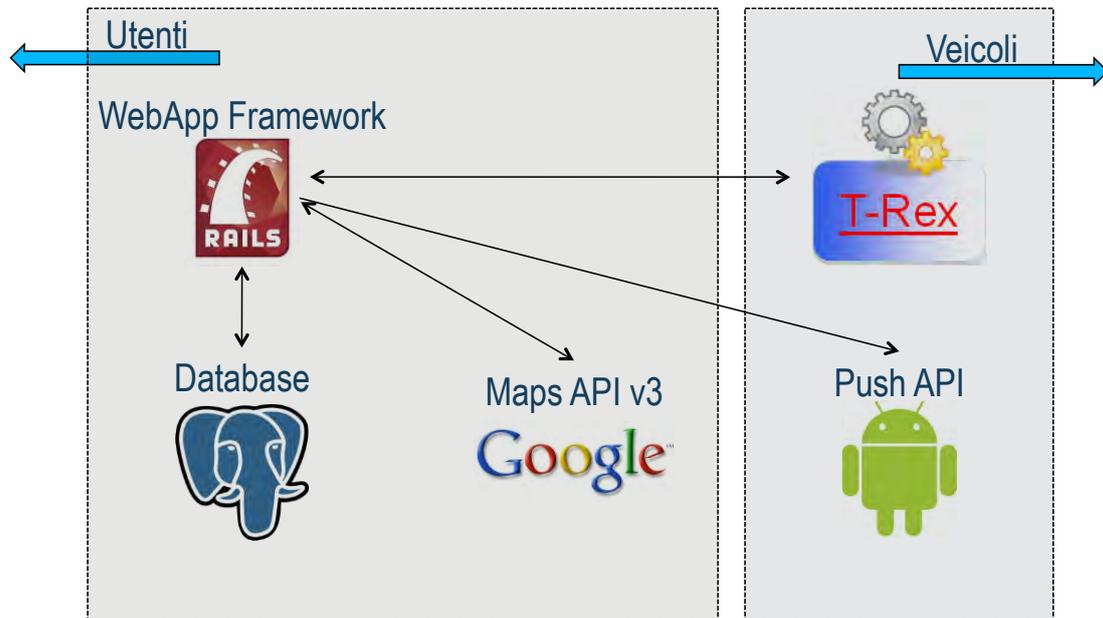


Figura 3.7 – Architettura di una istanza del GMC

La Figura 3.7 mostra i componenti principali di un'istanza del GMC. Essa è costruita su, da una parte, tecnologie web diffuse e comunemente utilizzate, in particolar modo per quel che riguarda la parte di front-end verso gli utenti e, dall'altra, su meccanismi innovativi sviluppati al Politecnico di Milano, soprattutto per quel che riguarda la comunicazione con i veicoli e con gli smartphone degli utenti.

Più precisamente, il front-end del GMC è stato realizzato sfruttando il framework Ruby on Rails, che permette di costruire applicazioni web sfruttando tecniche di sviluppo e schemi consolidati. Tramite il framework Ruby on Rails viene gestita la logica di base del GMC per quel che riguarda l'interazione con gli utenti (registrazione, accesso al sito, amministrazione delle pagine). I dati raccolti dal sistema (informazioni sugli utenti, prenotazioni, dati di monitoraggio dei veicoli) vengono memorizzati in un database, che realizza lo schema dei dati presentato più sotto. Dal punto di vista tecnologico, il database è stato realizzato mediante PostgreSQL, una piattaforma open source che offre anche estensioni (PostGIS) dedicate alla gestione dei dati cartografici.

Per comunicare con i veicoli, ed in particolar modo con i GEB installati su di essi, il GMC usa il framework di Complex Event Processing T-Rex descritto nella sezione 3.1.2. Tramite T-Rex il GMC è in grado di:

- ricevere dati grezzi dai veicoli (posizione, velocità, stato di carica delle batterie, ecc.)
- elaborare questi dati grezzi in eventi complessi di monitoraggio (si veda anche la sezione 3.6.2)
- inviare ai GEB applicazioni che ne estendano le funzionalità in modo dinamico (come spiegato in sezione 3.6.3).

La gestione dinamica delle funzionalità offerte dai GEB viene gestita dal GMC tramite opportune interfacce di programmazione sviluppate durante il progetto, che saranno meglio descritte in seguito.

Figura 3.8, mostra la catena di interazioni tra componenti del sistema Green Move per raccogliere dati dai veicoli e memorizzarli sul GMC. Tale catena origina dai GEB, i quali sfruttano il middleware T-Rex per distribuire i dati raccolti dal veicolo ai componenti interessati a questi. Il GMC ha al suo interno un componente, realizzato in Java, che è in ascolto dei dati spediti dai GEB e, ogni volta che arriva una nuova informazione, la memorizza nel database già menzionato.

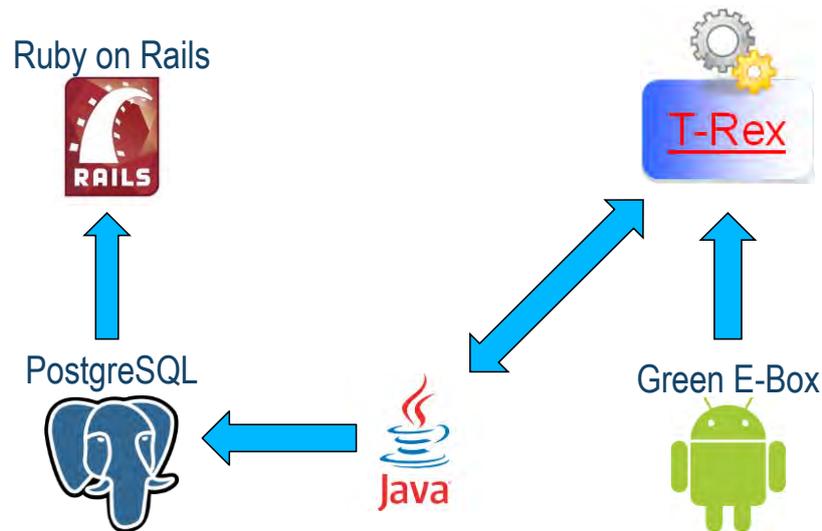


Figura 3.8 – Architettura del meccanismo di raccolta e memorizzazione dei dati provenienti dai veicoli

Lo schema dei dati implementato del database presente sul GMC è rappresentato in Figura 3.9; esso riporta l'intero insieme dei dati reputati interessanti nel contesto applicativo del progetto Green Move.

In particolare, si può dividere lo schema in 3 macro aree:

- **I dati relativi al veicolo:** dati di targa, modello, operazioni di manutenzione, dati dei sensori, ...
- **I dati relativi all'utente:** dati anagrafici, prenotazioni, argomenti di interesse, ...
- **I dati relativi ai punti di aggregazione:** tipo di centro, servizi offerti, ...

Sono state svolte varie indagini per quanto concerne la struttura ideale in cui salvare i dati evidenziati.

In particolare l'analisi era volta a valutare la natura dei dati: la maggior parte di questi infatti è costituita da dati anagrafici e altri tipi di dati amministrativi che, difficilmente, una volta immessi nel sistema, verranno modificati con grande frequenza (nel seguito ci riferiremo a questi dati come "*dati statici*"). Una piccola parte invece, cioè i dati provenienti dai sensori dei veicoli (GPS, sensori di marcia, ...) invece sono fortemente dinamici nei confronti dell'inserimento: ipotizzando infatti di avere una grande flotta di veicoli, questi potrebbero inviare i dati raccolti durante i loro viaggi con un'elevata frequenza, richiedendo inserimenti rapidi nella base di dati.

Dopo varie considerazioni, la scelta che si terrebbe più opportuno fare è la seguente:

- salvare i dati statici in una tradizionale base di dati relazionale; mantenere dei riferimenti ai sensori in una tabella dedicata, in modo tale da poter gestire eventuali analisi sui dati
- salvare i dati dei sensori in strutture non relazionali, come ad esempio delle basi di dati NoSQL, che consentono performance in inserimento migliori delle basi di dati relazionali (a scapito di perderne alcune proprietà fondamentali la cui importanza è però estremamente relativa rispetto al caso applicativo in esame).

Tuttavia per il prototipo di sistema Green Move realizzato, in cui la flotta di veicoli risulta molto ristretta, per facilità di analisi sui dati, la scelta applicativa finale è risultata nell'inserimento di tutti i dati nella base di dati relazionale.

Le principali entità presenti nello schema e le rispettive tabelle in cui i dati verranno salvati sono le seguenti.

- **VEICOLO:** la tabella veicolo e quelle a essa collegate (Modello, Tipo veicolo, costruttore) contengono tutti e soli i dati dei veicoli presenti nella flotta. Alcuni veicoli possono essere messi a disposizione degli utenti stessi, previa installazione del Green e-Box e di ciò viene tenuta traccia mediante un apposito campo “*proprietario*” all’interno della stessa tabella.
- **UTENTE:** la tabella utente e le sue collegate contengono i dati anagrafici e amministrativi degli utenti.
- **GREEN E-BOX:** la tabella Green e-Box contiene i dati del *Green e-Box* installato sul veicolo e a essa sono connesse le tabelle che riportano i dati registrati dai sensori installati sui veicoli.
- **PRENOTAZIONE – ASSEGNAMENTO:** contiene i dati relativi alle prenotazioni (e ai relativi assegnamenti di veicoli a esse) degli utenti.
- **PUNTO AGGREGAZIONE:** contiene le informazioni sui punti di aggregazione (supermercati, grandi magazzini, musei, ...) e i servizi lì offerti agli utenti Green Move (parcheggi scontati, offerte speciali, ...).
- **OPERAZIONI:** tabella contenente le informazioni relative alle operazioni (ricarica, pulizia, manutenzione, ...) che vengono effettuate sui veicoli.
- **CONTESTO:** gruppo di tabelle che contiene informazioni sugli interessi dell’utente, che vengono sfruttati dal sistema per la personalizzazione dell’esperienza utente. Contengono solo le informazioni che l’utente decide di salvare a livello di sistema (non le informazioni del profilo locale descritte nella sezione 3.1.2 e usate nell’applicazione descritta nella sezione 3.6.4)

Nel prototipo di sistema Green Move realizzato le tabelle vengono strutturate secondo il classico modello relazionale e implementate sul sistema di gestione di basi di dati PostgreSQL server attraverso il quale, nel seguito del lavoro, sarà possibile accedere, manipolare, eliminare e aggiornare i dati relativi al funzionamento e all’utilizzo del sistema.

Per quanto riguarda i ritagli contestuali, riferendoci al contesto presentato nella sezione 3.1.2, la base di dati viene ritagliata sfruttando 3 view parziali: la prima seleziona dalle tabelle CLIENTE e PRENOTAZIONE i dati relativi al solo cliente identificato dall’id 174; la seconda recupera dalla tabella PUNTO_AGGREGAZIONE i dati relativi ai condomini; l’ultima recupera dalle tabelle VEICOLO, MODELLO, CLASSE, GREEN_EBOX (e le altre relative ai veicoli) i dati dei soli veicoli di tipo “automobile”.

Le 3 view parziali vengono combinate in un’unica view contestuale che interseca i dati presenti nelle 3 view e mostra soltanto i risultati finali validi nel contesto selezionato.

3.1.5 L’interazione utente-sistema

L’utente interagisce con il sistema Green Move tramite una applicazione (app) che viene installata sul suo dispositivo mobile (smartphone). Nel seguito vengono descritte le funzioni realizzate da tale app.

Obiettivi

L’applicazione deve consentire in modo facile ed immediato l’accesso al veicolo oggetto del noleggio. L’applicativo, mediante una comunicazione diretta via bluetooth con il veicolo consente effettivamente l’accesso fisico al veicolo, pertanto deve garantire un elevato livello di sicurezza, in modo tale che siano verificati alcuni elementi fondamentali:

- l’effettiva identità del cellulare che richiede la chiave software (biglietto virtuale)
- l’effettiva corrispondenza tra la chiave software il biglietto virtuale esibito dall’utente e la prenotazione associato al veicolo.

Per migliorare l’ergonomia dell’interfaccia si è scelto di utilizzare una soluzione semplice, in modo da rendere facilmente identificabili le funzionalità principali dell’applicazione, che sono le seguenti.

- **Recuperare il biglietto virtuale della propria prenotazione:** l’utente richiede al sistema di avere accesso al veicolo prenotato.

- **Prendere in carico il veicolo con il proprio biglietto virtuale:** da questo momento il veicolo è sotto la responsabilità dell'utente e l'utente può utilizzarlo, sfruttando il proprio terminale mobile per la chiusura e apertura del veicolo.
- **Riconsegnare il veicolo mediante il proprio biglietto virtuale:** da questo momento in poi il veicolo sarà disponibile per un nuovo noleggio e l'utente non sarà più in grado di accedervi con il proprio terminale.

Ovviamente durante la fase di noleggio saranno previsti anche diversi abbandoni temporanei del veicolo che devono comunque lasciare all'utente la possibilità di bloccare/sbloccare l'accesso al veicolo chiudendo, per esempio, le portiere del veicolo, dove queste sono presenti.

Data l'eterogenea natura dei possibili utenti si è deciso di sfruttare un layout grafico semplice e pulito dove le operazioni principali sono immediatamente poste all'attenzione dell'utente.

L'applicazione deve essere in oltre in grado di poter funzionare anche senza un collegamento ad internet persistente poiché, per i contesti di utilizzo del servizio, è molto comune che l'applicazione sia utilizzata in ambiti (per esempio parcheggi sotterranei) dove la connettività (3G o wireless) non è presente; pertanto si è deciso di progettare l'applicazione richiedendo l'accesso ad Internet solo quando strettamente indispensabile.

Si è deciso, per favorire l'usabilità della applicazione, di nascondere completamente la soluzione tecnologica di autenticazione in favore della semplicità ed immediatezza d'uso in relazione alla tipologia di applicazione.

Contesti di utilizzo

Il contesto di utilizzo della applicazione client è molto articolato, ma si è comunque fatta l'assunzione che le postazioni di parcheggio autorizzato dei veicoli siano sempre posizionate in luoghi coperti da rete 3G o, comunque, serviti da un WiFi accessibile anche agli utilizzatori del servizio. Pertanto l'utente, sfruttando un normale canale HTTP su connessione 3G o WiFi, può recuperare dal server un biglietto virtuale che viene inviato al veicolo tramite un canale bluetooth.

Nell'arco del noleggio l'utente compie le seguenti operazioni:

1. effettua la prenotazione
2. acquisisce il biglietto virtuale
3. accede al veicolo prendendone il possesso
4. usa il veicolo, facendo eventuali soste ed abbandoni temporanei del veicolo
5. riconsegna ed abbandona definitivamente il veicolo.

Nella **fase 1** l'utente, attraverso il sito web Green Move o l'applicazione in Figura 3.10, è in grado di selezionare la tipologia di veicolo ed il lasso temporale in cui intende noleggiare il veicolo, in termini di data ed ora di inizio e fine. Tale operazione necessita di avere una connessione ad internet attiva.



Figura 3.10 – Prenotazione tramite App

Nella **fase 2** l'utente deve effettuare il recupero del biglietto virtuale dal server; tale operazione deve avvenire prima di prendere possesso del veicolo, e può essere fatta presso il posteggio del veicolo (sfruttando un canale 3G o WiFi), oppure anche prima di recarsi al veicolo. Da Figura 3.11 e Figura 3.12 si può notare come ciò avvenga in modo trasparente all'utente, al quale viene mostrato alla fine del processo di presa in carico un messaggio inerente gli orari precisi della propria prenotazione, se questa è presente (casi (a) e (b) di Figura 3.12). Se invece una prenotazione non è presente, ciò viene notificato all'utente (caso (b) di Figura 3.12).

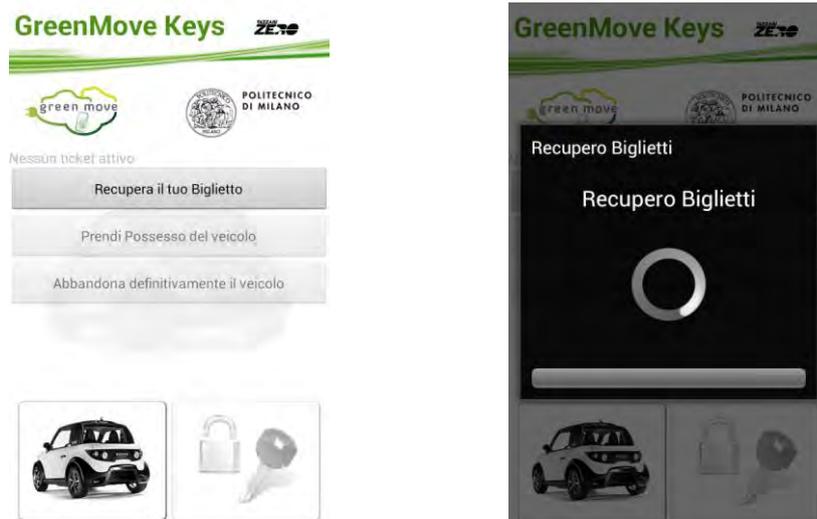


Figura 3.11 – Schermata di recupero del biglietto



Figura 3.12 – Completamento del recupero del biglietto: caso (a), biglietto presente e prenotazione non ancora attiva; caso (b), nessuna prenotazione attiva; caso (c), biglietto presente e prenotazione già attiva

Nella **fase 3** l'utente presso il veicolo prende effettivamente possesso del veicolo prenotato. Ciò avviene sempre tramite la app client Green Move che, grazie al biglietto virtuale sopra descritto, identifica a quale veicolo connettersi ed avvia la connessione. In modo trasparente all'utente avviene il complesso sistema di scambio del biglietto. L'utente riceve solo un feedback grafico sul display del proprio smartphone che lo avverte dell'avvenuta presa in carico del veicolo con successo o nel caso ciò non sia avvenuto viene indicato un messaggio di errore.

Nella **fase 4** l'utente è in grado di visualizzare lo stato del veicolo sul display presente sul veicolo. In questa fase lo smartphone dell'utente non è coinvolto, al fine di non distrarre l'utente dalla guida. Durante questa fase è comunque possibile per il sistema interagire con lo smartphone dell'utente come indicato in sezione 3.6.4. In questa fase è estremamente importante per l'utente che possa interagire con il veicolo in qualunque momento e senza necessità di avere una connessione ad internet. Infatti, può accadere, in casi di utilizzo reale, che l'utente si fermi temporaneamente in luoghi in cui non c'è connettività né 3G né WiFi, ed è quindi fondamentale che la comunicazione di chiusura ed apertura del veicolo con il controllo del biglietto virtuale già condiviso sia gestita tra lo smartphone e il GEB solo tramite il collegamento Bluetooth.

Architettura della soluzione

La soluzione si presenta agli occhi dell'utente come una semplice applicazione per piattaforma Android. L'applicazione è molto semplice in ottica di privilegiare l'immediatezza e la pulizia dell'interfaccia grafica. L'applicazione è stata costruita con l'obiettivo di avere un consumo molto limitato delle risorse del cellulare al fine di garantire un'incidenza molto ridotta sulla batteria dell'utente e sulla quantità di dati trasmessi.

3.1.6 Interazione Green e-Box↔GMC e Green e-Box↔client

Tutte le interazioni tra il GEB e gli altri 2 componenti principali del sistema, GMC e smartphone dell'utente, avvengono tramite canali standard al fine di garantire la massima interoperabilità ed apertura del sistema. I protocolli messi a disposizione per la comunicazione con il GMC sono essenzialmente due:

- protocollo RESTful over HTTP in JSON
- protocollo T-Rex.

Questi due protocolli, abbastanza differenti tra loro, rispondono ad esigenze molto diverse e veicolano dati differenti. Il primo è utilizzato per lo scambio delle informazioni strettamente inerenti il servizio di noleggio inteso come scambio dei ticket e verifica delle prenotazioni. Il secondo è invece utilizzato per lo scambio dei dati telemetrici e di tutti i dati relativi alla gestione del veicolo durante il noleggio.

Si è scelto di usare due tecnologie eterogenee e comunque basate su canali di comunicazione standard (HTTP e socket) per gestire funzionalità diverse tra loro. Nel caso del canale di comunicazione HTTP il sistema deve poter rispondere a precise richieste in un classico pattern client-server: il GEB richiede le informazioni dei ticket che lo riguardano e, dal suo lato, il cliente invia la richiesta di prenotazione e la richiesta per i ticket relativi al proprio noleggio. Il secondo canale di comunicazione è il canale T-Rex (si veda anche la sezione 3.1.2) tramite il quale vengono inviate tutte le informazioni inerenti lo stato del veicolo in viaggio e durante le varie fasi del noleggio (compreso quando il veicolo è libero). In questo caso è utile inviare i dati verso il sistema mediante regole che realizzano un pattern Publish-Suscribe, al fine di aumentare la flessibilità e le potenzialità del sistema.

La comunicazione del GEB da e verso il GMC avviene attraverso un sistema di cifratura attraverso chiavi asimmetriche: ciascun utente noleggiatore è dotato di una chiave privata personale che risiede solo sullo smartphone (in modo trasparente per l'utente); analogamente per ogni GEB. Il GMC possiede la chiave pubblica di ciascuno dei propri interlocutori. In questo modo tutte le comunicazioni verso l'esterno possono essere cifrate dal server con la chiave pubblica del richiedente, rendendo di fatto l'informazione intellegibile solo al richiedente (si veda la Figura 3.13), che la può interpretare solo dopo averla decifrata con la propria chiave privata (si veda per esempio la Figura 3.14). Tale processo consente la confidenzialità della comunicazione, evitando la possibilità che un utente malintenzionato possa rubare un ticket, interpretarlo ed utilizzarlo. Come ulteriore elemento di sicurezza all'interno di ciascun ticket viene inserita una chiave, questa volta simmetrica, che il GEB e lo smartphone dell'utente possono utilizzare per la comunicazione durante il noleggio in assoluta sicurezza.

```
{
  data: "qgpJlPA4//QQY3Nmz30PRElWuSNtb4f+CDnKMLuCTEQt7+jorFiJYMntTGFf
kWx9H5yxil5bVYa/RQKplhLZRGa+q/u3135Jx5MVwCxUDO+QybvwTNIllf/9
lx8E0dKaLtdoKZr64/0bDl/Ri9lgC1K8xBLTR4t247xPtIGXWj/S9tdpYTW8
izrsOvd7P0BvLZyr8z3Ha/916sYCOcmxRVoXz61CpGKU8B7UCJWrh/51tqeD
RBQfhhAh+EcwWcdiz1JAxWMzYAz4itb4NeZBjDpIRl3Rm6sVV3Mh37DM95N
FkrflbDPpa913sB8qVsn8mEb7U/QveBNLdcu/TPfhaNqc2Dfb1QQKY8hwBNY
sn/xcgzjQ5pBDY5/IRB0Y4ky4cPOwnfQpBCUbuhe9rPBbQKYZI7FS+F6Aph
NpNMv01ofl4+I50jUGgi4wg/OCyCrQmF5l6kC6QRXNm67sAOAThaqX+ry5gM
cKV9USLvLDloh0HduI9arWmEKO78iRUrn84LjPzhPmpshCWsU0gZ4uJ4QgmU
BZQ4Lu6a+SM199sdZNP+ybOn+hIsgucUcuVA82vCO+vEdd40KRFxHCfDndSh
pAjjtEX2ZwaZF+nntfkEAepyPSTvSwV8/JXVAE6qq1180ENTmhDxHvQ3X+wa
8UTzR5dMMHbxnifd35d/A5QM="
}
```

Figura 3.13 – Ticket cifrato inviato dal server

```
{
  "additional_info": {
    "model": "Tazzari Zero",
    "constructor": "Tazzari",
    "license_plate": "BB002BB",
    "mac_address": "a8:26:d9:ff:30:ba",
    "color": "white"
  },
  "ticket": {
    "session_key": "397658c92f7c65ef14be8899ad79f71082dc3338",
    "user_id": "13".
  }
}
```

Figura 3.14 – Ticket decifrato inviato dal server



Interazione tra Green e-Box e Client smartphone utente

L'interazione tra il GEB ed la app client installata sullo smartphone dell'utente è ridotta al minimo indispensabile per preservare lo stato di carica dello smartphone dell'utente. La comunicazione si concentra nelle fasi di:

- presa in carico del veicolo
- invio comandi di apertura/chiusura porte o abilitazione/disabilitazione della marcia (a seconda della tipologia di veicolo)
- rilascio temporaneo del veicolo
- rilascio definitivo del veicolo.

Alla presa in carico del veicolo e durante tutta la sessione delle comunicazioni i messaggi vengono cifrati con una chiave condivisa tra i due interlocutori. Come descritto sopra, tale chiave viene fornita ai due attori della comunicazione all'interno del ticket inviato dal server, in modo che la comunicazione complessiva risulti sicura.

Infine, è stato previsto di dare la possibilità anche alle applicazioni caricate dinamicamente sui GEB (si vedano le sezioni 3.5.3 e 3.6.3) di scambiare informazioni con gli smartphone degli utenti. Ciò è molto utile per gestire funzionalità come l'invio di feedback relativi allo stile di guida dell'utente (si veda la sezione 3.6.4) o la gestione della configurazione dei servizi dinamici.

3.2 Sviluppo hardware e software del "Green e-Box" elettronico (A3.2)

In questa sezione viene descritto nel dettaglio il Green e-Box (GEB), il dispositivo elettronico che, come spiegato in sezione 3.1.3, permette l'interazione tra i veicoli Green Move ed il sistema stesso. Nei paragrafi seguenti verrà presentata l'analisi dei requisiti del GEB, la sua progettazione e la successiva realizzazione. Viene descritto lo sviluppo, sia lato Hardware sia lato Software, del dispositivo evidenziando le scelte progettuali adottate per tenere conto della necessità di adattamento del GEB alle diverse tipologie di veicolo utilizzate in Green Move.

3.2.1 Il Green e-Box

Il GEB è il sistema elettronico da installare sui veicoli elettrici che intendono fare parte del servizio Green Move. Il GEB rappresenta una delle entità principali del servizio insieme al GMC, ai veicoli elettrici ed agli utenti Green Move (si veda Figura 3.5). Deve quindi essere in grado di interagire correttamente con queste entità.

In particolare, il GEB ha come obiettivi principali quelli di:

- **interagire con il veicolo** sul quale è installato per:
 - raccogliere informazioni utili (stato carica della batteria, velocità del mezzo, ecc.);
 - inviare comandi (apertura/chiusura portiere, abilitazione alla marcia, ecc.);
- **interagire con l'utente** per:
 - gestire le operazioni di ritiro e riconsegna del veicolo;
 - fornire informazioni e servizi aggiuntivi;
- **interagire con il GMC** per:
 - comunicare le informazioni sul proprio stato e sullo stato del veicolo;
 - ricevere comandi (ad es. il blocco del veicolo in caso di malfunzionamenti, la chiusura di un veicolo rimasto aperto a fine prenotazione, ecc.);
 - ricevere aggiornamenti (aggiornamenti software del dispositivo, installazione da remoto di servizi e funzionalità aggiuntive, ecc.).

Come evidenziato in Figura 3.15, il GEB deve instaurare dei canali di comunicazione specifici per interagire con le altre entità del servizio. Il dispositivo deve comprendere degli opportuni meccanismi di comunicazione per scambiare informazioni con il veicolo, lo smartphone dell'utente ed il GMC. Nei paragrafi seguenti sono analizzati i principali requisiti e i componenti necessari al GEB per garantire l'interazione con le altre entità Green Move. Si rimanda alla sezione 3.4 per i dettagli implementativi della comunicazione tra i componenti.

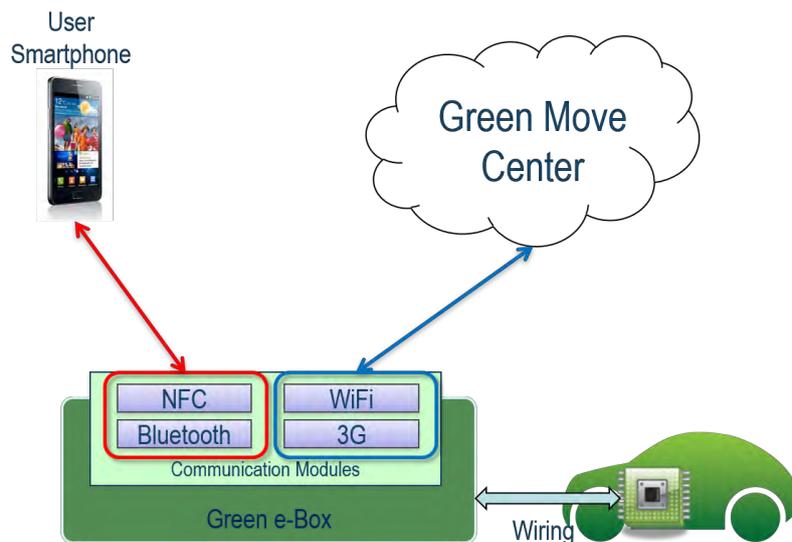


Figura 3.15 – Schema di comunicazione tra GEB e le altre entità Green Move (smartphone utente, GMC e mezzo elettrico)

GEB-GMC

Il GMC deve poter comunicare coi veicoli Green Move per gestire l'intera flotta, recuperare informazioni utili dai mezzi (dati diagnostici, statistiche d'uso, informazioni di viaggio, ecc.). Ogni GEB deve essere progettato in modo da instaurare un canale di comunicazione con il GMC per poter trasmettere le informazioni necessarie. Per fare ciò, il GEB deve integrare:

- **un modulo per connessioni dati 3G** per garantire connessioni GPRS/EDGE/HSPA e trasmettere/ricevere dati al/dal GMC;
- **un modulo WiFi** per permettere connessioni con eventuali Access Point presenti sul territorio.

GEB- Smartphone Utente

Un utente del servizio Green Move, dopo aver effettuato una prenotazione, interagisce con il veicolo riservato attraverso il proprio smartphone, tramite un'applicazione installata sul dispositivo mobile. L'utente deve essere in grado di attivare la prenotazione (attraverso una verifica del ticket elettronico) e, una volta abilitato alla guida, di usufruire dei servizi aggiuntivi offerti da Green Move. Per completare correttamente queste operazioni deve essere instaurata una comunicazione diretta tra dispositivo mobile dell'utente ed il GEB.

La scelta di usare una comunicazione diretta smartphone-GEB ha il vantaggio di permettere lo scambio di informazioni in qualunque momento, anche quando non è disponibile una connessione 3G/WiFi tra GEB e GMC (per esempio in un parcheggio sotterraneo o in aree con scarsa connettività). Il canale di comunicazione scelto per permettere lo scambio diretto di informazioni tra GEB e smartphone è il canale Bluetooth. È possibile utilizzare come canale alternativo, la tecnologia NFC (Near Field Communication), se il dispositivo mobile dell'utente è di ultima generazione ed integra questa tecnologia.

Il GEB è stato quindi progettato in modo da integrare:

- un modulo Bluetooth;
- un modulo UART per permettere la connessione di un lettore NFC esterno (si veda Figura 3.15).

GEB-Veicolo + segnali

Il GEB deve essere predisposto in modo connettersi via cavo alle centraline dei veicoli per acquisire le informazioni e, ove possibile, per inviare comandi al veicolo come aprire/chiedere le portiere o abilitare/disabilitare il mezzo al moto.

Il dispositivo inoltre deve essere progettato per garantire il recupero di informazioni provenienti da veicoli eterogenei tra loro, sia per loro natura (da biciclette ad automobili) sia per tecnologie utilizzate per la gestione dei dati. Per questo motivo la progettazione del dispositivo è stata preceduta da un'analisi preliminare che ha permesso di individuare i principali segnali di interesse.

Innanzitutto è possibile suddividere le informazioni di maggior interesse in diversi gruppi in modo da semplificare l'accesso ai dati dagli elementi a livello superiore. Sono stati quindi individuati i seguenti gruppi di informazioni rilevanti.

1. Dati batteria

Queste sono informazioni fondamentali, vista la natura elettrica dei veicoli presi in considerazione. In particolare i dati interessanti sono:

- stato di carica delle batterie;
- tensione istantanea del pacco batterie;
- corrente istantanea del pacco batterie;
- in carica/non in carica, cioè l'informazione sulla connessione del veicolo ad una colonnina elettrica o ad una presa di corrente.

2. Dati di percorrenza

In questo gruppo vengono indicati quei dati acquisiti durante l'utilizzo di un veicolo da parte dell'utente, nel dettaglio:

- **direzione di marcia** (avanti, posizione di parcheggio, retromarcia);
- **velocità istantanea**;
- **posizione del veicolo** (es. latitudine, longitudine, altezza, ecc.).

3. Stato delle portiere

Per quei veicoli dotati di portiere (quadricicli e automobili) avere informazioni sullo stato delle portiere è un'informazione rilevante per la corretta gestione del servizio di vehicle sharing. Considerate diverse tipologie di veicoli, i dati interessanti sono:

- **stato fisico delle portiere**, cioè se una portiera è chiusa o aperta;
- **stato di sblocco/blocco delle portiere**, cioè se l'apertura delle portiere è abilitata (sbloccata) o meno (blocco portiere attivo).

4. Dati su guasti

In questo gruppo vengono acquisiti tutti quei segnali che indicano dei possibili guasti o malfunzionamenti del veicolo, come livello di carica troppo basso/alto, anomalie dell'impianto elettrico, guasti al BMS (sistema di gestione delle batterie), sovratemperatura del motore, ecc.

5. Altri dati

In questo gruppo sono indicati quei dati che alcuni veicoli sono in grado di fornire, ma non rientrano in nessuna delle categorie specificate in precedenza. Si è cercato in ogni caso di selezionare informazioni che possano essere utili per il servizio, ad esempio per fornire funzionalità aggiuntive o per permettere al sistema un controllo migliore della flotta veicoli. Questi dati sono:

- **modalità di guida** impostata dall'utente (sport, normal, economy, ecc.), che, dove disponibile, può essere utile per stimare con più precisione i consumi e predire l'autonomia residua;
- **riscaldamento acceso/spento**;
- **aria condizionata accesa/spenta**;
- luci accese/spente.

6. Comandi al veicolo

Attraverso la connessione con la centralina di ogni veicolo, il GEB deve inoltre garantire l'esecuzione di alcuni comandi:

- **apertura/chiusura delle portiere** (nei veicoli che ne sono dotati);
- **abilitazione/disabilitazione alla marcia**, nei casi in cui è possibile sbloccare o bloccare il veicolo prima di metterlo in moto;
- **invio di messaggi** testuali, immagini, ecc. in quei veicoli dove è possibile accedere al display del cruscotto o ad uno schermo.

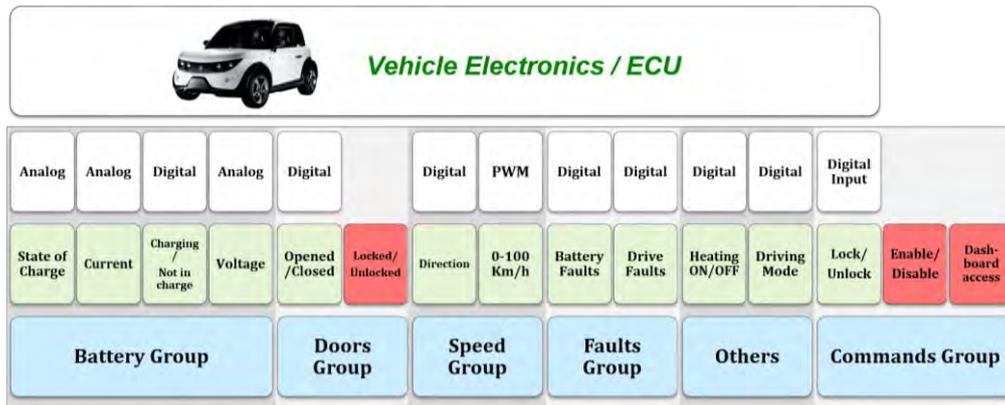


Figura 3.16 – Architettura gerarchica

Nella progettazione dell'architettura del sistema si è tenuto conto dei segnali elencati in precedenza, quali sono strettamente necessari per il corretto funzionamento del servizio, quali sono facoltativi e quali invece sono al momento non disponibili per il veicolo preso in considerazione. In questa fase sono infatti emerse alcune criticità derivanti dall'eterogeneità dei veicoli, imputabili sia alla natura stessa dei veicoli (quadriciclo leggero, quadriciclo pesante, automobile, scooter, ecc.) sia alla tecnologia di comunicazione di questi dati offerta dalle singole case costruttrici (es. via CAN-bus). In Figura 3.16 è possibile vedere l'organizzazione gerarchica dei dati veicolo recuperabili dalla Tazzari Zero Evo. I segnali vengono recuperati direttamente dall'elettronica del veicolo attraverso ingressi analogici e digitali, mentre in rosso sono indicati i segnali non disponibili per questa tipologia di veicolo. Ogni segnale appartiene ad uno dei 6 gruppi individuati in precedenza.

Il design, il dimensionamento e la realizzazione delle schede elettroniche costituenti il GEB sono state effettuate tenendo in considerazione le singole specificità di ogni veicolo. Per recuperare le informazioni elencate in precedenza, il GEB deve comprendere:

- **un CAN controller**, per gestire la connessione con veicoli dotati di CAN-bus;
- **ingressi (e uscite) digitali e analogici**, per recuperare dati da veicoli sprovvisti di CAN-bus;
- **un ricevitore GPS**, per recuperare la posizione del veicolo.

3.2.2 Architettura del sistema

Per far fronte alle specifiche richieste descritte nelle sezioni precedenti, il GEB è stato progettato secondo lo schema raffigurato in Figura 3.17. In particolare, il dispositivo è stato progettato seguendo i principi di modularità (componenti distinti tra loro si occupano di funzioni differenti) ed estensibilità (nuove funzioni e moduli possono essere aggiunti facilmente al dispositivo, anche in un secondo momento).

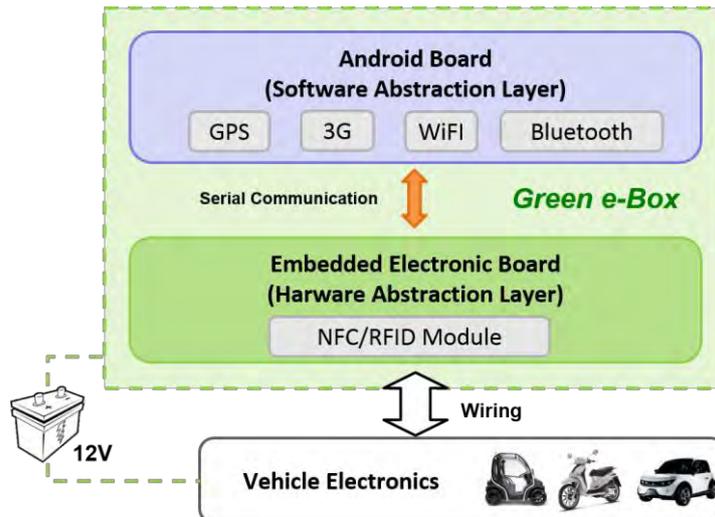


Figura 3.17 – Architettura del GEB

Il sistema nel suo complesso è stato predisposto suddividendo le funzionalità principali su due livelli differenti: funzionalità di alto livello e funzionalità di basso livello. Lo strato più basso, denominato Hardware Abstraction Layer (HAL), è responsabile dell'interazione diretta con l'elettronica e l'eventuale centralina di controllo del veicolo, con l'obiettivo di recuperare i segnali di interesse per il funzionamento del sistema e di garantire l'esecuzione di alcuni comandi (ad es. l'apertura e chiusura del mezzo). Il livello più alto, denominato Software Abstraction Layer (SAL), si occupa di comunicare con il livello Hardware per ricevere i dati e trasmettere comandi, integra alcuni componenti (ricevitore GPS, modulo Bluetooth, connessione 3G, ecc.) necessari per il servizio ed infine interagisce con l'esterno.

Di seguito vengono trattati nel dettaglio i due livelli.

Hardware Abstraction Layer

L'HAL comprende una coppia di schede elettroniche, raffigurate in Figura 3.18, ed è dotato di una opportuna interfaccia di connessione per collegarsi all'elettronica di ogni veicolo coinvolto nel servizio di vehicle sharing. L'obiettivo principale dell'HAL, infatti, è quello di astrarre al livello successivo (SAL) le singole specificità di ogni veicolo e predisporre uno strato virtuale di comunicazione universale tra le funzioni software e l'hardware specifico del mezzo. Questo strato virtuale è stato progettato in modo da fornire al livello successivo un protocollo di comunicazione generale per il recupero dati e l'invio di comandi al veicolo.

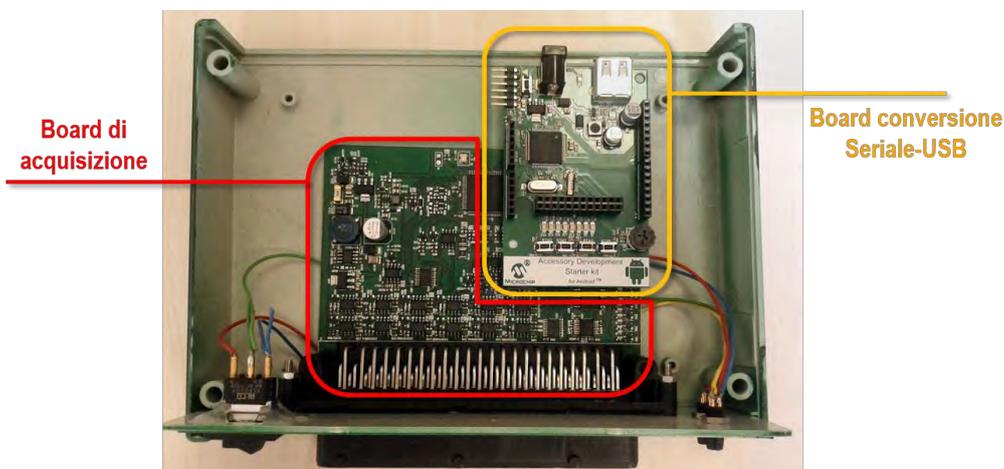


Figura 3.18 – Le due board dell'Hardware Layer

Board di acquisizione dati

Per poter comunicare con una vasta gamma di veicoli eterogenei tra loro è stata utilizzata una scheda di acquisizione dati dotata di diverse interfacce di comunicazione.

Nel dettaglio, le principali caratteristiche della scheda utilizzata sono:

- Microcontrollore Microchip® dsPIC33FJ-256MC710;
- uscita CAN per data-logging ad alta frequenza;
- 6 ingressi analogici con dinamica 0-5 V;
- 8 ingressi digitali con dinamica 0-12 V;
- predisposizione per la connessione di un modulo NFC-UART;
- uscita a 5 V per ricarica di Smartphone o Tablet.

La scheda ha quindi un'uscita CAN (Controller Area Network), per comunicare con i veicoli dotati di questo canale seriale di comunicazione, e diversi canali analogici e digitali in modo da recuperare informazioni anche da quei veicoli sprovvisti di CAN-bus (dove quindi è richiesta una connessione diretta all'elettronica del mezzo). Inoltre la board è dotata di un'opportuna interfaccia seriale del tipo UART per connettere un lettore NFC esterno.

Board di conversione Seriale-USB

Alla board di acquisizione dati è stata affiancata una seconda scheda elettronica che si occupa di convertire i segnali acquisiti in messaggi interpretabili dal SAL. Il microcontrollore della board di acquisizione dati possiede un modulo UART (Universally asynchronous receiver/transmitter) integrato. Questo dispositivo permette alla scheda di ricevere e trasmettere messaggi attraverso comunicazione seriale di tipo TTL (Transistor-Transistor Logic). Di conseguenza, per poter comunicare con il livello superiore (SAL) è necessario inserire un opportuno stadio di conversione dei messaggi, da seriale TTL a USB (Universal Serial Bus).

In questo modo, l'Hardware di basso livello del GEB viene dotato di una sola connessione di ingresso e uscita verso il SAL. Connessione realizzata attraverso un'interfaccia standardizzata (USB).

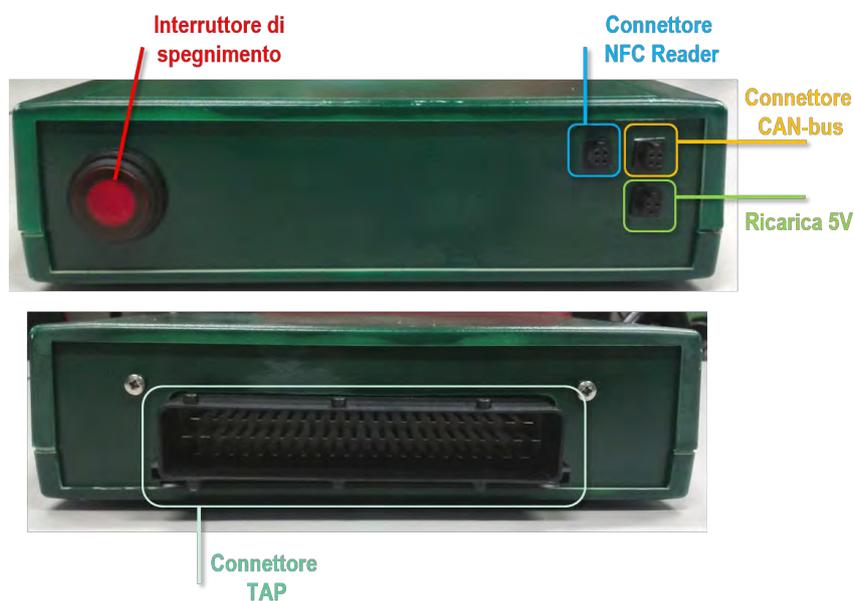


Figura 3.19 – Connessioni

L'intero sistema infine viene alimentato a 12 V ed è dotato di un interruttore generale di spegnimento. In Figura 3.19 vengono mostrate una visuale frontale e una posteriore del box. Oltre all'interruttore generale di spegnimento, il box è dotato di un insieme di connettori:

- connettore per NFC Reader, per connettere un lettore di smartcard e smartphone con tecnologia NFC (Figura 3.20);
- connettore per CAN-bus in modo da permettere il collegamento di opportuni lettori CAN per diagnostica o data-logging;
- connettore per ricarica 5V, predisposto per ricaricare un tablet/smartphone dell'utente o già presente nel veicolo.



Figura 3.20 – Lettore NFC

Software Abstraction Layer

Il SAL astrae le specificità del strato di basso livello. In particolare, deve comunicare con il livello Hardware per ricevere i dati e trasmettere comandi al veicolo e, in secondo luogo, implementare tutto quell'insieme di applicazioni (Green Move Applications) che garantiscono il funzionamento del servizio, offrono funzionalità aggiuntive e arricchiscono l'esperienza dell'utente.

Il SAL deve quindi avere le seguenti caratteristiche:

- essere dotato di interfaccia di comunicazione standard per comunicare con l'HAL (connessione USB);
- essere dotato di connettività 3G e WiFi per poter trasmettere dati con il GMC;
- integrare un modulo Bluetooth per poter comunicare con lo smartphone dell'utente;
- integrare un ricevitore GPS per recuperare informazioni sulla posizione del veicolo;
- sistema operativo Android in grado di:
 - offrire strumenti per la gestione delle comunicazioni;
 - implementare e eseguire applicazioni di base del servizio (acquisizione e invio dati);
 - permettere la creazione di strumenti avanzati (Green Move Application).

In Figura 3.21 sono mostrati i due dispositivi utilizzati nel progetto che implementano il Software Abstraction Layer. Sono dispositivi con sistema operativo Android e dotati di tutti i moduli necessari per gestire la comunicazione con HAL, Green Move Center e Smartphone dell'utente. In Tabella 3.2 e Tabella 3.1 sono elencate le principali caratteristiche dei due sistemi presi in considerazione.



Figura 3.21 – Board Android utilizzate nel progetto (a sinistra Tiny 6410, a destra HTC Desire C)

Tiny 6410	
Dimensioni	107.2 x 60.6 x 11.95 mm
CPU	600 MHz
Memoria RAM	512 MB
Memoria Flash	4 GB
Sistema Operativo	Android 4.0.3
Connettività	Modulo GSM/GPRS/EDGE/HSPA Bluetooth® 4.0 Wi-Fi IEEE 802.11 b/g Micro-USB Standard (USB 2.0 a 5 pin)
GPS	A-GPS

Tabella 3.1 – Caratteristiche del Tiny 6410

HTC Desire C	
Dimensioni	180 x 130 mm
CPU	533 MHz
Memoria RAM	256 MB
Memoria Flash	2 GB
Sistema Operativo	Android 2.3.4
Connettività	Modulo GPRS-FA-210 Bluetooth® 4.0 Wi-Fi IEEE 802.11 b/g Micro-USB Standard (USB 2.0 a 5 pin)
GPS	A-GPS

Tabella 3.2 – Caratteristiche del HTC Desire C

Remark Android

Utilizzare una board Android (o direttamente uno smartphone Android) come strato di alto livello si è rivelata una scelta naturale per diverse ragioni.

Innanzitutto, Android è un sistema operativo per dispositivi mobili. Dispositivi quali, board di prototipazione, smartphone e tablet, integrano tutti i moduli Hardware necessari (GPS, Bluetooth, 3G e WiFi) a realizzare le connessioni e di conseguenza si sono rivelati gli strumenti più adatti per implementare le funzionalità di alto livello del progetto (interazione con utente, con GMC, ecc.).

In secondo luogo, la natura di sistema operativo aperto e gratuito ha permesso la prototipazione rapida sia del middleware di gestione delle comunicazioni (gestione delle connessioni Bluetooth, WiFi, 3G) sia del sistema di applicazioni Green Move.



Figura 3.22 – Sistema completo

Il sistema completo

In Figura 3.22 viene mostrato il sistema nel suo complesso. L'applicazione implementata sulla board Android che si occupa di comunicare con l'HAL recupera i dati e fornisce un'interfaccia standard per il recupero delle informazioni del veicolo. In Figura 3.23 è riportata una rappresentazione UML dell'interfaccia definita. L'applicazione è strutturata secondo il pattern architetturale *Model-View-Controller*, oltre a conservare i dati acquisiti ne fornisce una visualizzazione grafica (a solo scopo di test) e ne regola l'uso tramite l'interfaccia di accesso.

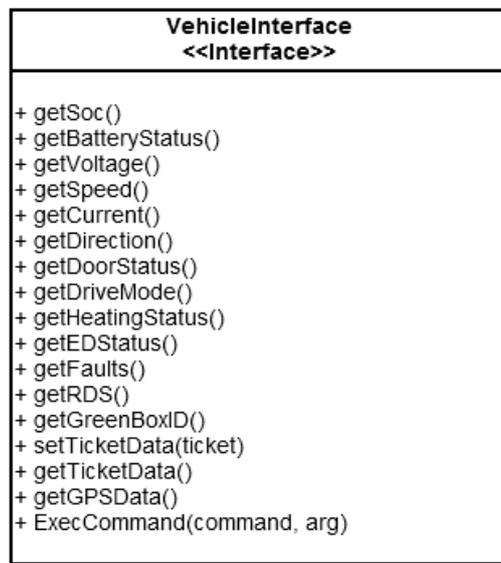


Figura 3.23 – Interfaccia UML

3.3 Sviluppo hardware e software delle docking station (A3.3)

In questa sezione vengono analizzate le diverse tecnologie a disposizione per la ricarica dei veicoli elettrici e l'impatto che queste hanno avuto nello sviluppo del prototipo Green Move.

Per la ricarica di un veicolo elettrico esistono quattro distinte tecnologie:

1. *Sostituzione del pacco batterie*: il pacco batterie del veicolo viene rimosso e sostituito con un altro pacco batterie completamente carico. Il veicolo deve essere predisposto di uno sgancio rapido del pacco. I pacchi batterie sono generalmente molto pesanti. Al momento è una tecnica più teorica che concretamente realizzata.
2. *Ricarica induttiva*: non richiede nessun cavo per la ricarica; l'energia tra veicolo e punto di ricarica è trasferita attraverso un campo magnetico. Si tratta di una tecnologia ancora in una fase prototipale e particolarmente complessa e costosa.
3. *Ricarica conduttiva*: richiede un cavo per la ricarica; il veicolo viene collegato tramite un cavo ad una colonnina di ricarica o ad una presa domestica. Il pacco batterie rimane all'interno del veicolo.
4. *Estrazione del pacco batterie*: è una soluzione ibrida fra la tecnica 1 e la tecnica 3, che non richiede la presenza di una stazione di ricarica. La batteria viene estratta dal veicolo e trasportata in ufficio o in casa dove viene poi collegata ad una classica presa domestica. Il veicolo deve avere un sistema di estrazione del pacco batterie. A causa del peso delle batterie è adatta solo per piccoli veicoli (es. ciclomotori e quadricicli leggeri).

Fra le tecniche di ricarica appena esposte la 3 è sicuramente, ad oggi, la più diffusa e, nella fase iniziale del progetto, si era quindi pensato di progettare e sviluppare i componenti hardware e software per una docking station. Dopo aver però constatato che, al momento, a livello pubblico, nessuno ha in sviluppo progetti di questo tipo ed aver osservato, invece, il proliferare di costruttori di colonnine di ricarica si è deciso di spostare il lavoro verso una analisi delle stazioni di ricarica al momento presenti sul mercato.

3.3.1 Modi e spine di ricarica

In termini di normative per la ricarica dei veicoli elettrici sono presenti i seguenti standard internazionali: IEC 62196 - 1, IEC 62196 - 2 e IEC 61851 - 1. Per quanto riguarda l'Italia, attualmente, la norma di riferimento per i dispositivi di connessione è la CEI 69 - 6.

Per le stazioni di ricarica la norma di riferimento è la IEC 61851 - 1 all'interno della quale sono definite 4 diverse modalità attraverso le quali può avvenire la ricarica di un veicolo elettrico:

- MODO 1: ricarica tramite connettore domestico, corrente massima 16 A / 230 V (corrente alternata): è ammessa solo in ambito domestico. Non sono previsti sistemi di protezione specifici, né di dialogo fra il veicolo elettrico e la struttura fissa di ricarica. I tempi di ricarica sono nell'ordine delle 6-8 h.
- MODO 2: viene impiegata quando un veicolo, normalmente predisposto per la ricarica in MODO 3, è ricaricato da una presa di tipo comune utilizzando l'apposito cavo dotato di un dispositivo per la protezione e il controllo (Control Box) che garantisce la sicurezza delle operazioni durante la ricarica (attraverso modulazione PWM). Consente correnti fino a 16 A (corrente alternata). I tempi di ricarica sono nell'ordine delle 6-8 h.
- MODO 3: offre due modalità: (1) lenta fino a 16 A / 230 v oppure (2) veloce fino a 63 A / 400 V (entrambe in corrente alternata e con sistema di sicurezza PWM). La ricarica è consentita sia in ambito domestico che pubblico e necessita di connettori specifici. Per la ricarica in modo 3 è necessario almeno un conduttore supplementare fra veicolo e stazione (conduttore pilota): sono quindi necessari prese e spine specifiche dotate di contatti addizionali. I tempi di ricarica sono nell'ordine delle 6-8 h per la configurazione (1) e di circa 1 h per la configurazione (2). È il modo di ricarica più diffuso e in Italia è obbligatorio per la ricarica in luogo pubblico.
- MODO 4: il circuito caricabatteria è posto a terra nella stazione di ricarica. La vettura, quindi, è caricata in corrente continua all'effettiva tensione di ricarica del pacco batterie. La tensione è regolata dal sistema di controllo della ricarica, posto sulla vettura, che è in grado di comandare in

remoto il caricabatteria posto a terra tramite un idoneo protocollo di comunicazione. È la modalità più indicata per le ricariche dai 20 ai 50 kW. Il sistema oggi utilizzato per la ricarica in modo 4 è il CHAdeMO (<http://www.chademo.com/>), idoneo a ricariche sino a 62,5 kW (500 V, 125 A). I tempi di ricarica sono nell'ordine della decina di minuti.

Uno dei principali aspetti di sicurezza (specialmente in ricarica in luogo pubblico) riguarda il blocco del cavo lato veicolo e lato stazione durante le fasi di ricarica. Si può infatti andare in contro a due principali pericoli.

- Un passante (ad esempio un bambino) scollega il cavo dal veicolo ed entra in contatto con i connettori del cavo; per la soluzione di questo problema in molti paesi sono obbligatori degli shutter (in abito pubblico ma anche domestico) che evitano contatti accidentali fra persone e parti in tensione.
- Un passante stacca il cavo dal veicolo in ricarica e collega il proprio veicolo a spese dell'altro cliente; per la soluzione di questo problema è necessario che durante la ricarica le prese lato veicolo e lato stazione rimangano bloccate.

In Italia, per la ricarica in luogo pubblico da colonnina, viene utilizzato il MODO 3. Per questa modalità nelle norme internazionali 62196-1 e IEC 62196-2 sono definite tre tipologie di connettori lato veicolo e lato colonnina (Figura 3.25):

- TIPO 1: È utilizzato solo sul lato veicolo. Il connettore tipo 1 è idoneo alla ricarica in corrente alternata monofase 32 A/230 V. Esso è dotato di cinque poli: due per i conduttori attivi, uno per la messa a terra e due ausiliari per le funzioni di controllo.
- TIPO 2: Questo connettore è in uso sia sulle stazioni di ricarica sia sui veicoli. Inoltre, a differenza del connettore di TIPO 1, è un connettore utilizzabile anche in corrente trifase a 400 V. Questo connettore dispone di sette contatti in totale. Con il connettore tipo 2 è possibile raggiungere valori di potenza di ricarica abbastanza elevati e correnti fino 63 A / 400 V trifase oppure effettuare ricariche in tensione alternata monofase in ambiente domestico. Lo standard TIPO 2 è sostenuto dalla azienda Mennekes (<http://www.mennekes.com>), nonché azienda produttrice del TIPO 2.
- TIPO 3C: Le caratteristiche sono simili a quelle della presa tipo 2 ma con quest'ultima è meccanicamente incompatibile. La peculiarità di questo tipo di connettore è quella di disporre di otturatori mobili sui contatti (shutter) che garantiscono il grado di protezione IPXXD anche quando la spina è disinserita. Consente una ricarica sia in monofase a 16 A /230 V sia trifase fino a 63 A / 400 V. Infine esiste una ultima modalità di ricarica (Figura 3.26) specifica per i veicoli leggeri (scooter e minivetture) denominata MODO 3 semplificato senza PWM (TIPO 3A). La spina tipo 3A è un connettore monofase 16 A / 250 V dotato di tre poli e un contatto pilota. Nei casi più diffusi, i veicoli che sono provvisti di spina 3A hanno il cavo di connessione fissato permanentemente a essi e raccolto in un apposito vano quando non è in uso. I veicoli forniti di questa spina possono essere ricaricati in ambito privato anche da una presa comune (es. Schuko), tramite un semplice adattatore normalmente in dotazione al veicolo. I connettori di TIPO 3 sono sostenuti dalla EV Plug Alliance (<http://www.evplugalliance.org>).

Al momento i connettori più diffusi sono quelli di tipo 2 e 3: i primi sostenuti dall'azienda Mennekes e i secondi dalla EV plug Alliance che vede fra i suoi membri l'azienda Scame.

Per quanto riguarda le ricariche a 63 A vige l'obbligo di avere il cavo di ricarica bloccato lato colonnina. I cavi forniti con i veicoli supportano infatti solo correnti fino a 32 A in trifase. Oltre i 32 A è necessario avere la presa lato veicolo adatta e utilizzare poi i cavi bloccati alle colonnine.

La situazione europea per quanto riguarda TIPO 2 e TIPO 3 è visibile in Figura 3.24. Al momento, le prese più diffuse sono quelle di tipo 2 ed infatti anche la commissione europea sta attualmente spingendo verso questo standard.

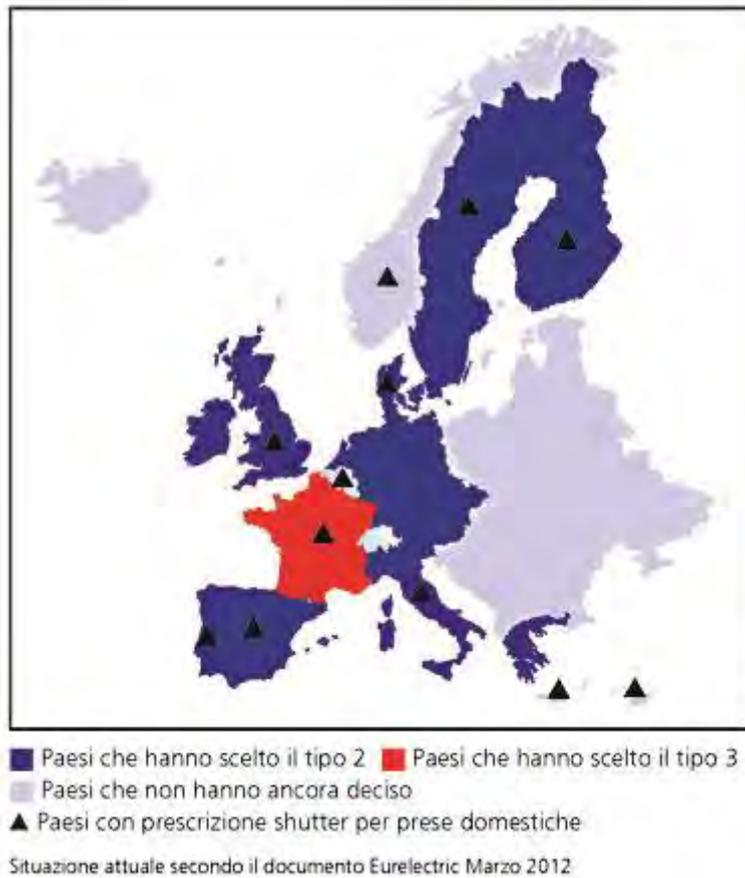


Figura 3.24 – Situazione europea per le prese di ricarica MOD0 3

Tutti i principali connettori descritti in questa sezione sono visibili nelle figure seguenti.

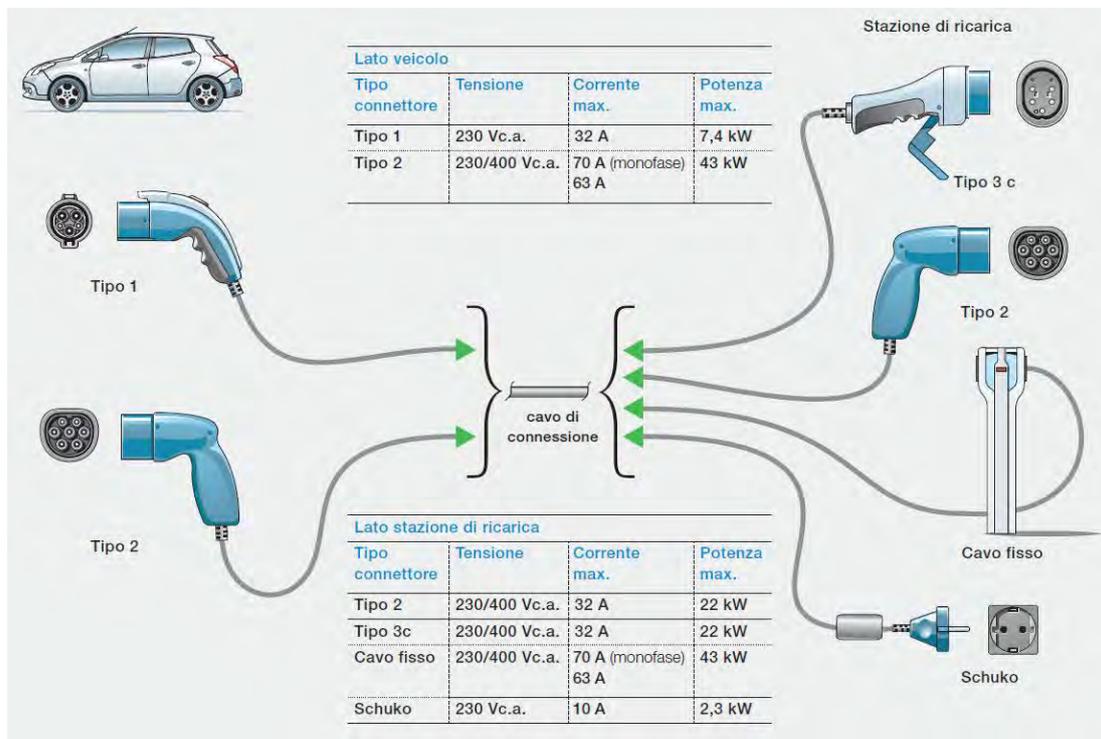


Figura 3.25 – Diversi tipi di connettore lato veicolo e lato colonnina e loro specifiche (Copyright 2013 ABB)

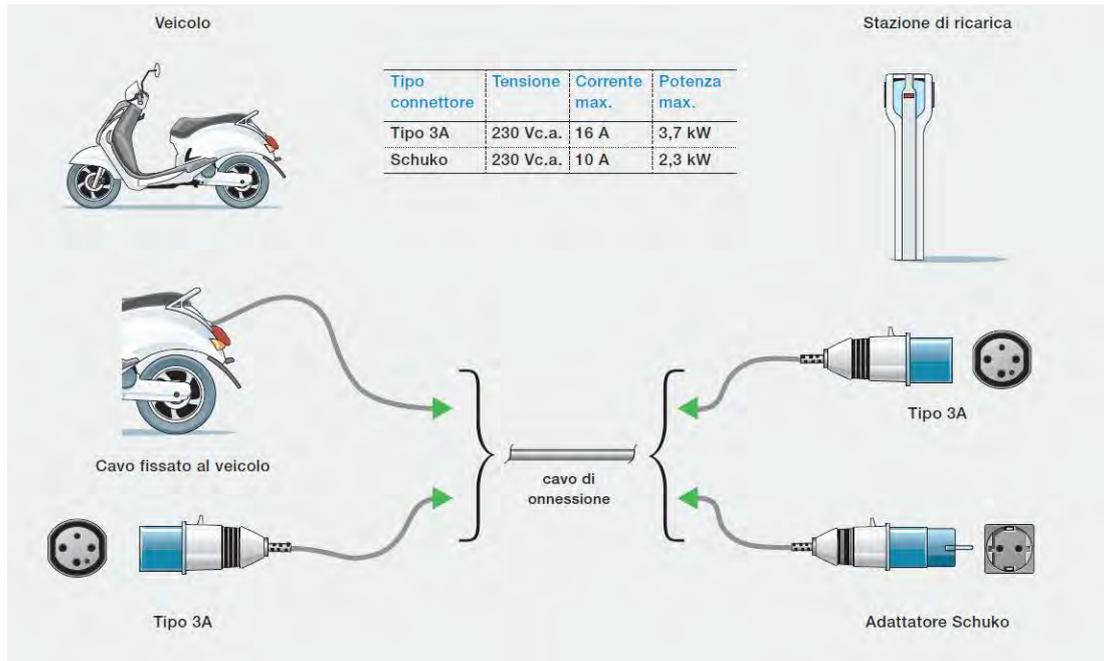


Figura 3.26 – MODO 3 semplificato senza PWM per la ricarica in corrente alternate dei veicoli leggeri (Copyright 2013 ABB)



Figura 3.27 – Tipologie di connettori (Copyright 2013 ABB)

La situazione normativa italiana è quindi riassunta in Tabella 3.3.

Ambiente	chiuso a terzi					aperto a terzi		
	< 3kW		≥ 3kW			< 3kW		≥ 3kW
Potenza	fino a 16A 230V- (1)/(2)		da 16 a 32A	da 32 a 63A	da 32 a 63A	fino a 16A	da 16 a 32A	da 32 a 63A
Corrente	230/400V-		230/400V-	230/400V-	230/400V-	230V- (1)	230/400V-	230/400V-
Spina	3A + adattatore domestica 16A	IEC309	3A 3C	3C	3C	3A 3C	3C	3C
Presca	domestica 16A	IEC309	3A 3C	3C	3C	3A 3C	3C	3C
Modo	1	1	3	3	3	3	3	3
Anti-estrazione	-	-	opzionale	opzionale	obbligatorio	opzionale	opzionale	obbligatorio

(1) Per veicoli di categoria L, il connettore da utilizzare è il tipo 3A. (2) Per connettori domestici, la corrente di carica è limitata a 13A.

Tabella 3.3 – Normativa italiana sui connettori

3.3.2 Spine e cavi di ricarica dei veicoli Green Move

Nel seguito vengono presentati i cavi e le spine di ricarica dei veicoli utilizzati all'interno del progetto Green Move.

In Figura 3.28 è riportato il cavo di ricarica della Tazzari Zero Evo, esso è posizionato all'interno del cofano e presenta le seguenti caratteristiche:

- il cavo non è bloccato al veicolo e non può essere bloccato neanche alla presa di ricarica;
- La spina di ricarica è una Scame 3 poli che non può essere collegata alle colonnine di ricarica pubbliche poiché non è dotata di contatto pilota e comunicazione di sicurezza PWM;
- la spina è dotata di adattatore Schuko per essere collegata ad una qualsiasi presa domestica.

In sintesi questo veicolo è stato pensato per una ricarica domestica (es. all'interno del proprio box) ma non consente ricariche in luoghi pubblici (es. colonnine di ricarica). Questo tipo di ricarica ha una potenza assorbita di circa 1.7 kW e consente una ricarica completa (0-100%) in circa 8 ore. Il veicolo è venduto anche con tecnologia di ricarica 'fast' a 380 V.



Figura 3.28 – Cavo di ricarica di Tazzari Zero Evo

L'Estrima Birò è dotato del cavo di ricarica mostrato in Figura 3.29 ed è pensato, in tutte le configurazioni in cui viene venduto, per una ricarica esclusivamente domestica. Il cavo di ricarica in dotazione ha infatti una classica spina Schuko. Le caratteristiche principali sono:

- cavo completamente rimovibile sia lato veicolo che lato presa di ricarica (nessun sistema di bloccaggio durante le fasi di ricarica);
- ricarica esclusivamente domestica (Schuko).

Gli assorbimenti di potenza sono nell'ordine dei 2.1 kW per le batterie al piombo e di circa 1.2 kW per batterie al litio con tempi di ricarica (0-100%) per entrambe le tecnologie di circa 4 ore.



Figura 3.29 – Cavo di ricarica per Estrima Birò

Il Piaggio Liberty e-Mail è l'unico dei veicoli utilizzati per la sperimentazione ad essere dotato di cavo e spina di ricarica adatti per una ricarica in luogo pubblico da colonnina (il cavo di ricarica è visibile in Figura 3.30). Le principali caratteristiche sono:

- può essere ricaricato da colonnina in luogo pubblico (la spina è di tipo 3A, MODO 3 semplificato senza PWM);
- il cavo è sempre fissato lato veicolo e si blocca lato colonnina durante la fase di ricarica;
- il veicolo è dotato di adattatore Schuko per ricarica domestica;
- il cavo risulta particolarmente corto e risulta pertanto difficile raggiungere le prese delle colonnine.

Dei veicoli testati all'interno del progetto Green Move il Piaggio Liberty e-Mail è sicuramente quello più pronto per essere inserito in un sistema di vehicle sharing che, ovviamente, non può prescindere dall'averne veicoli dotati di sistemi di ricarica compatibili con quelli delle colonnine pubbliche.



Figura 3.30 – Cavo di ricarica Piaggio Liberty e-Mail

Infine, per la fase di sperimentazione, è stata utilizzata una Citroën C0 allestita con l'elettronica (Green e-Box) progettata e sviluppata nel corso del progetto. In Figura 3.31 sono visibili sia la presa lato veicolo (TIPO 1) sia il cavo di ricarica con la presa lato colonnina (TIPO 2). Le principali caratteristiche sono:

- può essere ricaricato da colonnina in luogo pubblico;
- il cavo rimane bloccato durante le fasi di ricarica;
- il veicolo è dotato di adattatore per ricarica domestica.



Figura 3.31 – Cavo di ricarica (destra) e presa lato veicolo (sinistra) Citroën CO

3.3.3 Funzionamento e caratteristiche delle colonnine di ricarica

In un sistema di vehicle sharing elettrico le stazioni devono essere dotate, oltre di parcheggi riservati ai veicoli della flotta, di colonnine di ricarica. Queste colonnine generalmente non sono di proprietà dell'organizzazione di vehicle sharing ma vengono gestite da società terze (tipicamente provider di energia elettrica). Le colonnine installate nella città di Milano sono ad esempio di proprietà di A2A ed Enel, rispettivamente nel contesto dei progetti E-MOVING ed EnelDrive. La mappa delle colonnine di ricarica per la città di Milano è visibile in Figura 3.32.

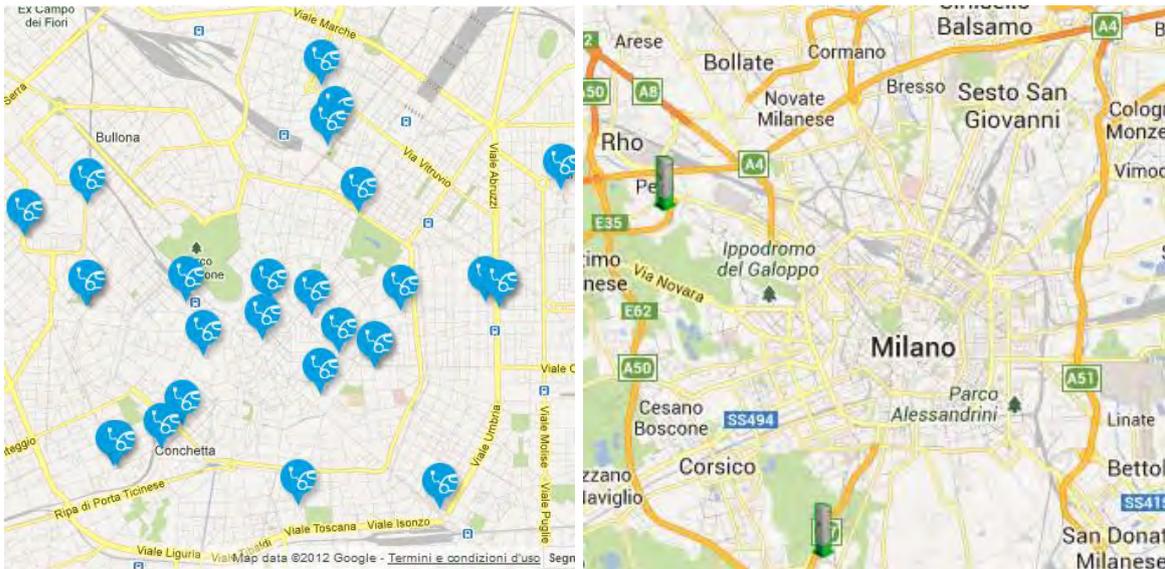


Figura 3.32 – Mappa delle colonnine di ricarica presenti a Milano: progetto E-MOVING di A2A (sinistra) e progetto EnelDrive di Enel (destra)

In base alla tipologia di network delle stazioni di ricarica si possono identificare tre differenti configurazioni:

- **STAND-ALONE:** le stazioni non sono connesse fra di loro ed ognuna di esse funziona in modo indipendente. L'amministratore del sistema può intervenire attraverso il *card-programmer* modificando i permessi di utilizzo delle colonnine di ricarica salvati all'interno delle carte degli utenti.

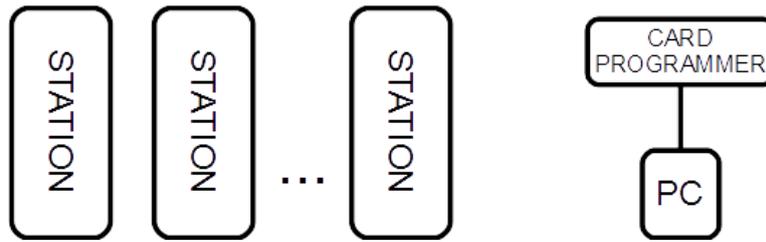


Figura 3.33 – Configurazione stand-alone per il network delle colonnine di ricarica

- NET: le stazioni sono connesse fra di loro attraverso un server accessibile solo all'amministratore del sistema. Oltre a funzionare da collettore di informazioni, il server consente di configurare le singole stazioni di ricarica. Attraverso il card-programmer l'amministratore può inoltre configurare le operazioni di carica per ciascun cliente (es. numero massimo ricariche giornaliere, potenza massima erogabile).

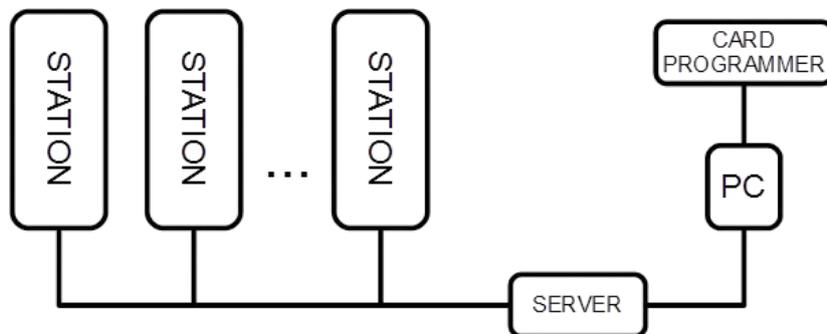


Figura 3.34 – Configurazione NET per il network delle colonnine di ricarica

- WEB: le stazioni sono connesse fra di loro attraverso un server il quale a sua volta trasferisce dati ad un server nel Web. L'amministratore del sistema accede al server web attraverso il quale è in grado di comunicare con le stazioni di ricarica e gestire gli accessi degli utenti, controllare i consumi e configurare e monitorare le stazioni. Attraverso il card-programmer l'amministratore può sempre configurare i profili di carica per ciascun cliente.

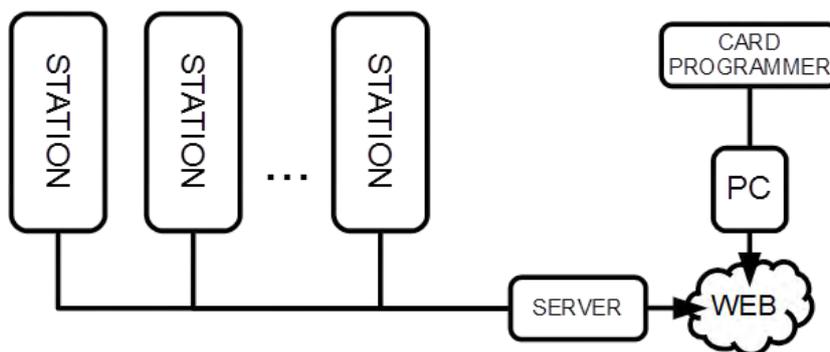


Figura 3.35 – Configurazione WEB per il network delle colonnine di ricarica

Trattandosi di apparecchi incustoditi installati all'aperto e in luoghi pubblici le colonnine di ricarica possono diventare degli oggetti particolarmente complessi in quanto:

- è necessario prevedere opportune protezioni anti-vandaliche e protezioni contro i furti di corrente;
- può essere necessario inserire un piccolo climatizzatore per mantenere l'elettronica di controllo inserita nella colonnina nel range di temperature entro cui può lavorare;

- è necessario verificare la continuità del circuito di messa a terra;
- devono essere provviste delle classiche protezioni degli impianti elettrici (interruttori differenziali e magnetotermici);
- si devono inserire nelle colonnine una o più batterie che garantiscono l'alimentazione dello sblocco della spina anche in caso di blackout.

Per poter ricaricare il proprio veicolo ad una colonnina di ricarica è necessaria una tessera che si ottiene in seguito alla registrazione al servizio. Le colonnine sono quindi dotate di lettori NFC/RFID per poter leggere le informazioni sulle schede degli utenti ed attivare le prese di ricarica. Una volta attivate le prese, l'utente può collegare il proprio veicolo. La spina di ricarica del veicolo rimane bloccata alla colonnina fino a quando l'utente non ripassa la scheda per interrompere la ricarica. Infine, il pagamento non avviene presso la colonnina ma per via telematica attraverso carta di credito.

3.3.4 La docking station installata al Politecnico

Nell'ambito del progetto Green Move è stato realizzato un parcheggio dedicato in via Ponzio 34/5 (Figura 3.36) di fronte all'ingresso del Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria (DEIB). Il parcheggio comprende una area riservata al parcheggio dei veicoli elettrici del progetto a fianco della quale è stata installata una colonnina di ricarica A2A.



Figura 3.36 – Il parcheggio Green Move realizzato di fronte al Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria (DEIB)

In Figura 3.37 è riportata la colonnina di ricarica A2A installata presso il parcheggio Green Move. Su entrambi i lati della colonnina sono ben visibili le prese di ricarica. Su ciascun lato sono presenti una presa Mennekes (TIPO 2) ed una Scame Libera a 4 poli (TIPO 3) entrambe conformi al MODO 3 di ricarica. Le prese sono bloccate da shutter quando non in utilizzo e di sistema di bloccaggio della spina durante le fasi di ricarica. Il dettaglio delle spine di ricarica è mostrato in Figura 3.38. La presa Scame consente una ricarica monofase fino ad un massimo di 16 A / 230 V ed è dotata di contatto pilota (CP) per garantire gli standard di sicurezza (TIPO 3). La presa Mennekes invece è in grado di erogare fino a 32 A / 400 V in trifase oppure tensione alternata monofase in 16 A / 230 V. Sulla parte frontale la colonnina è inoltre dotata di:

- uno schermo attraverso il quale si seleziona la presa da attivare e sul quale viene visualizzata la potenza erogata da ciascuna delle quattro prese;
- alcuni pulsanti che consentono di interagire con la colonnina (es. selezionare la presa da attivare);
- un lettore di card NFC/RFID per identificare i clienti e iniziare/interrompere la ricarica.

Per ottenere la card gli utenti si devono registrare al servizio fornendo i propri dati anagrafici, informazioni sulla carta di credito e i dati della patente in corso di validità. Oltre ad essere nominativa la

card è anche legata ad un solo veicolo quindi, teoricamente, un possessore di più di un veicolo elettrico dovrebbe avere una card per ciascuno di essi.

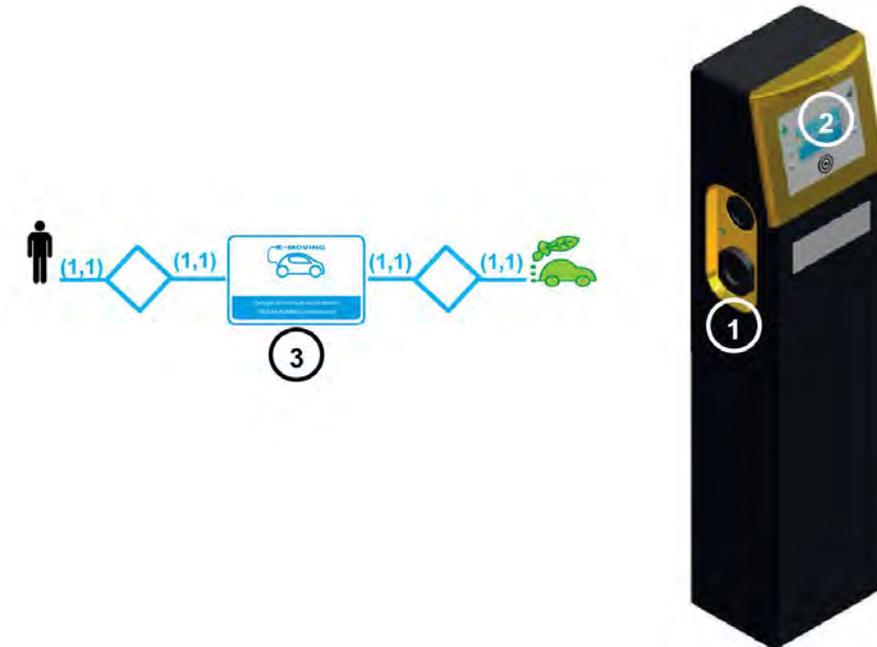


Figura 3.37 – Colonnina di ricarica A2A e scheda per l'accesso al servizio di ricarica

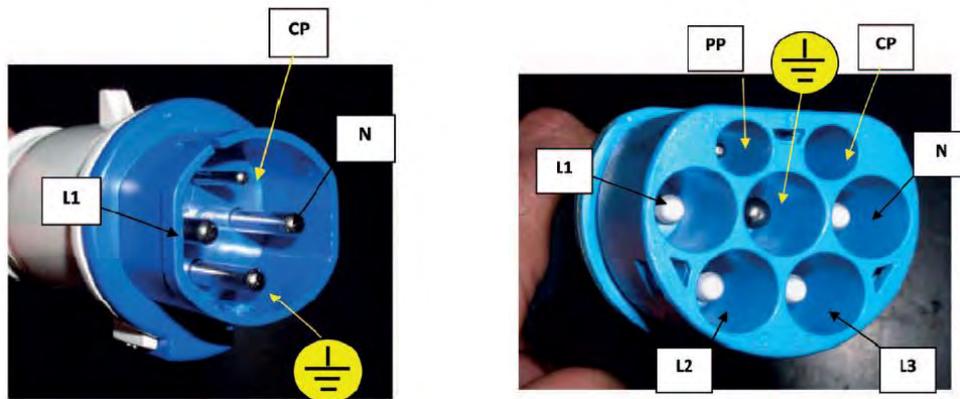


Figura 3.38 – Connettori disponibili nelle colonnine A2A

3.3.5 Gestione della ricarica lato veicolo: soluzioni di controllo della carica e scarica di batterie al litio per LEV

Per quanto riguarda la gestione della ricarica del pacco batterie lato veicolo, è stato portato avanti un approfondimento che ha avuto come oggetto lo sviluppo di soluzioni di controllo per ottimizzare gli aspetti di carica e scarica dei pacchi batterie al litio utilizzati in veicoli elettrici leggeri (LEV). Lo sviluppo di questi sistemi nasce quindi con l'intento di preservare la durata nel tempo del pacco batterie. Per ottenere ciò è stata sviluppata un'architettura che permette di unire i pregi dei supercondensatori, l'elevata densità di potenza, con il punto di forza delle batterie al litio, l'elevata densità energetica.

L'attività si è focalizzata su due problematiche:

- protezione delle batterie dai picchi d'erogazione di corrente sviluppando un'architettura che permetta di distribuire l'erogazione tra supercondensatori e batterie;
- realizzazione di un sistema che permetta di incrementare il recupero dell'energia generata in frenata, utilizzando i supercondensatori come soluzione di *storage* temporaneo dell'energia.

Il progetto ha condotto allo sviluppo di un primo prototipo focalizzato sulla protezione della singola cella. I risultati ottenuti con il primo prototipo hanno portato allo sviluppo di un secondo prototipo in grado di proteggere un maggior numero di batterie e di gestire potenze maggiori. Sono state affrontate tutte le fasi necessarie alla realizzazione del sistema: analisi del problema, identificazione della soluzione, scelta dei componenti, progettazione hardware e successivo sviluppo del firmware, prototipazione e validazioni sperimentali.

Primo prototipo

L'ottica con cui si è sviluppato tale prototipo è di verifica della fattibilità tecnica e si concentra sulla protezione della singola batteria, e non è stato quindi sviluppato per essere posto in parallelo alla serie di due o più batterie. Il sistema è stato quindi sviluppato con lo scopo di integrare la corrente erogata da una batteria al litio e di assorbire la corrente in eccesso che torna verso la batteria in caso di frenata. Per realizzare questo, serve una topologia che permetta di far fluire la corrente da un punto a tensione inferiore ad un punto a tensione superiore; i supercondensatori infatti non vanno oltre 2.7 V, che risulta essere un valore di tensione inferiore alla minima tensione di utilizzo della maggior parte delle batterie al litio, la cui tensione arriva a superare anche i 4 V. Una topologia switching è quindi necessaria per poter far fluire la corrente in direzione opposta alla naturale caduta di tensione. Inoltre la topologia deve poter essere azionata e controllata per far fluire la corrente in modo regolato e controllato dalla batteria al supercondensatore in frenata. Poiché i valori di tensioni tra cui regolare la corrente differiscono circa di un fattore due non è necessario ricorrere all'uso di trasformatori ma è sufficiente una topologia di tipo buck-boost. Dalle specifiche di funzionamento esposte è inoltre evidente che la variabile su cui deve essere retroazionato il sistema di controllo del nostro convertitore non è la tensione di uscita, come avviene classicamente nei convertitori DC-DC switching, ma la corrente. Pertanto è necessario prevedere un sensing bidirezionale sulla corrente della batteria per poter gestire sia l'erogazione di corrente che l'accumulo. In commercio non esistono dei controllori integrati che gestiscano un flusso bidirezionale di corrente e che siano progettati per gestire la retroazione come richiesto dal progetto, sarà quindi necessario realizzare tutto l'anello di controllo. Trovandosi nella condizione di dover progettare tutto l'anello di controllo, per permettere una elevata configurabilità e una maggiore libertà di progetto si è optato per lo sviluppo di un anello di controllo completamente digitale, lasciando all'elettronica analogica la sola funzione di condizionamento dei segnali analogici per il successivo campionamento. In Figura 3.39 è mostrato lo schema a blocchi dell'architettura del sistema prototipo.

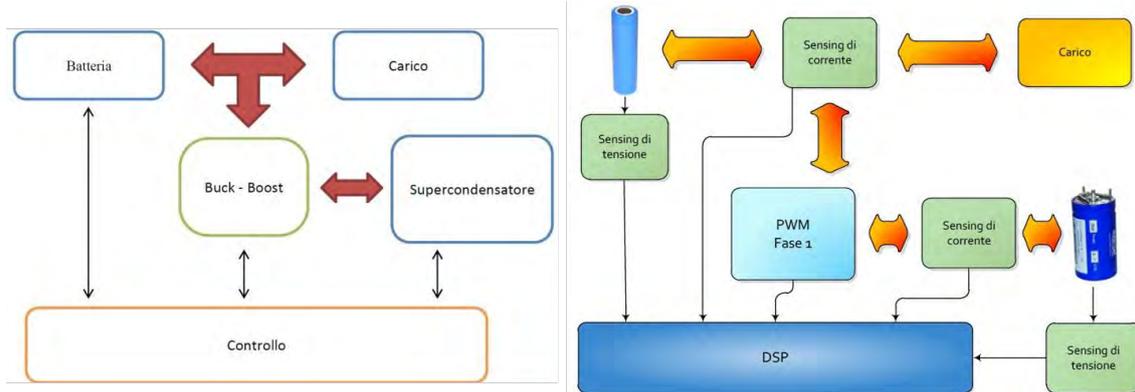


Figura 3.39 – Schema a blocchi dell’architettura del sistema prototipo.

Secondo prototipo

Date le prestazioni più che soddisfacenti del primo prototipo, si è deciso di dare corso alla progettazione volta allo sviluppo di una soluzione più evoluta, che guardasse oltre il campo della sperimentazione preoccupandosi oltre che di aumentare la potenza anche dei costi e della complessità dell’hardware. L’utilità di una soluzione per integrare la potenza erogabile è tra l’altro indipendente dalla “taglia” del veicolo. Infatti, si può ragionevolmente affermare che, per velocità non elevate, non oltre gli 80 km/h, il consumo sia proporzionale alla sola massa del veicolo. Fissando il target di autonomia, all’aumentare delle dimensioni del veicolo si deve aumentare di conseguenza anche la capienza delle batterie elettriche. Con la crescita della capienza della batteria aumenta anche il C-rating di corrente erogabile. Sembra verosimile che a questo punto che i picchi di erogazione siano meno problematici, perché crescendo la corrente massima erogabile diminuisce la differenza di corrente tra quest’ultima e i picchi di assorbimento tipici delle accelerazioni, facendo venire meno la necessità di sistemi ausiliari per integrare l’erogazione di potenza. Invece è sufficiente fissare e tenere costante il livello di performance richieste per vincolare l’accelerazione del veicolo. Tuttavia, mantenere costante l’accelerazione significa richiedere valori coppia maggiori al motore elettrico per compensare l’aumento di peso e quindi maggiori valori di corrente picco; il problema quindi resta, a prescindere dalla taglia del veicolo. Pertanto l’utilizzo di una soluzione per integrare la potenza erogabile è quindi comunque necessaria a meno di non aumentare semplicemente la capienza, in termini di Ah, del pacco batterie, ma questa scelta comporta un aumento di peso e costo.

La linea guida seguita è stata di aumentare il numero di supercondensatori, ottenendo così un incremento sia di potenza erogata sia di riserva energetica, nell’ottica di proteggere un maggior numero di batterie in parallelo. Si sono quindi definite le design rules per dimensionare il nuovo sistema tenendo presenti i parametri di potenza da erogare, energia minima di accumulo e utilizzando la topologia sviluppata col primo prototipo. Tale scelta non è semplice perché deve andare a coniugare il salto di tensione, con la frequenza di switching, e il valore di corrente massimo erogabile dal supercondensatore e sopportabile dagli induttori. In Figura 3.40 è riportato lo schema del sistema prototipo progettato per potenze elevate, la cui architettura è direttamente estensibile.

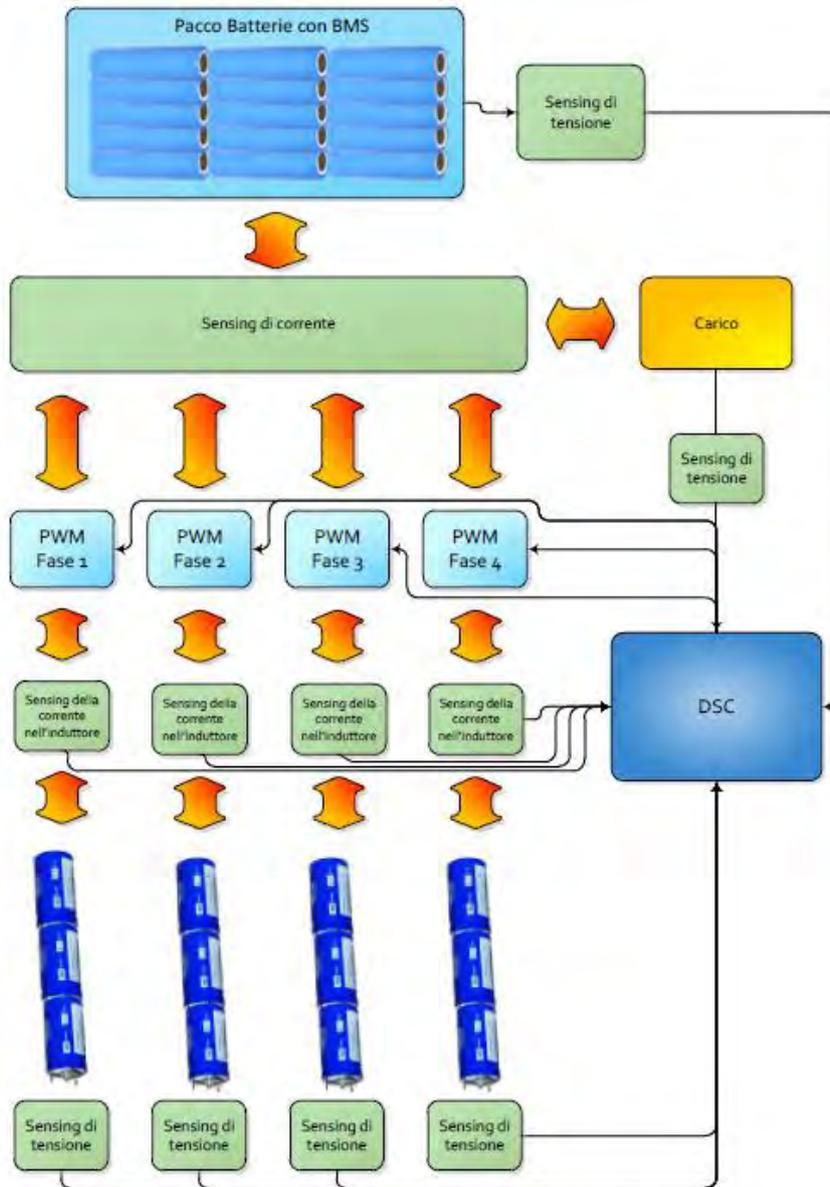


Figura 3.40 - Schema del sistema prototipo progettato per potenze elevate.

3.4 Sviluppo della rete telematica a supporto dell'infrastruttura di comunicazione (A3.4)

All'interno del sistema Green Move sono presenti diversi sottosistemi (colonnine di ricarica, veicolo, smartphone utente e centro di controllo) che devono comunicare fra di loro. Ciascun canale di comunicazione è realizzato attraverso diverse tecnologie, protocolli e infrastrutture. L'architettura e le singole tecnologie impiegate sono schematizzate in Figura 3.41.

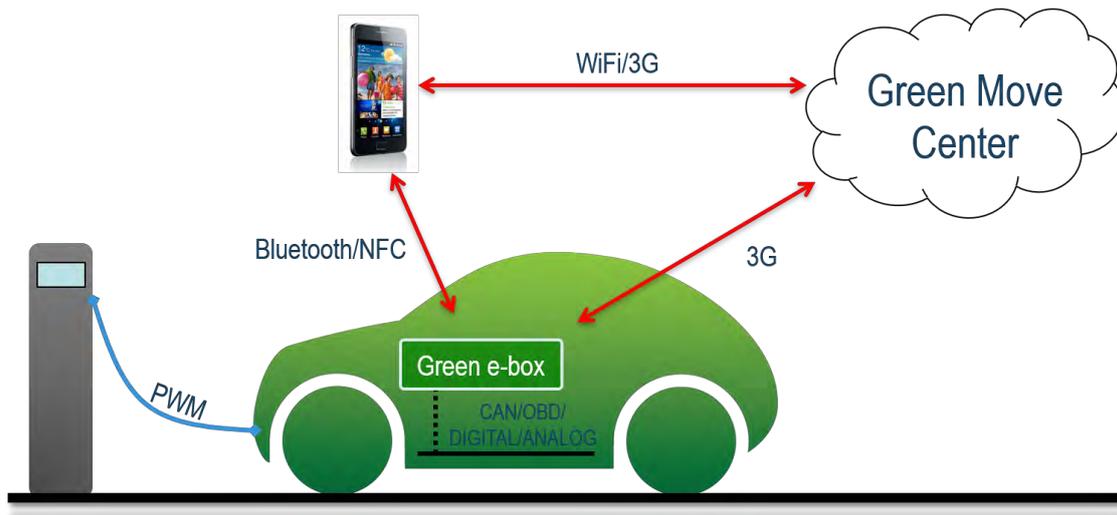


Figura 3.41 – Infrastruttura di telecomunicazione

3.4.1 Il canale fra SAL ed HAL

Il layer Android (SAL) e il layer embedded (HAL) comunicano fra di loro attraverso lo standard di comunicazione seriale USB sopra il quale deve essere implementato il protocollo Android Open Accessory (AOA, <http://source.android.com/accessories/protocol.html>). Su questo canale, per l'invio dei dati e dei comandi, è stato sviluppato ed implementato un semplice protocollo testuale. La sintassi del protocollo è definita come segue:

```
#MESSAGEID, DATA, DATA, ..., DATA, \n
```

Corrisponde al carattere Line Feed (LF).

Ciascuno dei campi DATA è formato da una sequenza di quattro cifre.

I messaggi al momento supportati sono identificati dai seguenti MESSAGEID:

- **BAT**: contiene le informazioni riguardanti il pacco batterie (State Of Charge (SOC), corrente istantanea, in carica/non in carica e tensione);
- **VEL**: contiene la velocità e la direzione di avanzamento;
- **ERR**: contiene i messaggi di errori relativi al pacco batterie e al BMS;
- **DOO**: contiene lo stato delle portiere (aperte/chiusure), la modalità di guida selezionata (eco, rain, normal o race) e se il riscaldamento è acceso o spento;
- **c**: contiene i comandi da inviare al veicolo.

3.4.2 Il canale fra Green e-Box e veicolo

Il GEB è direttamente connesso tramite connettori e cablaggi al veicolo. Le connessioni si dividono in tre macro categorie che identificano tre distinte funzionalità:

- 12 V di alimentazione: il GEB deve essere mantenuto costantemente alimentata per poter monitorare il veicolo.
- Invio comandi al veicolo: il GEB è in grado di inviare comandi al veicolo quali: apertura/chiusura portiere, abilitazione/disabilitazione alla guida e visualizzazione di messaggi informativi sul cruscotto.
- Ricezione dati del veicolo: questi dati sono, ad esempio, la velocità di avanzamento, lo stato di carica del pacco batterie, la potenza istantanea, ecc.

Esistono infine una serie di dati che sono acquisiti dal veicolo senza avere però collegamenti diretti verso quest'ultimo: i dati di geolocalizzazione (tramite antenna GPS) e le accelerazioni lungo i tre assi (tramite accelerometri).

Essendo i veicoli molto eterogenei tra di loro, anche le modalità attraverso le quali vengono acquisiti i segnali (o inviati i comandi) risultano molto eterogenee fra di loro, sia per quanto riguarda le connessioni sia per quanto concerne i protocolli di trasmissione. Nello specifico si sono incontrate tre diverse situazioni:

- CAN-bus (Controller Area network): è uno standard seriale utilizzato principalmente in ambiente automotive di tipo multicast. Viene generalmente utilizzato per connettere fra di loro diverse centraline elettroniche (ECU) presenti sullo stesso veicolo. Il CAN-bus è in grado di funzionare senza problemi anche in ambienti fortemente disturbati dalla presenza di onde elettromagnetiche. I dati vengono inviati attraverso *frame* che, in prima approssimazione, possono essere visti come composti da un campo ID (che identifica il tipo di messaggio) e da una parte dati. Dei veicoli utilizzati nel progetto il Piaggio Liberty e-Mail è l'unico dotato di CAN-bus.
- OBD (On-Board Diagnostics): si tratta di un sistema di autodiagnosi del veicolo ed è generalmente utilizzato dai meccanici per individuare guasti/errori. Su OBD girano anche informazioni riguardanti velocità di avanzamento, consumi, stato di carica del pacco batterie, ecc. Questo tipo di interfaccia ha il grosso vantaggio di avere un connettore standardizzato, visibile in Figura 3.42. I dati sono inviati attraverso CAN-bus di cui i pin 6 e 14 del connettore formano il doppio. Dei veicoli utilizzati nel progetto solo la Citroën C0 è dotata di interfaccia OBD.

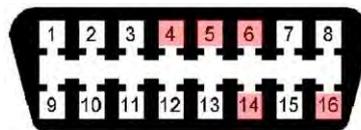


Figura 3.42 – Connettore OBD. I pin utilizzati sono: 6 e 14 per il CAN-bus, 16 per i 12 V, 4 e 5 sono rispettivamente massa di telaio e dell'elettronica

- Acquisizione diretta da singoli fili del veicolo che trasportano segnali in formato *analogico e/o digitale*. Tazzari Zero Evo ed Estrima Birò hanno parte dei segnali in formato digitale e parte in formato analogico.

Delle tre tipologie illustrate la più standardizzata è sicuramente l'interfaccia OBD seguita dal CAN-bus. Rispetto all'ultima tipologia di interfacciamento con il veicolo queste consentono inoltre di ridurre il numero di connessioni in quanto con un semplice connettore (OBD) oppure una coppia di fili (CAN-bus) si possono acquisire tutti i dati necessari. Al contrario, nel caso di singoli segnali analogici e/o digitali, ogni dato si trova su fili diversi e le fasi di connessione, cablaggio ed installazione diventano particolarmente complesse.

Indipendentemente dalla modalità di connessione rimane comunque un problema: quello dell'interpretazione dei segnali/messaggi. Ogni veicolo infatti, anche a parità di interfaccia, ha differenti

codifiche per le stesse informazioni. La codifica dei dati non è generalmente di pubblico dominio ed è necessario dialogare con i costruttori per conoscere come interpretare i dati acquisiti. Nel contesto del progetto Green Move si è infatti riusciti a superare questo scoglio grazie alla collaborazione dei costruttori dei singoli veicoli. Al momento, pertanto, lo sviluppo di elettroniche per sistemi di vehicle sharing non può prescindere da una stretta collaborazione con i costruttori delle auto utilizzate nella flotta (si vedano anche le linee guida in 0).

Di seguito vengono riportati nel dettaglio i segnali e i comandi disponibili per ciascun veicolo coinvolto nel progetto (Figura 3.43, Figura 3.44, Figura 3.45 e Figura 3.46).

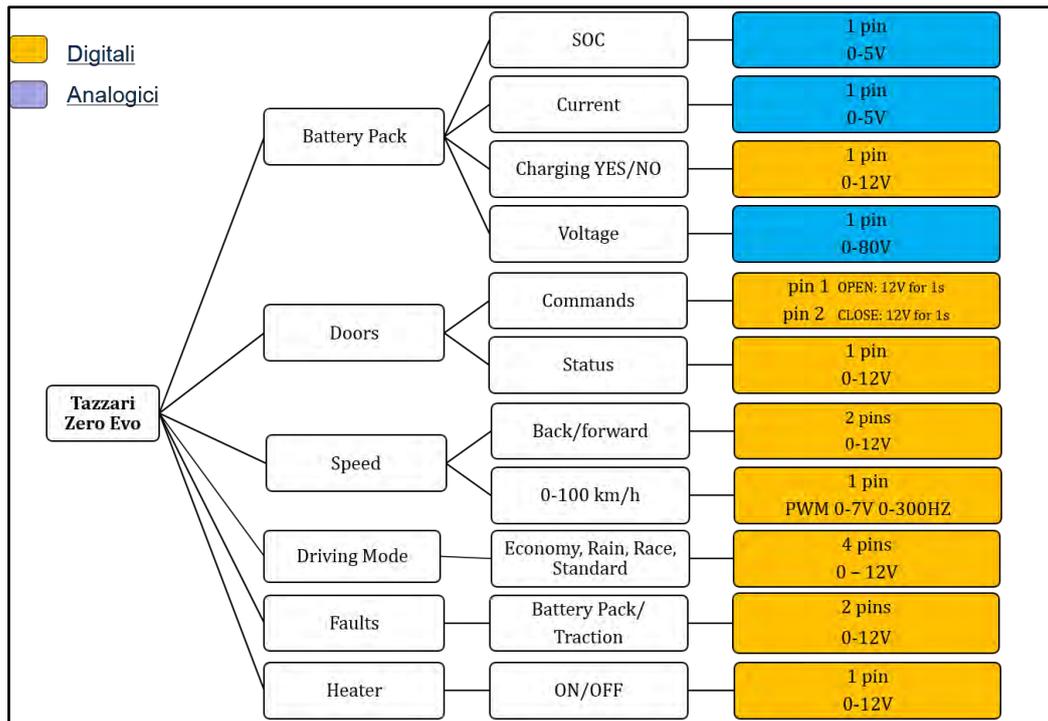


Figura 3.43 – Segnali e comandi della Tazzari Zero Evo

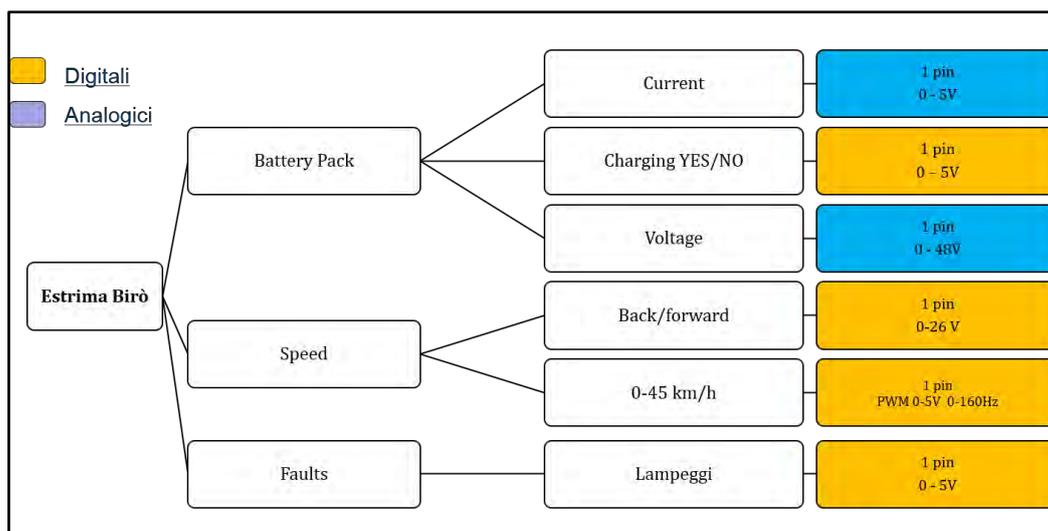


Figura 3.44 – Segnali e comandi della Estrima Birò

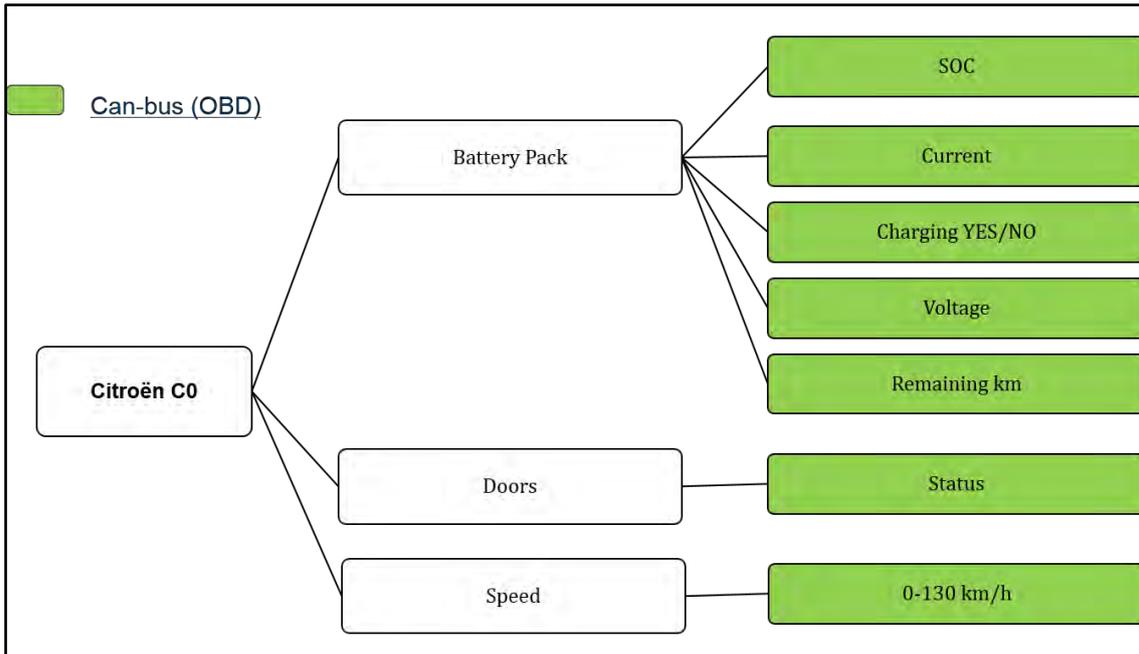


Figura 3.45 – Segnali e comandi della Citroën C0

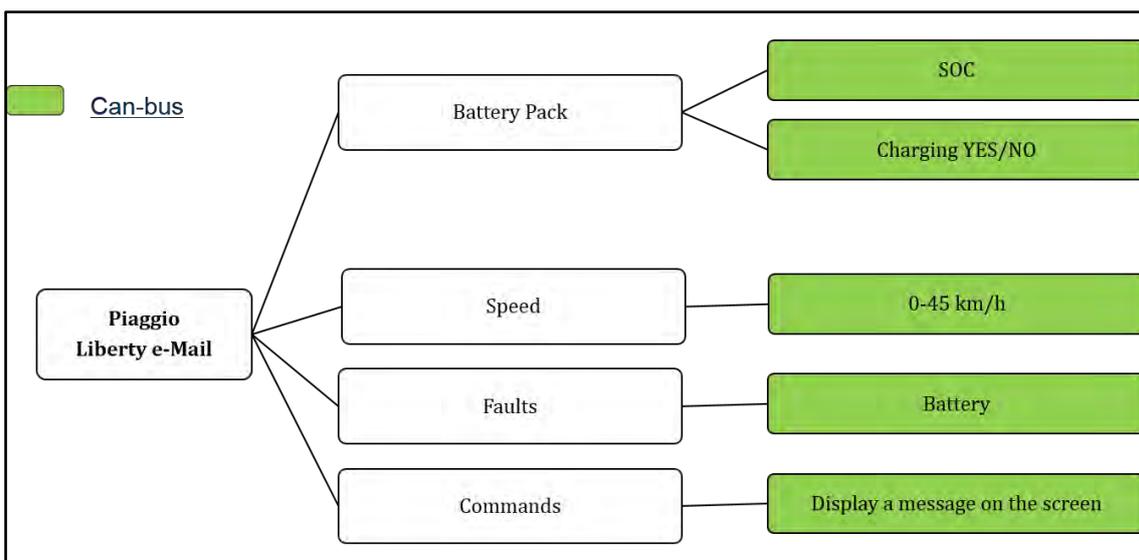


Figura 3.46 – Segnali e comandi del Piaggio Liberty e-Mail

3.4.3 Il canale fra Green e-Box e lettore NFC

Il lettore RFID/NFC (ACR120 della ACS Ltd.) è connesso direttamente al GEB attraverso seriale RS-232 a 9600 bit/s in configurazione 8-N-1. Il modulo è in grado di comunicare sia attraverso un protocollo binario sia attraverso un protocollo testuale (ASCII).

Per comodità implementativa si è scelto di utilizzare il protocollo testuale. Periodicamente (ogni 2 sec) viene inviato un comando di *SELECT* per verificare se è stata appoggiata una tessera sul lettore, in caso affermativo viene restituito l'*ID* della tessera ed è possibile leggerne il contenuto. Per leggere il contenuto è necessario prima autenticarsi specificando al comando *LOG* il settore della card da leggere, il tipo di chiave e la chiave. Quindi, con il comando di *READ* è possibile leggere il blocco specificato e ritirare il ticket della prenotazione.

3.4.4 Il canale fra Green e-Box e smartphone dell'utente

La comunicazione fra lo smartphone dell'utente e il GEB avviene attraverso due distinte tecnologie:

- Bluetooth: è uno standard di comunicazione wireless che consente comunicazioni nel raggio di qualche decina di metri. La quasi totalità dei cellulari è dotata di questa tecnologia e pertanto è stata scelta come tecnologia base per collegare smartphone e GEB.
- NFC: fornisce comunicazione wireless a corto raggio (10 cm). Si tratta di una tecnologia ancora non molto diffusa ed al momento si trova solo su alcuni smartphone di fascia medio-alta.

La tecnologia Bluetooth viene utilizzata per inviare al veicolo il ticket di prenotazione del veicolo ed inviare i comandi di apertura/chiusura portiere, presa/rilascio del veicolo e abilitazione/disabilitazione del veicolo alla guida. Durante le fasi di guida, inoltre, possono venire inviate alcune informazioni aggiuntive relative al veicolo, alla tariffazione e allo stile di guida da visualizzare sullo schermo dello smartphone stesso.

La tecnologia NFC viene invece utilizzata in sostituzione dell'invio del ticket di prenotazione tramite Bluetooth. I veicoli della flotta sono infatti dotati di lettore NFC dietro al parabrezza; per attivare la propria prenotazione è quindi sufficiente appoggiare il proprio smartphone dotato di tecnologia NFC sul parabrezza e immediatamente il ticket della prenotazione viene letto ed inviato al GEB.

3.4.5 Il canale fra smartphone dell'utente e Green Move Center

Il canale di comunicazione utilizzato dalla applicazione utente (app Green Move) utilizza tecnologie standard del web e in particolar modo il protocollo http; tale scelta ha consentito di sviluppare un unico back-end in grado di soddisfare le richieste da parte dell'applicazione mobile con un consumo molto limitato di banda e risorse hardware. Tale protocollo può essere fruito sia attraverso connessioni 3G, sia attraverso il canale WiFi. La maggioranza dei terminali mobili sono attualmente dotati di una connessione mobile a costi molto contenuti, e si sta andando verso una situazione in cui ciò è vero per la quasi totalità dei terminali. Sebbene la velocità della rete non sia generalmente molto elevata, la semplicità del protocollo utilizzato rende assolutamente agevole lo scambio di informazioni.

Per le caratteristiche intrinseche dei recenti smartphone il protocollo può anche essere fruito grazie al canale WiFi; ciò consente di effettuare tutte le operazioni di interazione con il GMC anche attraverso il WiFi, senza gravare quindi sul contratto di comunicazione dati dell'utente. Tale soluzione è molto utile anche in contesti urbani, dove sono sempre più diffuse aree WiFi libere e gratuite.

3.4.6 Il canale fra Green e-Box e Green Move Center

Il GEB comunica con il GMC per la gestione della prenotazione e per l'invio dei dati prelevati dal veicolo.

Per quel che riguarda la comunicazione verso il GMC finalizzata alla gestione della prenotazione, il protocollo di comunicazione adottato è basato su un servizio RESTful, per definizione costruito sul protocollo HTTP. Al fine di garantire il minor consumo possibile di banda e la massima operabilità si è deciso di adoperare una codifica JSON per i messaggi che transitano nella rete. Tale codifica consente un ottimo compromesso tra interoperabilità del messaggio e ridotte dimensioni del messaggio ed è largamente utilizzata tanto in ambito opensource che proprietario.

La comunicazione tra GEB e GMC per la gestione del noleggio prevede l'invio essenzialmente dei seguenti dati:

- configurazione del veicolo: l'invio della chiave pubblica del veicolo per effettuare la criptazione dei messaggi;
- elenco delle prenotazioni che coinvolgono il GEB.

La comunicazione verso il GMC attraverso il canale T-Rex è più ricca, e prevede diverse tipologie di messaggi:

- messaggi di localizzazione;
- messaggi di trasmissione dati telemetrici;

- messaggi di gestione del noleggio.

I messaggi della prima categoria comunicano la posizione del veicolo con una frequenza molto elevata, circa una ogni 2 secondi, in modo che sia sempre possibile conoscere con un ottimo grado di precisione dove si trova il veicolo al fine anche di geolocalizzare tutte le informazioni provenienti da esso. La posizione è determinata mediante la connessione dati e mediante l'apparato GPS. Questa informazione è anche assai utile per determinare se il veicolo viene spostato successivamente alla fine di una prenotazione, o per determinare dei comportamenti errati da parte dell'utilizzatore.

I messaggi di telemetria catturano ed uniformano i messaggi raccolti dall'elettronica dei veicoli componenti la flotta Green Move e rendono il sistema consapevole di aspetti funzionali sul comportamento del veicolo, quali per esempio velocità, livello di carica della batteria, stato della batteria (in carica/in uso), come descritto anche in sezione 3.2.

Vengono anche veicolate informazioni più di dettaglio che consentono un'analisi più fini sul comportamento del veicolo in normali condizioni: tensione e corrente della batteria, eventuali messaggi di errore di sistema, ecc. La raccolta di tali dati permette di mantenere costantemente monitorato il comportamento del veicolo e di fare a posteriori analisi di diagnostica ed elaborazioni di modelli di consumo, manutenzione ed utilizzo. Sempre grazie a questi set di dati e grazie al sistema di complex event processing T-Rex è possibile realizzare controlli e verifiche realtime sui veicoli in circolazione.

L'ultimo set di messaggi viene inviato per comunicare al GEB la condizione e lo stato di avanzamento del noleggio. Esempi di tali informazioni sono: tentativi effettuati di presa in carico del veicolo, eventi di presa in carico riuscita, eventi di rilascio temporaneo del veicolo, eventi di rilascio definitivo del veicolo. Ciascuno di questi messaggi viene geolocalizzato ed inviato al server riportando l'identificativo del veicolo ed, ove possibile, l'identificativo del utente che sta effettuando l'operazione.

3.4.7 Il canale fra veicolo e colonnina

Come introdotto nel paragrafo 3.3.1, colonnina e veicolo comunicano fra di loro durante le fasi di ricarica. Su questo canale di comunicazione il sistema di vehicle sharing non ha alcun tipo di controllo in quanto si tratta di standard chiusi. Questo tipo di comunicazione serve a garantire adeguati standard di sicurezza alla fase di ricarica, nello specifico ad identificare scollegamenti del cavo di ricarica lato colonnina o lato veicolo ed eventuali tagli del cavo. In tutte queste situazioni deve essere tolta immediatamente la tensione sui tutti i componenti che possono venire a contatto con persone. Questo tipo di comunicazione avviene tramite PWM ed è obbligatoria per il MODO 3.

Esiste infine un ultimo tipo di comunicazione, molto semplice, che viene utilizzata dalla colonnina di ricarica per identificare la corrente che può essere erogata in base al veicolo collegato. Sui connettori è inserito un resistore, tra un contatto ausiliario e il conduttore di protezione (resistore indicatore di potenza), il cui valore identifica la portata del cavo e permette alla stazione di ricarica e al veicolo di non generare sovraccarichi. Questa funzione è denominata *ResistorCoding*.

3.5 Sviluppo delle logiche dei servizi (A3.5)

In questa sezione vengono descritte le caratteristiche desiderate dei servizi principali offerti dal sistema Green Move.

Più precisamente, viene prima affrontato il meccanismo della prenotazione dei veicoli, che naturalmente è uno dei servizi fondamentali di un sistema di vehicle sharing; quindi vengono descritte le caratteristiche desiderate dei meccanismi di monitoraggio dei veicoli, una funzione cruciale in un sistema altamente automatizzato quale è Green Move; in seguito sono analizzati i requisiti di un meccanismo che permette di offrire agli utenti servizi personalizzati, i quali quindi possono cambiare da utente a utente e richiedono la possibilità di gestire dinamicamente, e con la granularità del singolo veicolo, la configurazione dei servizi offerti; infine, vengono descritte le caratteristiche desiderate di un servizio di bilanciamento della flotta di veicoli.

3.5.1 Specifiche funzionali del servizio di prenotazione

Il servizio di prenotazione è ovviamente il servizio principale che il sistema mette a disposizione degli utenti; ciò richiede quindi di porre particolare attenzione nella progettazione di questo servizio, il quale deve essere in grado di gestire in modo ottimale l'utilizzo della flotta dei veicoli disponibili a fronte delle richieste dei vari utenti.

In particolare il sistema deve riuscire a gestire in modo flessibile e totalmente trasparente agli utenti l'assegnazione dell'opportuno veicolo (scooter, autoveicolo, ...) richiesto in una data prenotazione.

Tra le varie soluzioni analizzate, la scelta migliore è ritenuta la seguente.

1. L'utente inserisce una richiesta di prenotazione.
2. Il sistema verifica in tempo reale la possibilità che la richiesta possa venire soddisfatta (cioè se in base alle prenotazioni già accettate, almeno un veicolo sarà libero per soddisfare la nuova richiesta) e, se è soddisfacibile, comunica all'utente immediatamente che la richiesta è stata inserita nel sistema, altrimenti comunica all'utente l'impossibilità di soddisfare la richiesta. **(Fase 1)**
3. Una volta inserita nel sistema, nel giro di pochi minuti il sistema valuta tutti i possibili casi e conferma (tramite, per esempio, un e-mail) la possibilità di soddisfare effettivamente la richiesta; altrimenti comunica che la richiesta non può essere soddisfatta e la elimina. Il sistema non comunica ancora l'identificativo del veicolo assegnato. **(Fase 2)**
4. A ridosso del momento dell'inizio della prenotazione (es.: un'ora prima), il sistema esegue l'ultimo controllo e, salvo problemi (mancata riconsegna del mezzo, batteria scarica, ...), conferma la prenotazione e comunica all'utente la targa del veicolo assegnato. In caso di problemi, comunica la cosa all'utente e cancella la prenotazione. **(Fase 3)**

La scelta di utilizzare una prenotazione con assegnamento in più passi serve a garantire la flessibilità del sistema e a rendere la procedura più chiara e "pulita" agli occhi dell'utente.

Ovviamente, al momento della sottoscrizione del contratto, i tempi richiesti dalle varie fasi andranno specificati, al fine di rendere il più possibile chiaro il metodo con cui utente e servizio si rapportano.

3.5.2 Specifiche funzionali del servizio di monitoraggio del sistema

Gestire un insieme di veicoli richiede una attività di monitoraggio costante dello stato del parco veicoli e delle loro condizioni, individuando e reagendo prontamente a tutte le possibili situazioni critiche in cui tale parco veicoli potrebbe incorrere. Come anticipato nelle sezioni 3.1.3 e 3.1.4, tale attività di monitoraggio si basa sulla capacità, da parte di tutti i componenti principali del sistema Green Move, di inviare messaggi al Green Move Center, notificando al sistema i principali eventi che si vadano via verificando. Ad esempio, il GEB riporta periodicamente informazioni sullo stato della vettura (posizione, velocità, stato delle portiere, stato di carica, etc.), mentre il sottosistema di prenotazione notifica al GEB stesso gli avvenuti eventi di prenotazione, presa in carico, rilascio, etc. A fronte di tali notifiche di eventi, il GMC sfrutta l'infrastruttura di Complex Event Processing T-Rex per elaborare le informazioni risultanti,

reagendo in maniera opportuna, ovvero generando gli opportuni eventi complessi (si veda la sezione 3.1.2).

In linea di principio, l'insieme di attività di monitoraggio che possono essere realizzate secondo tale schema è molto vasto e dipende solo dall'insieme di informazioni acquisite e inviate a T-Rex dai componenti periferici (GEB e app sul cellulare degli utenti in primis, ma anche notifiche di eventi provenienti da sorgenti esterne, ad esempio informazioni sullo stato del traffico) e dall'espressività del linguaggio di regole di T-Rex (TESLA) e di conseguenza dal numero e dalla complessità delle regole che vengono definite.

All'interno del progetto Green Move ci si è concentrati su alcuni eventi principali che potessero, per le loro caratteristiche, rappresentare esempi tipici per un sistema di vehicle sharing. In particolare, si sono costruite regole che permettono di rilevare eventuali furti di veicoli, di valutare se un veicolo viene utilizzato in condizioni di pericolo (es. mettendosi in movimento prima di aver chiuso le portiere), di rilevare il mancato rilascio di un veicolo al termine del periodo di prenotazione e infine di calcolare lo stile di guida del conducente di un veicolo, rilevando eventuali situazioni anomale. Una analisi più precisa di come tali situazioni vengano rilevate dal GMC (da T-Rex) ed in particolare la descrizione delle regole TESLA che permettono di identificare le suddette condizioni a partire dagli eventi primitivi rilevati è reperibile nella Sezione 3.6.2. Qui ci limiteremo ad osservare come l'uso di un'infrastruttura di Complex Event Processing renda particolarmente semplice la realizzazione di simili servizi di monitoraggio, permettendo altresì di ampliarne lo spettro e le funzionalità anche a sistema realizzato, aggiungendo dinamicamente nuove regole senza alcuna necessità di interrompere il funzionamento del sistema complessivo.

L'alternativa a T-Rex tenuta in considerazione è il sistema PerLa (presentato nella sezione 3.1.2) il quale permette a sua volta di gestire il monitoraggio della flotta dei veicoli; rispetto a T-Rex, PerLa consente di poter, laddove necessario, attingere a dati esterni al sistema (es.: situazione meteo, dati non provenienti dalla flotta sul traffico cittadino, ...). Questa funzionalità non è ancora totalmente implementata nel sistema PerLa (è possibile esprimere la query ma questa non può essere eseguita), cosa che alla fine ha fatto propendere per la scelta di T-Rex per il monitoraggio della flotta.

Anche PerLa necessita sostanzialmente di tre elementi: un server centrale, un componente distribuito sui GEB e un canale di distribuito tra questi due componenti. I vari componenti installati sui GEB inviano i dati al server centrale il quale li processa e li inserisce in una base di dati tramite la quale è possibile in seguito eseguire ulteriori operazioni sui dati al fine di facilitarne le analisi da parte dei gestori del sistema o per fornire dati "più leggibili" e/o di maggiore qualità all'utente del sistema.

3.5.3 Specifiche funzionali dei servizi di supporto all'utente

I servizi che vengono offerti all'utente possono cambiare durante l'esecuzione del sistema sia in base al profilo dell'utente (utenti diversi possono avere esigenze diverse, per cui i servizi che è più opportuno offrire ad uno potrebbero essere diversi da quelli mostrati ad un altro), che in base al variare delle relazioni (commerciali e non) tra il gestore Green Move ed i suoi partner esterni.

Per questo motivo è fondamentale che il sistema offra la possibilità di modificare le funzioni realizzate dai GEB senza dovere per questo fermare la flotta ed intervenire fisicamente su tutti i veicoli. Più precisamente, deve essere possibile modificare i servizi offerti dai GEB da remoto, senza necessariamente accedere fisicamente a questi.

Inoltre, il caricamento e la modifica dei servizi offerti dai GEB deve poter essere fatto in modo che la richiesta parta e venga gestita dal back-end di gestione della flotta Green Move, e non dai singoli GEB. In altre parole, il meccanismo di caricamento di nuove funzionalità sui GEB (e, dualmente, la rimozione di funzionalità non più necessarie) deve essere di tipo "push" verso i GEB.

Naturalmente, la scelta se caricare (o rimuovere) una funzione su un GEB dipende non solo dal profilo dell'utente che ha in quel momento in uso il veicolo, ma anche dalla tipologia di veicolo stesso (una funzione che è utile quando caricata su un'automobile, per esempio la notifica di avvisi di natura commerciale, potrebbe non esserlo su uno scooter). Per questo motivo è necessario che, quando si

decide di aggiungere/modificare le funzioni offerte dai GEB, sia possibile selezionare i GEB in base alle caratteristiche dei veicoli su cui sono montati ed ai profili degli utenti che in quel momento stanno utilizzando i veicoli.

L'opportunità di aggiungere/modificare/rimuovere i servizi offerti dai GEB è tanto più rilevante quanto più grande è il numero dei servizi che è possibile gestire in modo dinamico. Perché questo numero sia elevato, è importante che lo sviluppo dei servizi, sia esso fatto da programmatori affiliati a Green Move o da programmatori esterni, possa essere fatto in modo semplice, con astrazioni di alto livello che nascondano i dettagli implementativi dei GEB. Per questo, Green Move deve offrire delle Application Programming Interfaces (API) opportunamente semplici, che permettano ai programmatori dei servizi Green Move di accedere facilmente (ma in modo controllato) alle informazioni presenti sui GEB.

3.5.4 Policy di bilanciamento della flotta di veicoli

Uno dei principali problemi dei sistemi di vehicle sharing che offrono la possibilità di utilizzo dei veicoli one-way (come ad esempio Green Move) è quello del bilanciamento del numero di veicoli nelle stazioni. Stazioni sbilanciate causano infatti un aumento del numero delle prenotazioni che non possono essere soddisfatte. Una stazione priva di veicoli, ad esempio, non può ricevere alcuna prenotazione e allo stesso modo una stazione piena non può funzionare come stazione di rilascio. Ciò ha due immediate conseguenze:

- la qualità del servizio risulta molto ridotta
- si devono spendere soldi e tempo per ribilanciare le stazioni.

Le principali tecniche sino ad ora adottate per mantenere il numero di veicoli bilanciato nelle diverse stazioni sono le seguenti:

- impedire i viaggi one-way
- tariffare maggiormente i viaggi one-way
- utilizzare del personale incaricato di spostare i veicoli fra le stazioni.

In questo contesto è stata sviluppata una tecnica innovativa per preservare il bilanciamento della flotta di veicoli denominato: *Feedback Dynamic Pricing (FDP)*. Questa nuova tecnica si basa sulla semplice assunzione che gli utenti siano sensibili a variazioni nella tariffazione. Pertanto i prezzi dei singoli viaggi vengono modificati *real-time* in base allo stato attuale di bilanciamento della rete. Durante la guida, all'utente vengono proposte differenti alternative (oltre a quella dichiarata in fase di prenotazione) per dove consegnare il veicolo: se la consegna avviene in una stazione vuota riceverà uno sconto altrimenti subirà un rincaro. In questo modo è possibile mantenere bilanciata la rete riducendo fortemente (o eliminando completamente) il personale dedicato a questa mansione: il bilanciamento viene gestito direttamente dagli utenti stessi.

Allo stesso tempo il sistema è in grado di garantire che:

- la tariffazione media dei viaggi rimanga uguale o inferiore a quella priva di FDP;
- la distanza aggiuntiva dalla stazione di consegna scelta in fase di prenotazione dagli utenti sia contenuta in qualche centinaio di metri.

Inoltre, i requisiti di carattere tecnologico sono molto contenuti. Si richiede infatti solamente:

- conoscenza completa del numero di veicoli in ciascuna stazione;
- i veicoli devono avere un sistema di comunicazione con il centro di controllo (per comunicare posizione e variazioni nella tariffazione);
- i veicoli devono essere dotati di antenna GPS per poter essere sempre geolocalizzati.

Tutti i precedenti requisiti sono tipicamente sempre soddisfatti da qualsiasi moderno sistema di vehicle sharing (Green Move soddisfa completamente queste richieste).

Di seguito, in Figura 3.47, è riportato uno schema esplicativo dell'architettura di controllo sviluppata. Con tratto continuo è rappresentato il sistema di vehicle sharing, mentre con tratto tratteggiato è rappresentata la parte aggiuntiva di controllo che è stata progettata. Nel dettaglio:

- $\bar{x}(t)$ è un vettore che contiene il numero di veicoli ottimo per ciascuna stazione all'istante t ;
- $c(t)$ è un vettore che contiene la tariffazione applicata ad ogni utente per ciascuna delle stazioni in cui può riconsegnare il veicolo;
- $x(t)$ è lo stato della rete, ovvero un vettore che contiene il numero di veicoli presente all'istante t in ciascuna stazione;
- $e(t)$ è un vettore che contiene l'errore di bilanciamento per ciascuna stazione, ottenuto come differenza fra $\bar{x}(t)$ e $x(t)$;
- R è il controllore, ovvero l'elemento 'intelligente' del sistema che, in base all'errore di bilanciamento, decide le tariffe da applicare.

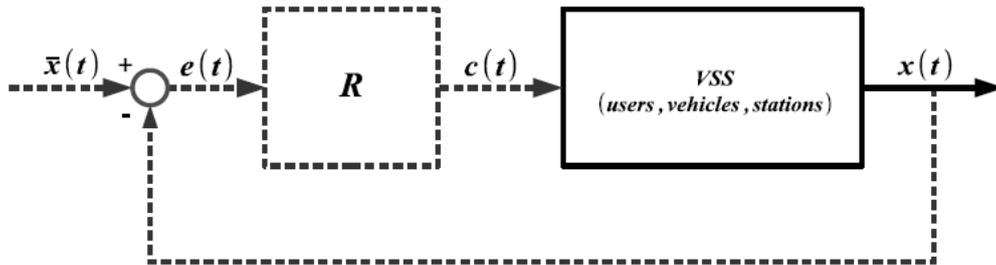


Figura 3.47 – Schema dell'architettura di controllo

3.6 Realizzazione dei servizi Green Move (A3.6)

Dopo aver analizzato, nella sezione precedente, le caratteristiche desiderate dei servizi e dei meccanismi alla base del sistema Green Move, questa sezione descrive come tali servizi sono stati realizzati nel prototipo di sistema sviluppato.

3.6.1 Il servizio di prenotazione dei veicoli

Come riportato nella sezione 3.5.1, il servizio di prenotazione è strutturato in tre fasi principali, ognuna delle quali termina con una comunicazione all'utente.

La struttura in tre fasi consente al sistema di mantenere una grande flessibilità nelle procedure di assegnamento, consentendo al sistema di fornire risposte accurate agli utenti e minimizzare il disagio di questi dovuto a eventuali inconvenienti legati alla repentina indisponibilità di un veicolo.

Le tre fasi, citate nella sezione 3.5.1 e analizzate qui in maggiore dettaglio, sono le seguenti.

- 1. Pre-assegnamento:** Il sistema di prenotazione web, al termine della prenotazione, dà all'utente un primo riscontro della possibilità o meno di soddisfare la prenotazione; nel caso sia insoddisfacibile, il problema viene immediatamente segnalato all'utente e la prenotazione viene rimossa dal sistema.
- 2. Assegnamento:** Se la prenotazione viene dichiarata soddisfacibile al passo 1, questa viene inserita nel sistema. Entro 15 minuti dal suo inserimento scatta la seconda fase, in cui il sistema effettua calcoli più precisi rispetto alla fase 1 (considerando vincoli che, per motivi di rapidità di risposta, non vengono considerati durante la prima fase), che può terminare con due differenti esiti, entrambi riscontrati via mail all'utente:
 - il sistema può soddisfare la richiesta, quindi vi assegna un veicolo e comunica all'utente l'avvenuto assegnamento, senza comunicare ancora però l'identificativo del veicolo;
 - il sistema non può soddisfare la richiesta, quindi segnala il problema all'utente e la prenotazione viene rimossa dal sistema.
- 3. Conferma:** All'incirca un'ora prima dell'effettivo inizio della prenotazione il sistema svolge un'ultima verifica e conferma gli assegnamenti effettuati, che da questo momento non possono più essere modificati e comunica l'identificativo del veicolo all'utente. Qualora si siano verificati inconvenienti (la mancata riconsegna di un veicolo o la sua riconsegna a troppa poca distanza dall'inizio della prenotazione con la batteria scarica) il sistema cerca di assegnare ove possibile un altro veicolo, oppure comunica all'utente la sopraggiunta impossibilità di soddisfare la richiesta.

Tutte le fasi dell'assegnamento sono gestite dal GMC, sul quale le procedure sono effettivamente implementate ed eseguite, alcune su richiesta dell'utente, altre periodicamente.

La prima fase della gestione della prenotazione è implementata direttamente nel framework *Ruby on Rails* che gestisce la parte web del sistema. Questa prima fase salva le prenotazioni che ritiene soddisfacibili nella base di dati dalla quale vengono estratte per le fasi successive.

Le fasi successive vengono gestite mediante un sistema logico basato sull'engine *DLV*¹⁷ che implementa lo stile di programmazione noto come *Answer Set Programming (ASP)* il quale, a fronte di un insieme di dati in ingresso, genera una serie di possibili modelli che soddisfano una serie di vincoli (nel nostro caso, i vincoli definiscono quando è possibile assegnare un veicolo a una prenotazione). L'output della procedura viene scritto nella base di dati, dalla quale una piccola applicazione *Java* recupera i dati e si occupa di inviare le e-mail agli utenti.

Il sistema di prenotazione può inoltre tenere conto delle preferenze contestuali dell'utente. Mediante il framework *PREMINE*¹⁸ il sistema è infatti in grado di apprendere automaticamente alcune delle scelte

¹⁷ <http://www.dlvsystem.com/>

¹⁸ A. Miele, E. Quintarelli, E. Rabosio, L.Tanca. "A data-mining approach to preference-based data ranking founded on contextual information". *Information Systems*, Vol. 38 (4), pp. 524-544, 2013

fatte dall'utente in determinati contesti; questa caratteristica può essere sfruttata per proporre all'utente alcuni servizi aggiuntivi.

Per esempio, supponiamo che un determinato utente ogni volta che prenota un veicolo di tipo "scooter", il mattino dei giorni lavorativi con partenza dal suo condominio richieda sempre il servizio aggiuntivo "casco". Il sistema riconoscerà quindi questa preferenza legata al contesto descritto e, ogni qualvolta riterrà che l'utente stia prenotando un veicolo in tale contesto, andrà automaticamente a proporre il servizio "casco" all'utente, il quale potrà accettare o meno la proposta del sistema.

Il meccanismo, mostrato qui con un semplice esempio, può essere utilizzato in contesti più complessi; inoltre, con il passare del tempo e il conseguente inserimento di nuovi dati da parte dell'utente (o la loro raccolta da parte del sistema, come nel caso dei dati di viaggio), porta ad un affinamento delle proposte e al loro continuo aggiornamento.

3.6.2 Servizi di monitoraggio dei veicoli e del funzionamento del sistema

Per la realizzazione dei Servizi di monitoraggio dei veicoli e del funzionamento del sistema, sono stati confrontati due possibili approcci basati su paradigmi diversi: TESLA, linguaggio per Complex Event Processing (CEP) e PerLa, linguaggio sviluppato per il trattamento di dati provenienti da sensori.

Vengono ora presentate, prima come regole TESLA e poi come query PerLa, alcune delle regole utilizzate dal sistema per il monitoraggio della flotta. In particolare:

1. La segnalazione da parte del sistema del tentativo di furto di un veicolo, riportando l'identificativo del veicolo interessato. Ciò avviene ogni qualvolta il veicolo si muove senza che esso sia stato preso in carico correttamente.
2. La segnalazione da parte del sistema, sempre riportandone l'identificativo, nel caso un veicolo si stia muovendo con le portiere (fisicamente) aperte.
3. Il sistema segnala la mancata riconsegna, entro i limiti temporali previsti dalla prenotazione, di un dato veicolo.
4. Il sistema segnala lo stile di guida medio dell'utente. In questo caso, mentre la regola TESLA calcola e rende disponibile lo stile di guida medio mantenuto dall'utente negli ultimi 5 minuti, la query PerLa calcola invece per quanto tempo lo stile di guida medio tenuto dall'utente negli ultimi 5 minuti risulta oltre una determinata soglia.

Solo nel caso di PerLa inoltre viene proposto un esempio di interazioni con sorgenti di dati esterne a Green Move (previsioni meteorologiche) ricalcolando la query 4 sulla base di soglie dinamiche selezionate dal sistema in base alle effettive condizioni meteorologiche ("pioggia", "neve", ...)

Regole TESLA per il monitoraggio

1. Potenziale furto di veicoli

```
define Theft(greenBox_id: String)
from VehicleData(GreenBox_id=$a and speed>0.0) and
last Released(GreenBox_id=$a) within 30days from VehicleData and
not Taken(GreenBox_id=$a) between VehicleData and Released
where Theft.GreenBox_id=VehicleData.GreenBox_id
```

```
define Theft(GreenBox_id: String)
from VehicleData(GreenBox_id=$a and speed>0.0) and
not Taken(GreenBox_id=$a) within 30days from VehicleData
where Theft.GreenBox_id=VehicleData.GreenBox_id
```



2. Veicolo in movimento con portiere aperte

```
define OpenDoors (GreenBox_id: String)
from VehicleData (speed>0.0 and door_status=3)
where OpenDoors.GreenBox_id=VehicleData.GreenBox_id
```

3. Mancata restituzione del veicolo al termine della prenotazione

```
define NotGivenBack (GreenBox_id: String, reservation_id: String)
from ReservExpired (greenBox_id=$a) and
last Taken (greenBox_id=$a) within 30days from ReservExpired and
not Released (greenBox_id=$a) between ReservExpired and Taken
where NotGivenBack.greenBox_id=ReservExpired.greenBox_id and
NotGivenBack.reservation_id=ReservExpired.id
```

4. Calcolo dello stile guida medio negli ultimi 5 minuti

```
define AvgDrivingStyle (greenBox_id: String, avgEnergyIndex: int)
from Energy (greenBox_id=$a) and
Avg (Energy (greenBox_id=$a).EnergyIndex) within 5m from Energy <40
where AvgDrivingStyle.greenBox_id=Energy.greenBox_id and
AvgDrivingStyle.avgEnergyIndex=
Avg (Energy (greenBox_id=$a).EnergyIndex) within 5m from Energy
```

Query PerLa per il monitoraggio

1. Potenziale furto di veicoli

```
CREATE SNAPSHOT MostRecentUse (greenBox_id String, takenReleased Integer,
date[3] Integer)
WITH DURATION 10
AS LOW:
EVERY 30m
SELECT greenBox_id, takenReleased, date [3]
HAVING date = MAX (date , 10)
UP TO 30m
SAMPLING ON EVENT takenInCharge_Released

CREATE OUTPUT STREAM Theft (greenBox_id String, recentUsage date)
AS HIGH:
EVERY 10m
SELECT greenBox_id, MAX (MostRecentUse.date ) as mass
FROM MostRecentUse, TakenOrReleased, VehicleData
WHERE VehicleData.greenBox_id = TakenOrReleased.greenBox_id AND
TakenOrReleased.date = mass AND TakenOrReleased.takenReleased = 0
AND VehicleData.speed > 0
```

2. Veicolo in movimento con portiere aperte

La query riutilizza lo snapshot “MostRecentUse” definito nella query precedente e poi applica la seguente query:



```

CREATE OUTPUT STREAM OpenCar(greenBox_id string, recentUsage date)
AS HIGH:
EVERY 30m
SELECT greenBox_id, MAX(MostRecentUse.date) as mass
FROM MostRecentUse, TakenOrReleased, VehicleData
WHERE VehicleData.greenBox_id = MostRecentUse.greenBox_id AND
      VehicleData.greenBox_id = TakenOrReleased.greenBox_id AND
      TakenOrReleased.date = mass AND TakenOrReleased.takenReleased = 0
AND
      VehicleData.door_status = 3

```

3. Mancata restituzione del veicolo al termine della prenotazione

La query riutilizza lo snapshot “MostRecentUse” definito nella query precedente e poi applica la seguente query:

```

CREATE OUTPUT STREAM NotReleased(greenBox_id String, date time)
AS HIGH:
EVERY 30m
SELECT greenBox_id, CURTIME() as now
FROM TakenOrReleased, Reservation, MostRecentUse
WHERE TakenOrReleased.greenBox_id = Reservation.greenBox_id AND
      TakenOrReleased.greenBox_id = MostRecentUse.greenBox_id AND
      TakenOrReleased.takenReleased = 1 AND Reservation.timeRelease >
now

```

4. Calcolo dei minuti in cui lo stile di guida medio risulta fuori soglia negli ultimi T minuti

La query calcola lo stile di guida medio negli ultimi T minuti, dove T è un numero intero specificato dall’utente interessato al risultato della query

```

CREATE STREAM AvgOutThresholdDriving(minutes Integer)
AS LOW:
EVERY 30s
SELECT AVG(minutes)
SAMPLING IF drivingStyleOutThreshold
EVERY 10s

CREATE OUTPUT STREAM AvgDrivingStyle(min Integer)
AS HIGH:
EVERY 30m
SELECT AVG(minutes)
FROM AvgOutThresholdDriving (30s)

```

A titolo puramente informativo, riportiamo ora un esempio di query che accede a dati esterni (condizioni meteo fornite dal servizio meteo); ricordiamo che sebbene sia possibile esprimere la query, non è al momento possibile eseguirla:

1. Calcolo dei minuti in cui lo stile di guida medio risulta fuori soglia, rispetto alle effettive condizioni meteorologiche negli ultimi T minuti

```

CREATE STREAM WeatherChange(position GPS_Data, climate String)
AS LOW:
EVERY 10m
SELECT position, climate
SAMPLING ON EVENT WeatherChanged
WHERE climate = "Rain" OR climate = "Ice" OR climate = "Snow" OR climate
= "Fog"
REFRESH EVERY 5m

CREATE OUTPUT SNAPSHOT DangerousDriving(greenBox_id String)
WITH DURATION 2h

```

```

AS HIGH:
SELECT greenBox_id
FROM VehicleData, WeatherChange, Weather
WHERE VehicleData.gps_data = WeatherChange.position
      AND WeatherChange.climate = Weather.climate AND VehicleData.speed
> Weather.limits

```

Concludendo: PerLa e TESLA sono perfettamente equivalenti per quanto riguarda il soddisfacimento di richieste semplici. I principali limiti di TESLA risiedono nella sua stessa natura di linguaggio di complex event processing che, se da un lato rende semplice definire eventi complessi come sequenze temporali di eventi primitivi, mostra però dei limiti negli scenari di data streaming puro. D'altro canto il sistema può contare su di un'implementazione stabile. PerLa invece è tuttora in evoluzione e alcune delle caratteristiche descritte in questo documento, pur rappresentando alcune utili funzionalità, non sono ancora completamente implementate.

3.6.3 Servizi di configurazione dinamica dei dispositivi sui veicoli

Le funzioni realizzate dal GEB si possono dividere in due categorie: operazioni di base del sistema di vehicle sharing Green Move (per esempio l'autenticazione degli utenti, il monitoraggio dei veicoli, ecc.) e funzioni opzionali che, sebbene non essenziali, danno valore aggiunto agli utenti Green Move (per esempio, informazioni commerciali e sul traffico, feedback sullo stile di guida del conducente). Mentre le operazioni di base sono note fin dalle fasi di progettazione del sistema e cambiano poco frequentemente, le funzioni opzionali potrebbero essere aggiunte o rimosse dopo la messa in opera del sistema (per esempio a causa di nuovi accordi commerciali tra Green Move e i suoi partner). Si consideri per esempio uno scenario in cui, dopo che il sistema Green Move diventa operativo, viene stretto un nuovo accordo commerciale con un fornitore di servizi di pubblicità che ha sviluppato una applicazione per notificare in tempo reale agli utenti Green Move la disponibilità di sconti in un negozio vicino alla loro posizione corrente. In questo caso, l'applicazione dovrebbe essere installata su tutti i GEB (o su quelli in veicoli usati da utenti che hanno dato il loro consenso a ricevere questo tipo di informazioni commerciali) dall'inizio dell'accordo commerciale, fino alla sua fine. Inoltre, l'applicazione dovrebbe essere in grado di leggere la posizione corrente del veicolo dal GEB, per fornire agli utenti delle informazioni accurate. Questo ha come conseguenza che il GEB dovrebbe avere la possibilità di caricare e scaricare dinamicamente applicazioni che hanno la possibilità di accedere, in modo opportunamente controllato, alle informazioni sui veicoli raccolte dallo stesso GEB.

Di conseguenza, il GEB deve poter abilitare scenari come quelli descritti sopra. In particolare, esso deve avere una struttura modulare, in cui ogni modulo si occupa di un insieme coesivo di funzioni (per esempio la raccolta dei dati dal veicolo, la comunicazione con il GMC, ecc.); esso dovrebbe anche fornire un insieme di primitive e meccanismi che rendano possibile costruire e gestire applicazioni in modo dinamico.

Nel resto di questa sezione vengono discusse le scelte fatte ed i meccanismi realizzati per ottenere gli obiettivi sopra indicati.

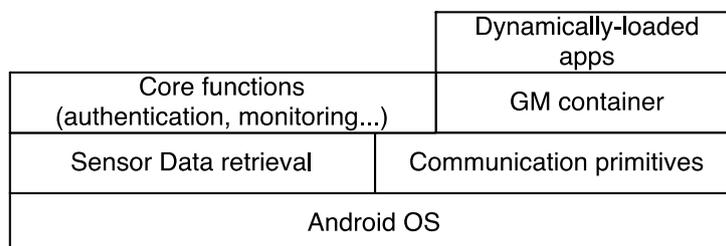


Figura 3.48 – Struttura a livelli delle funzioni offerte dal GEB

Il software del GEB è costruito sul sistema operativo Android secondo la struttura a livelli mostrata in Figura 3.48. Alla base ci sono i moduli che forniscono i meccanismi fondamentali per la raccolta dei dati

dai sensori dei veicoli e per la comunicazione con il GMC. Essi servono per realizzare le funzioni di base del GEB, come per esempio il monitoraggio dei veicoli, e vengono resi disponibili ad applicazioni di terze parti tramite un component chiamato il *GMContainer*. Questo fa parte del middleware Green Move, che permette agli amministratori di sistema di caricare e scaricare applicazioni dal GEN in modo dinamico. I componenti principali del middleware Green Move sono il *Code Server*, che risiede sul GMC, e il *GMContainer*, che invece è parte del GEB.

Code Server

Il Code Server è un modulo del GMC che permette a persone fidate (tipicamente gli amministratori del sistema) di caricare le loro applicazioni, di verificarle e di distribuirle ai GEB tramite il middleware Green Move. Esso permette anche agli amministratori di sistema di recuperare la lista corrente dei dispositivi sui cui è caricata una certa applicazione, di interrompere una istanza particolare dell'applicazione e di disinstallarla, o di installarla nuovamente. Le applicazioni vengono caricate come file JAR firmati, la cui autenticità è controllata prima di renderli distribuibili ai GEB.

GMContainer

Il compito principale del *GMContainer* è di permettere alle applicazioni dinamiche Green Move (Green Move Application, GMA), di essere aggiunte e rimosse a runtime, mentre il sistema sta funzionando. Le GMA sono scaricate sui GEB quando richiesto dal server, ed il loro codice viene collegato al codice del GEB a runtime. Il GEB quindi recupera lo "entry point" della applicazione, il quale viene lanciato, e del quale il GEB mantiene un riferimento per un futuro scaricamento dell'applicazione.

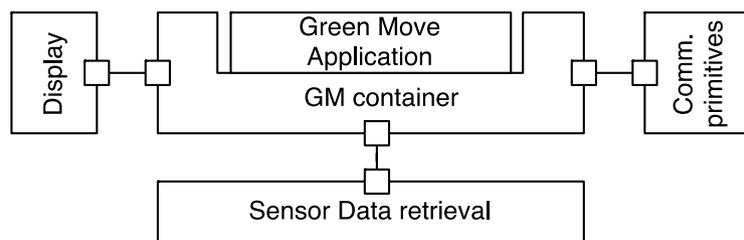


Figura 3.49 – Interfacce del GMContainer

Come mostrato in Figura 3.49, le GMA hanno a disposizione delle opportune API per interagire con l'ecosistema Green Move. Queste permettono alle applicazioni di:

- mostrare testo o immagini agli utenti Green Move (pubblicità, messaggi);
- comunicare con gli altri componenti del sistema Green Move (incluso il GMC) inviando e ricevendo eventi secondo il paradigma publish-subscribe;
- leggere dati provenienti dai sensori tramite il GEB, per esempio la posizione GPS e la velocità del veicolo.

Le GMA sono indipendenti una dall'altra, anche se al momento non viene imposta alcuna restrizione sulle loro interazioni. Esse vengono fornite ai GEB tramite il GMC. Il loro codice è scaricato ed eseguito, e quindi cancellato quando non serve più che l'applicazione sia attiva o serve liberare delle risorse di sistema.

Implementazione

Le GMA sono componenti Android che aderiscono alla convenzione di "entry point unico" che viene richiesta dal *GMContainer*. Ciò significa che le applicazioni possono essere scritte in un qualunque linguaggio che può essere eseguito sulla Java Virtual Machine di Android (Dalvik), quali per esempio Ruby o Python. L'implementazione attuale suppone che l'applicazione sia sigillata in un normale file JAR. Il Code Server permette ad un publisher di caricare sul GMC i file JAR, di verificare la loro integrità grazie

al certificato del publisher e di selezionare i GEB specifici che devono ricevere l'applicazione (per esempio tutti quanti, o solo quelli installati su alcuni veicoli). Il CS sfrutta il middleware publish-subscribe T-Rex descritto in sezione 3.1.2 per comunicare con i GEB e per inviare loro il messaggio di "load code", che contiene il riferimento al file da caricare ed all'entry point della applicazione.

Il GMContainer è implementato come un servizio Android. Esso fornisce una primitiva che permette alle GMA di accedere alle API tramite cui è possibile recuperare i dati provenienti dai sensori. Simili primitive permettono alle GMA di accedere all'infrastruttura di comunicazione usata dal GMContainer per comunicare con il GMC, e le astrazioni usate per accedere al display per mostrare messaggi e immagini. Ogni GMA implementa un'interfaccia che offre una primitiva per interrompere l'applicazione, la quale ha la responsabilità di liberare le proprie risorse utilizzate (socket, thread in esecuzione, e così via).

3.6.4 Esempi di applicazioni dinamiche realizzate

In questa sezione vengono presentati 2 prototipi di GMA realizzati durante il progetto sia per arricchire il sistema implementato di nuove funzionalità sia per verificare in pratica l'uso dei meccanismi di gestione delle GMA. La prima GMA (*PervAds*), realizza un meccanismo di notifica agli utenti del sistema Green Move di offerte commerciali disponibili in negozi vicini alla loro posizione corrente. La seconda (*DrivingStyle*), invece, è una applicazione che fornisce al conducente del veicolo feedback riguardo al suo stile di guida.

I 2 prototipi hanno caratteristiche diverse tra di loro per quel che riguarda l'interazione con i veicoli e con gli utenti. Più precisamente, *PervAds* interagisce con il veicolo solo per quel che riguarda la posizione del veicolo stesso (che è necessaria per poter suggerire informazioni utili al momento) ed invece ha una interazione più ricca con l'utente (del quale deve raccogliere le preferenze e al quale deve mostrare diverse informazioni) e con server esterni al sistema Green Move (dai quali vengono recuperate le pubblicità da mostrare). *DrivingStyle*, invece, raccoglie molte più informazioni dal veicolo (necessarie per poter calcolare l'indice dello stile di guida), e ne genera di nuove (l'indice di stile di guida), che vengono da un lato raccolte dal sistema Green Move per profilare l'utente, e dall'altro vengono mostrate all'utente stesso come feedback sulla sua guida.

Pervasive Advertisements (PervAds)

Molti utenti potrebbero essere interessati a ricevere pubblicità e/o informazioni (traffico, incidenti, ...) mirate sui loro interessi specifici o relativi al loro percorso durante il viaggio. Tuttavia gli stessi utenti vorrebbero probabilmente evitare che alcuni loro dati, quelli che essi ritengono più privati e sensibili, vengano salvati su di un server remoto che, nonostante offra le migliori garanzie di sicurezza, sia dal punto di vista tecnico che da quello legale, appare comunque nell'idea dell'utente come un dispositivo non totalmente sottoposto al proprio diretto controllo; questo può comportare che l'utente preferisca omettere questi dettagli e ricevere un servizio potenzialmente meno preciso al fine di tutelarsi di fronte al rischio di diffusione dei suoi dati.

A questo scopo viene proposto un nuovo modello per la pubblicità pervasiva¹⁹, basato sul modello del contesto descritto nella sezione 3.1.2.

In particolare il modello sfrutta le potenzialità del Local CDT, consentendo che parte dell'elaborazione venga eseguita sullo smartphone dell'utente, demandando al server una piccola parte del lavoro, come si vedrà qui di seguito.

L'applicazione è sostanzialmente formata da tre componenti.

- Un server principale, gestito dallo stesso provider dei servizi Green Move, dove risiedono i dati delle pubblicità e alcuni dati amministrativi, perciò noti a livello di sistema centrale, dell'utente; il server si occupa anche di fare un primo filtraggio (sulla base dei dati noti dell'utente) e distribuire le pubblicità ai vari dispositivi.

¹⁹ L. Carrara, G.Orsi, L. Tanca. "Semantic Pervasive Advertising". *Web Reasoning and Rule Systems - 7th International Conference*, pp. 216-222, 2013.



- Un'applicazione da installare sullo smartphone dell'utente che salva i dati relativi agli interessi più "intimi" dell'utente.
- Un'applicazione (più precisamente, una GMA), installata sul GEB, che comunica sia con l'applicazione sullo smartphone dell'utente per recuperare i dati di profilo e l'identificativo dell'utente sia con il server (per recuperare le pubblicità).

Il server mette a disposizione una semplice interfaccia web mediante la quale gli utenti interessati (tipicamente dei commercianti; nel seguito questa categoria di utenti sarà identificata appunto come *commercianti* per evitare confusione con gli utenti finali del sistema Green Move) possono caricare una pubblicità che poi verrà distribuita agli utenti per la quale il sistema ritiene che possa essere interessante.

A tale scopo, il commerciante fornisce:

- un'immagine da associare alla pubblicità;
- una frase (max 150 caratteri) ad essa associata (che può contenere un collegamento all'offerta o a maggiori dettagli);
- una serie di metadati che descrivono gli aspetti del profilo utente (età, sesso, posizione geografica, momento della giornata, interessi personali dell'utente) per la quale il commerciante ritiene che la pubblicità possa essere interessante.

Dal lato opposto del servizio, al primo utilizzo, l'utente configura l'applicazione sul suo smartphone selezionando gli argomenti di interesse, più o meno specifici (es.: l'utente può selezionare o la macro categoria "ristoranti" o scendere più nello specifico selezionando "ristoranti cinesi") e salva la configurazione.

Una volta sul veicolo, l'utente attiva l'applicazione, la quale si connette alla sua controparte GMA sul GEB che, una volta recuperato dallo smartphone l'identificativo dell'utente e il suo profilo, inizia a comunicare con il server fornendo posizione e identificativo dell'utente.

Il server a sua volta risponderà con un insieme di pubblicità ritenute interessanti sulla base delle informazioni in suo possesso (posizione dell'utente, età, sesso, ...) che la GMA sul GEB andrà in seguito a filtrare ulteriormente sulla base del profilo utente. Le pubblicità che verranno ritenute interessanti verranno quindi mostrate sul display del GEB. Al termine del viaggio (cioè al rilascio del veicolo), tutte le informazioni presenti sul GEB relative all'utente vengono eliminate per salvaguardarne la privacy.

Come esempio di funzionamento, consideriamo il caso in cui l'utente sia nel contesto in cui si trovi alla guida di un autoveicolo e stia percorrendo via della Moscova a Milano; inoltre nel suo profilo locale ha segnalato l'interesse per i ristoranti giapponesi.

Il server centrale riceve continuamente le informazioni dell'utente (in questo caso la più rilevante è la posizione), sa quale veicolo sta guidando e conosce alcuni dati dell'utente (sesso, età). In base a queste informazioni, il sistema filtra le pubblicità ed invia il risultato del suo filtraggio al client il quale, sulla base delle informazioni personali (mi piacciono i ristoranti giapponesi), filtrerà ulteriormente le pubblicità ricevute proponendo come risultato esclusivamente quelle dei ristoranti giapponesi presenti nella zona.

Al momento è disponibile l'implementazione dell'applicazione lato client utente per sistemi Android (la versione minima del sistema operativo richiesta è la 4.0 Ice Cream Sandwich), mentre il server è implementato sfruttando la tecnologia resa a disposizione dalla community edition del server Java Enterprise Edition (JavaEE) JBoss versione 7.1.1.

Driving Style

L'applicazione *Driving Style* è stata realizzata con l'obiettivo di dimostrare le potenzialità offerte dal sistema di caricamento di applicazioni dinamiche. In particolare, si vuole mostrare come un eventuale sviluppatore di applicazioni per Green Move possa accedere in modo semplice e sicuro ai dati dei veicoli Green Move (acquisiti ed esposti dal GEB) e successivamente utilizzare questi dati per implementare un'applicazione che offra servizi di valore aggiunto per gli utenti del sistema o per il sistema stesso.

Lo scopo dell'applicazione è quello di raccogliere informazioni del veicolo provenienti dal GEB, quali ad esempio velocità ed accelerazione istantanea e utilizzare questi dati per calcolare dati aggregati e renderli disponibili al sistema Green Move (o eventualmente agli utenti). Nel caso specifico, l'applicazione stima e valuta lo stile di guida dell'utente al momento alla guida del veicolo Green Move. Attraverso uno specifico algoritmo, l'applicazione calcola degli indici di consumo energetico utilizzando i dati del veicolo e stima lo stile di guida dell'autista. Questi indici vengono inviati al Green Move Center secondo il medesimo protocollo di invio messaggi già descritto nei capitoli precedenti. Il GMC potrà utilizzare queste informazioni per effettuare opportune ottimizzazioni al proprio servizio o offrire funzionalità aggiuntive (ad es. tariffazione personalizzata del viaggio, avvisi all'utente, predizione dell'autonomia dei veicoli, ottimizzazione delle flotte, ecc.). In Figura 3.50 è indicato uno schema sintetico del funzionamento dell'applicazione realizzata.

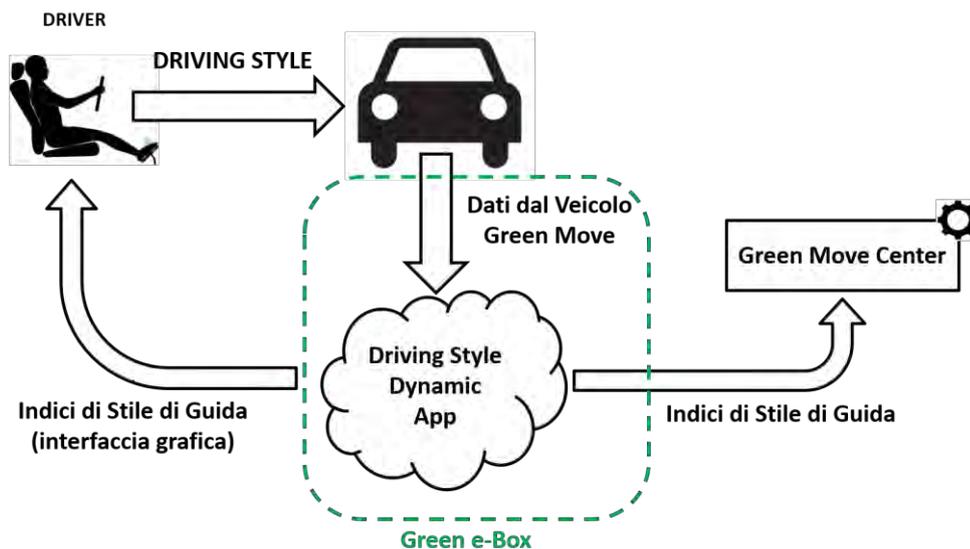


Figura 3.50 – Schema di funzionamento dell'applicazione Driving Style

Nel prosieguo del paragrafo verrà descritta nel dettaglio l'applicazione, a partire dall'algoritmo di stima dello stile di guida.

Stima dello stile di guida

Per dare una valutazione sintetica dello stile di guida di un utente è necessario definire delle cifre di merito che abbiano come obiettivo la stima di comportamenti energeticamente inefficienti e quindi poco sostenibili. Il primo passo consiste quindi nell'ottenere un segnale, il più preciso possibile, della potenza consumata dall'utente durante la guida del mezzo. È possibile ottenere una stima della potenza spesa alla ruota utilizzando la seguente equazione delle forze agenti sul veicolo durante il moto:

$$P_{wheel}(t) = P_{iner}(t) - (P_{brake}(t) + P_{aero}(t) + P_{roll} + P_{slope}(t))$$

Dove $P_{wheel}(t)$ indica la potenza totale spesa alla ruota, $P_{iner}(t)$ è la potenza inerziale, $P_{brake}(t)$ indica la potenza frenante, $P_{aero}(t)$ la potenza dovuta all'attrito aerodinamico P_{roll} la potenza da attrito volvente e $P_{slope}(t)$ la potenza dovuta alla pendenza stradale.

In prima approssimazione, è possibile considerare spostamenti dei veicoli in zone pianeggianti, di conseguenza è possibile trascurare la componente di potenza dovuta all'inclinazione del veicolo $P_{slope}(t)$. Infine, come scelta progettuale viene trascurata anche la potenza frenante $P_{brake}(t)$, che viene considerata alla stregua di un disturbo non noto, in quanto non misurabile direttamente con la strumentazione presente sul GEB. Di conseguenza la relazione precedente diventa:

$$P_{wheel}(v(t), \dot{v}(t)) = P_{iner}(v(t), \dot{v}(t)) + (P_{res}(v(t)))$$

Dove è stata messa in evidenza la dipendenza delle potenze da accelerazione longitudinale $\dot{v}(t)$ e dalla velocità stessa del veicolo $v(t)$ oltre che da parametri propri del veicolo (massa, coefficienti di attrito volvente, coefficienti di resistenza aerodinamica, ecc.). Poiché è il guidatore stesso attraverso la sua guida ad imporre al mezzo determinati profili di velocità e accelerazione longitudinale, viene naturale andare a considerare queste due variabili come fattori di stima dello stile di guida.

Stimare in modo accurato il profilo di accelerazione e di velocità di un utente di Green Move risulta particolarmente semplice se è possibile recuperare queste informazioni dal GEB del veicolo. Come già descritto nei capitoli precedenti, velocità ed accelerazione longitudinale sono segnali disponibili ed esposti dal GEB. In Figura 3.51 è mostrato un particolare profilo di velocità e accelerazione acquisito dal GEB durante un tragitto.

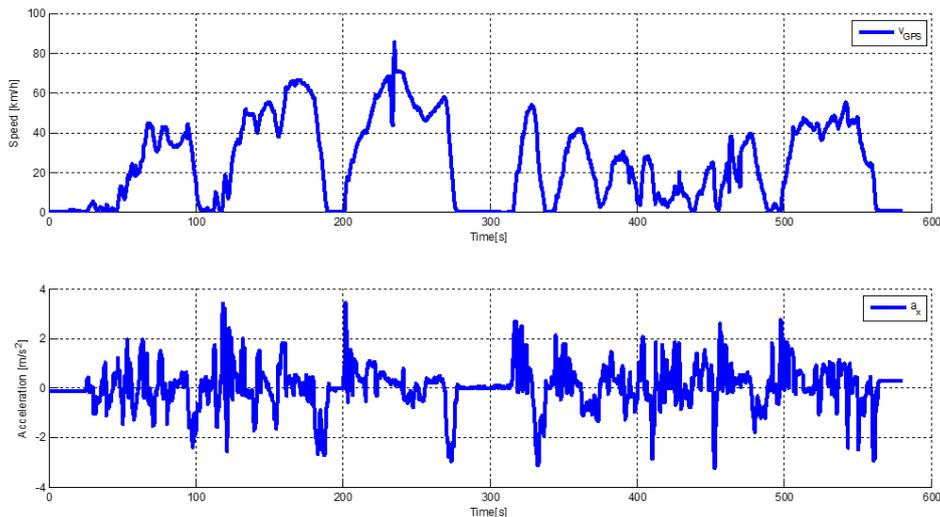


Figura 3.51 – Profili di velocità (in alto) e di accelerazione longitudinale (in basso) acquisiti dal GEB montato su Tazzari Zero Evo

Partendo da queste considerazioni, sono stati definiti 3 indicatori di stile di guida:

1. Indice di Driving Aggressiveness

Il comportamento migliore che un guidatore deve mantenere per ridurre i consumi consiste nel procedere il più possibile a velocità costante e, quando necessario, accelerare e frenare gradualmente. Questo indice stima la potenza sprecata in accelerazioni troppo intense.

2. Indice di Cruising Consumption

Calcola il consumo dovuto agli attriti agenti sul veicolo per il particolare regime di velocità imposto al veicolo. L'indice dipende direttamente dalla velocità di crociera imposta dal guidatore.

3. Indice di Average Driving Style

I due indicatori precedenti forniscono un'informazione istantanea del comportamento del guidatore. Questa terza cifra di merito ha come obiettivo quello di tenere traccia della storia del guidatore su un intervallo di tempo prefissato (30 secondi, minuti, ecc.).

Per la formulazione dettagliata degli indicatori, l'implementazione dell'algoritmo e l'analisi dei risultati si rimanda al relativo articolo²⁰.

²⁰ A. Corti, C. Ongini, M. Tanelli, S. M. Savaresi "Quantitative Driving Style Estimation for Energy-oriented Applications in Road Vehicles" 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics

In Figura 3.52 viene mostrata una visualizzazione grafica dell'andamento dell'indice Driving Aggressiveness durante una prova di accelerazione di un veicolo e successiva frenata.

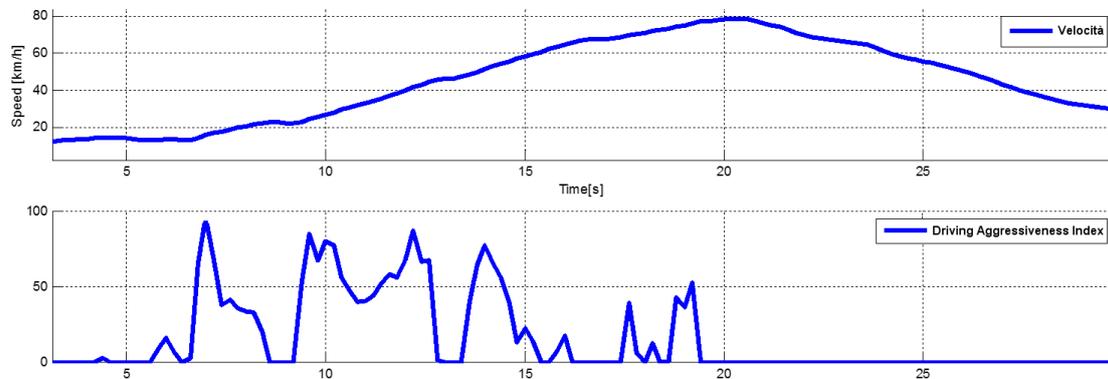


Figura 3.52 – Profilo di velocità e relativo indice di aggressività calcolati dall'applicazione

L'algoritmo di calcolo degli indicatori precedentemente esposti è stato implementato come applicazione dinamica secondo i meccanismi descritti nella sezione 3.6.3. L'applicazione si avvia non appena l'utente prende possesso del veicolo, vengono calcolati gli indici di stile di guida durante il tragitto e viene inviato un messaggio ogni 30 secondi al GMC con ID del GEB e i valori dei tre indicatori.

È stata inoltre progettata una versione dell'applicazione dotata di interfaccia grafica. In questo caso, l'obiettivo consiste nel fornire all'utente un feedback in tempo reale del suo stile di guida in modo da influenzare il suo comportamento ed indurlo a consumare di meno. Sono state quindi sviluppate diverse interfacce grafiche (visibili in Figura 3.53) che permettono una visualizzazione rapida e semplificata degli indicatori di stile di guida.

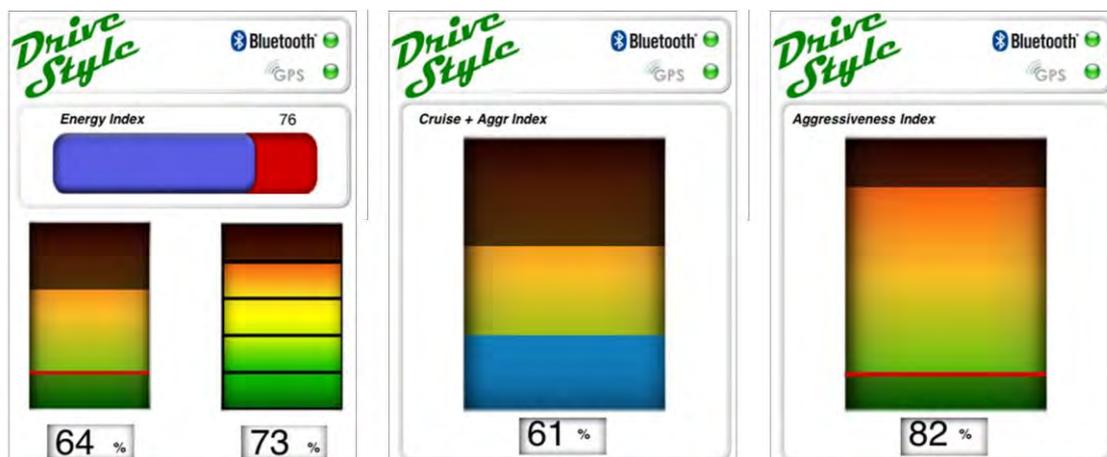


Figura 3.53 – Tre diverse interfacce grafiche dell'applicazione Driving Style per utenti Green Move

3.6.5 Gestione attiva dell'autonomia e dello stato di carica di veicoli elettrici

L'autonomia è uno dei principali problemi dei veicoli elettrici, infatti i km percorribili con una ricarica completa sono spesso percepiti dagli utenti come insufficienti. La percepita scarsa autonomia diventa una barriera psicologica che impedisce la diffusione su larga scala della mobilità elettrica. Questa barriera psicologica prende il nome di *Range Anxiety*, ovvero l'utente ha paura che il veicolo non abbia una autonomia sufficiente a consentirgli di giungere a destinazione.

Per risolvere questo problema è stata sviluppata una strategia innovativa per il controllo dell'autonomia basata su una architettura di controllo gerarchica e distribuita (l'architettura è visibile in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Tale strategia è stata implementata con successo sul Piaggio Liberty e-Mail del progetto GreenMove. Questo tipo di soluzione è in grado di controllare lo stato di carica della batteria del veicolo imponendo uno specifico profilo di scarica che viene calcolato a partire dal tragitto che l'utente deve percorrere. L'utente specifica la distanza o il tragitto che intende percorrere prima di iniziare e, se compatibile con vincoli e condizioni di carica delle batterie, viene garantito l'arrivo a destinazione.

Da un punto di vista del controllo, l'obiettivo è quello di realizzare una regolazione attiva del profilo di scarica del pacco batterie del veicolo (di fatto quindi controllando lo stato di carica) attraverso l'utilizzo di regolazioni e limiti sui profili di velocità ed accelerazione.

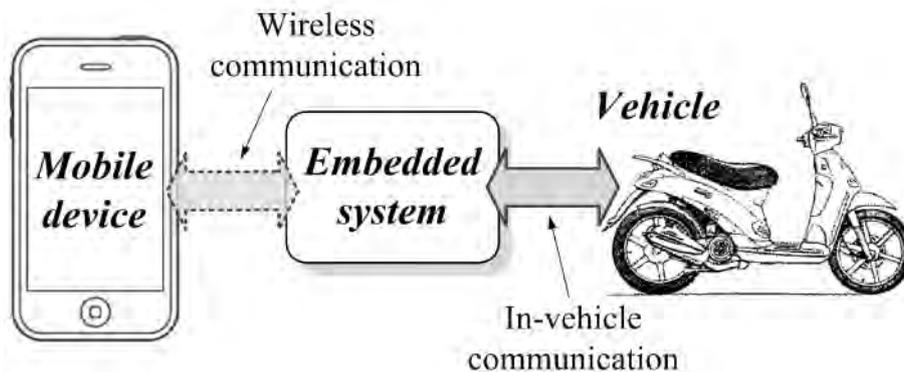


Figura 3.54 - Architettura del sistema di gestione attiva dell'autonomia.

L'architettura è composta da:

- **La centralina elettronica del veicolo** che espone un BUS-dati attraverso il quale vengono acquisiti (o impostati) dati quali ad esempio: stato di carica, velocità di avanzamento, apertura della manopola, etc.;
- **Green e-Box** che si collega all'elettronica del veicolo e che, oltre a svolgere operazioni di basso livello, implementa gli algoritmi di più alto livello per il controllo della carica e crea un ponte wireless tra centralina del veicolo e smartphone dell'utente;
- **Lo smartphone dell'utente** sul quale è installata un'applicazione che permette il settaggio di alcune impostazioni, quali il tragitto o la distanza da percorrere.

Tra veicolo e GEB si viene quindi a creare un anello di controllo che prevede: segnali che vengono inviati dal veicolo al GEB e comandi che vengono generati dal GEB verso il veicolo. Nello specifico i comandi sono dei profili di velocità ed accelerazione che vengono generati dall'algoritmo di controllo in esecuzione sul GEB e che devono successivamente essere attuati dal veicolo.

Al fine di inseguire correttamente il profilo di scarica, nell'algoritmo di controllo si devono tenere in considerazione diversi tipi di disturbo agenti sul veicolo, quali ad esempio il traffico e la pendenza del profilo stradale (salite e/o discese). Questo secondo tipo di disturbi influenza significativamente l'autonomia di un veicolo elettrico ed è stato pertanto trattato attraverso l'utilizzo di dati cartografici contenenti informazioni circa l'altitudine.

Il sistema offre quindi all'utente due modalità:

- **Controllo basato sulla distanza da percorrere:** in questo caso l'utente specifica solamente la distanza che vuole percorrere;
- **Controllo basato sul tragitto:** l'utente specifica su una mappa l'indirizzo di arrivo e l'applicazione su smartphone in automatico calcola il percorso.

In aggiunta l'utente può anche specificare con quale percentuale di carica desidera arrivare a destinazione. Se la carica del pacco batterie iniziale è sufficiente e sono rispettati tutti i vincoli sul percorso e la carica finale, l'algoritmo di controllo può generare un profilo ottimo di scarica. Tale profilo viene imposto al veicolo durante la marcia attraverso la generazione di profili e limiti su velocità e accelerazioni.

In Figura 3.55 sono rappresentati alcuni esempi di profili imposti di scarica del pacco batterie (linee nere) e loro inseguimento (linee arancioni e verdi). Come si può vedere il profilo di scarica reale segue fedelmente il profilo ottimo imposto.

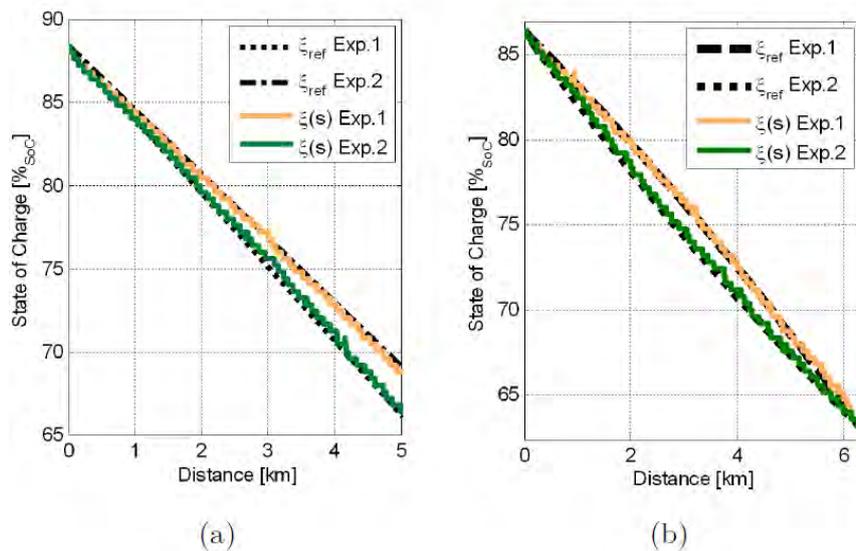


Figura 3.55 - Due es. di profili di scarica del pacco batterie (linee nere) e loro inseguimento (arancioni e verdi).

In Figura 3.56 è possibile vedere il sistema installato sul veicolo. L'interfaccia di interazione con l'utente è costituita da una applicazione installata su smartphone. Tramite questa applicazione l'utente imposta modalità, percorso e stato di carica finale desiderato. Quindi, attraverso comunicazione Bluetooth, lo smartphone dialoga con il veicolo per l'inseguimento del profilo ottimo di scarica.



Figura 3.56 – Applicazione utente.

3.6.6 Ottimizzazione energetica del sistema ciclista-veicolo attraverso strategie di controllo della pedalata assistita in smart e-bike

Allestimento del veicolo

Il veicolo considerato in questo progetto è una bicicletta standard, equipaggiata con un cambio continuo (CVT, Continuously Variable Transmission), dotato di un'elettronica di potenza che gestisce il funzionamento di un motore elettrico DC, il quale movimentava la parte meccanica del cambio (Figura 3.57). Per controllare il rapporto di trasmissione, l'elettronica di controllo del motore necessita di un comando in tensione fornito dalla centralina di controllo del veicolo. Tale centralina è in grado di misurare la posizione angolare del motore, la velocità di rotazione dei pedali e la velocità angolare della ruota posteriore. La bicicletta è stata anche equipaggiata, in fase di test degli algoritmi di controllo, di un sensore di coppia ai pedali, che però non viene utilizzato dagli algoritmi di controllo stessi. Il layout sperimentale è completato da un sensore di battito cardiaco. La comunicazione tra centralina veicolo, sensore di battito cardiaco e smartphone è realizzata via Bluetooth. Il veicolo, infine, è dotato di un piccolo pacco batterie (12V, 2.5Ah) che alimenta il cambio CVT e la centralina elettronica.

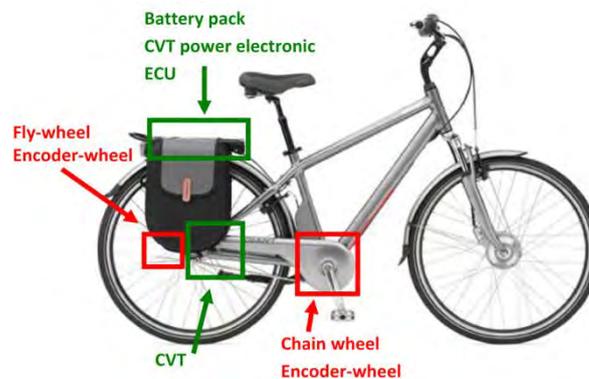


Figura 3.57 – Allestimento della bicicletta.

Attività principali

Le attività svolte su questo tipo di veicolo si sono concentrate su temi relativi alla gestione ottimale e combinata di feeling di guida e sforzo necessario per raggiungere le prestazioni richieste. In particolare, ci si è concentrati sul ruolo del rapporto di trasmissione, in modo da proporre nuove strategie cambio automatico in grado di raggiungere un compromesso ottimale tra consumo energetico del pilota e sforzo al pedale.

A questo proposito, si è considerato un sistema di trasmissione variabile in modo continuo (CVT), che può variare in modo continuo il rapporto di trasmissione tra un minimo e un valore massimo, garantendo la massima flessibilità di utilizzo.

In questo contesto, le attività svolte finora nell'ambito del presente programma di ricerca hanno riguardato:

1. l'allestimento del veicolo con la suddetta trasmissione e le unità di controllo necessarie per il suo corretto funzionamento;
2. l'analisi dinamica del veicolo, con particolare riferimento alla relazione tra rapporto di trasmissione e coppia a terra, e l'identificazione sperimentale di un modello dinamico orientato al controllo;
3. la progettazione del sistema di controllo del rapporto di trasmissione;
4. l'implementazione su veicolo del servo-controllo, basato su un'architettura a livelli, che permette di
 1. regolare una tensione corretta ai capi dell'azionamento;
 2. controllare la posizione del meccanismo CVT;
 3. garantire il corretto l'inseguimento di un rapporto di trasmissione desiderato.
 4. Inoltre, dato che la misura del rapporto di trasmissione non è disponibile in modo affidabile in tutte le condizioni di funzionamento, è stato necessario progettare anche un opportuno

stimatore, per assicurare che la variabile controllata possa essere regolata correttamente in tutte le possibili condizioni di lavoro.

5. la realizzazione di una piattaforma software basata su SmartPhone, in grado di
 5. acquisire dalla bicicletta le variabili di interesse;
 6. presentarle al ciclista mediante un'interfaccia grafica;
 7. salvare le informazioni per una successiva elaborazione e
 8. acquisire alcuni parametri vitali del ciclista interfacciandosi opportunamente ad un cardiofrequenzimetro.
6. La derivazione e validazione di un modello biometrico semplificato del pilota, in grado di catturarne le dinamiche più rilevanti in termini di reazione al carico di lavoro e di legarle in modo significativo ai parametri controllabili del veicolo.
7. Lo sviluppo di una logica di controllo di alto livello, in grado di utilizzare il servo-controllo di rapporto di trasmissione come principale variabile di controllo per la regolazione della frequenza cardiaca del ciclista, che è stato validato su dati sperimentali ricavati dall'utilizzo del veicolo strumentato.

3.7 Modelli per l'ottimizzazione delle policy di gestione del sistema (A3.7)

3.7.1 Bilanciamento delle flotte basato su operatori

In alternativa o ad integrazione della policy di bilanciamento descritta nel paragrafo 3.5.4, è utile anche considerare un metodo di ribilanciamento basato su operatori (*operator-based*). La policy di pricing ivi descritta potrebbe risultare infatti inefficace nel bilanciare stazioni isolate, dato che è improbabile che un utente decida di cambiare la propria stazione di destinazione se questo comporta un'eccessiva distanza da percorrere a piedi. Le richieste di riallocazione generate da stazioni isolate necessitano quindi di essere servite mediante una riallocazione diretta dei veicoli da parte di uno staff di addetti allo spostamento ossia di un approccio *operator-based*.

Tutti i metodi di riallocazione *operator-based* proposti sinora in letteratura prevedono che i veicoli siano spostati tramite una bisarca (in genere da 5 posti). Riteniamo che tale approccio sia poco adatto in un contesto urbano considerata la difficoltà che ci potrebbe essere nel raggiungere alcuni parcheggi tramite un mezzo ingombrante e l'impatto che un tal mezzo potrebbe avere sul traffico urbano. Inoltre il tempo di carico/scarico dei veicoli in una bisarca può incidere in modo consistente sul tempo di riallocazione. Per superare le difficoltà legate agli attuali metodi di riallocazione *operator-based* abbiamo proposto un nuovo approccio di riallocazione maggiormente ecosostenibile. Tale approccio consiste nel fare spostare i veicoli dagli operatori direttamente guidandoli anziché caricandoli su una bisarca. Per muoversi dal punto di partenza al primo veicolo da spostare e dalla stazione in cui il veicolo è stato rilasciato alla stazione successiva, gli operatori possono utilizzare una bicicletta pieghevole che verrà caricata nel bagagliaio del veicolo da spostare (Figura 3.58).



Figura 3.58 – Bicicletta pieghevole caricata nel bagagliaio di un veicolo elettrico

Sono assunte note a priori (o stimate) le esigenze di prelievo (richieste di pick-up) e di consegna (richieste di delivery) dei veicoli elettrici da parte degli utenti, nelle varie stazioni durante il corso della giornata e i livelli di ricarica delle batterie dei veicoli da movimentare. Si vogliono determinare i percorsi e gli orari di una squadra di n addetti allo spostamento che partono con una bicicletta pieghevole da una centrale (eventualmente anche con orari diversi) in modo tale che: ogni percorso inizi e termini nella centrale, si alterni una richiesta di pick-up con una di delivery, la durata di ogni percorso non superi il tempo di servizio degli operatori e sia massimizzato il numero di richieste di riallocazione servite rispettandone le finestre temporali e i livelli di ricarica dei veicoli movimentati. Tale problema costituisce un particolare caso di *Pick-up and Delivery Problem with Time Windows* (PDPTW) che non è mai stato affrontato nella letteratura del *Vehicle Routing Problem*. Sebbene presenta alcune caratteristiche in comune con il problema del *Rollon-Rolloff*²¹ che sorge nell'ottimizzazione dei percorsi dei veicoli della raccolta differenziata dei rifiuti, il nostro problema risulta più difficile perché la distanza che può essere percorsa da un addetto allo spostamento dipende dal livello di carica della batteria dell'auto che si vuole spostare.

Per tale problema abbiamo sviluppato un modello di Programmazione Lineare Intera Mista (MILP) basato su un grafo logico che modella le azioni degli addetti allo spostamento anziché direttamente sul grafo stradale²². Il modello utilizza variabili binarie di routing x_{ijk} (che valgono 1 se il k -mo addetto allo spostamento soddisfa la richiesta di riallocazione j immediatamente dopo la richiesta i , 0 altrimenti) e variabili continue t_{ik} che modellano il tempo di arrivo del k -mo addetto allo spostamento alla stazione della richiesta i . Mediante il grafo logico è stato possibile mantenere contenuto il numero di variabili utilizzate dato che in questo modo esso dipende solo dal numero di richieste di riallocazione (in genere alcune decine) e non dalla dimensione del grafo stradale (nel caso di Milano – dati AMAT– costituito da decine di migliaia di nodi).

Il nostro approccio di redistribuzione dei veicoli elettrici è stato testato su un caso di studio realistico²³.

Abbiamo stimato la domanda di car-sharing elettrico basandoci sul sondaggio sulla mobilità delle persone nell'area di Milano effettuata dall'Agenzia Milanese Ambiente e Trasporto (AMAT) nel 2005²⁴. I dati riguardano gli spostamenti con auto privata e sono rappresentati da una matrice Origine-Destinazione (O-D) da/a zone diverse di Milano, con spostamenti aventi diversi scopi (lavoro, studio, spostamenti occasionali, etc.) durante tre diverse fasce temporali. Riguardo le stazioni del car sharing abbiamo utilizzato l'attuale localizzazione e capacità delle colonnine di ricarica installate da A2A (la principale azienda fornitrice di elettricità a Milano) come descritto nel progetto E-Moving²⁵. La Figura 3.59 mostra le posizioni di tali stazioni (5 stazioni con 4 slot e 21 con 2 slot) e in rosso le delimitazioni delle zone usate per la matrice O-D.

Abbiamo ipotizzato che una certa percentuale (5%, negli esperimenti) degli spostamenti con veicolo privato di tipo occasionale che hanno la loro O-D entro un raggio facilmente raggiungibile a piedi dalle stazioni di ricarica (500 m) avvenga tramite car sharing (dato che tali condizioni lo rendono più vantaggioso dell'auto privata). Per stimare le richieste di riallocazione dei veicoli abbiamo sviluppato in Matlab un simulatore del servizio di car sharing fornendo le capacità delle stazioni di A2A, i tempi di viaggio tra coppie di stazioni e le richieste di viaggio stimate dal sondaggio AMAT.

²¹ Aringhieri, R., Bruglieri, M., Malucelli, F., & Nonato, M., (2004). An asymmetric vehicle routing problem arising in the collection and disposal of special waste. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 17, p. 41-47 e Bodin, L., Mingozzi, A., Baldacci, R., & Ball, M. (2000). The rollon-rolloff vehicle routing problem. *Transportation Science*, 34(3),271–288.

²² Bruglieri, M., Colorni, A., & Luè, A. (2013). The vehicle relocation problem for the one-way electric vehicle sharing. *ArXiv pre-print version of the paper submitted to the special issue on Networks of AIRO2012*. Available <http://arxiv.org/abs/1307.7195v1>

²³ M.Bruglieri, A.Colorni, A.Luè, The vehicle relocation problem for the one-way electric vehicle sharing: an application to the Milan case, *Procedia Social and Behavioral Sciences, Proceedings of EWGT2013, Porto2-5 September 2013, pages 1-10 (article in press)*.

²⁴ pubblicamente disponibile al link <http://www.amat-mi.it/it/downloads/8/>

²⁵ <http://www.e-moving.it/home/cms/emv/>

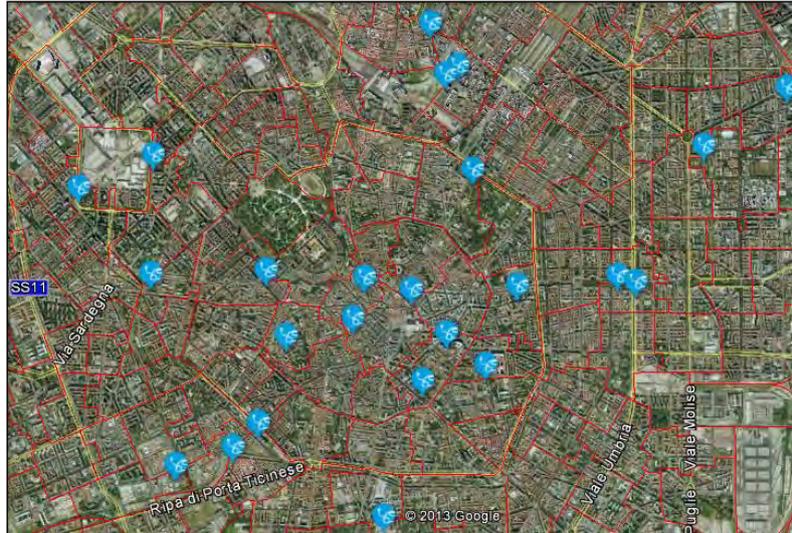


Figura 3.59 – Stazioni di ricarica usate per gli esperimenti numerici. In rosso le delimitazioni delle zonizzazioni usate per la matrice O-D

Tramite il simulatore sono state generate 30 istanze per il nostro approccio di riallocazione dei veicoli elettrici mediamente costituite da 26 richieste di riallocazione distribuite tra le 8 a.m. e le 8 p.m. Abbiamo risolto tali istanze attraverso la formulazione MILP implementata in linguaggio AMPL utilizzando il solver CPLEX11.0 su un PC Intel Xeon 2.80 GHz e 2GB di RAM. Nel modello si è fissato il tempo di servizio degli operatori a 6 ore, la velocità di percorrenza in bicicletta a 15 Km/h e in auto elettrica a 25 Km/h. È stato stimato ad 1 minuto il tempo medio necessario a parcheggiare o a prelevare l'auto dal parcheggio e a scaricare/caricare la bicicletta pieghevole nel bagagliaio. Inoltre abbiamo assunto che la massima distanza percorribile con un veicolo elettrico avente la batteria completamente carica sia di 150 Km e che il tempo necessario a ricaricare una batteria completamente scarica sia di 4 ore.

In media con la formulazione MILP è stato possibile trovare la soluzione ottima in pochi minuti di calcolo, sebbene alcune istanze hanno richiesto anche 2 ore, come è tipico dei problemi NP-difficili. Riguardo la qualità delle soluzioni ottenute, si osserva che già un solo addetto allo spostamento è in grado di soddisfare in media il 66% delle richieste di riallocazione e con 2 addetti in media il 78%, mentre con un numero superiore di addetti il miglioramento marginale è troppo basso per un ulteriore dispendio di personale (si noti che anche con un numero illimitato di operatori non è possibile soddisfare tutte le richieste quando, come spesso accade nelle istanze considerate, il numero di richieste di pick-up è diverso da quello delle richieste di delivery). Quindi $n=2$ sembra il numero adatto di addetti allo spostamento per riallocare i veicoli con il nostro approccio ottimizzato su istanze di circa 26 richieste come quelle considerate nella nostra campagna sperimentale. È infine possibile notare che mediamente ogni addetto trascorre il 42% del suo tempo di servizio in bicicletta, il 31% in attesa e solo il 27% guidando un veicolo elettrico: ciò mostra che l'impatto del nostro metodo di riallocazione sul traffico urbano è davvero molto limitato.

3.7.2 Bilanciamento di flotte da parte degli utenti

Per validare la policy di bilanciamento della flotta descritta in sezione 3.5.4 (e testare diversi scenari) è stato sviluppato un simulatore pienamente funzionante, che consente di simulare l'evoluzione dello stato del bilanciamento di un qualsiasi sistema di vehicle sharing. Attraverso una interfaccia grafica è possibile definire la topologia della rete e alcuni fondamentali parametri quali ad esempio il numero totale di veicoli, il numero ottimo di veicoli per ciascuna stazione, il profilo di prenotazioni giornaliero, etc. Quindi, definita la rete e tutti i suoi parametri, è possibile avviare la simulazione per visualizzare il comportamento del sistema. Durante la simulazione viene prodotta una mappa che mostra

continuamente l'evoluzione del sistema. In Figura 3.60 viene mostrato lo stato della rete al termine di una simulazione di 24h nella configurazione senza controllo (sinistra) e nella configurazione con controllo (destra). I cerchi azzurri rappresentano le stazioni e, sopra a ciascuna di esse, durante la simulazione, viene mostrato lo stato di bilanciamento attraverso dei cerchi colorati. Il colore dei cerchi è in relazione al bilanciamento: cerchi rossi indicano stazioni sbilanciate (molto piene o molto vuote) mentre cerchi verdi indicano stazioni bilanciate. Il raggio dei cerchi invece è proporzionale al numero di veicoli nella stazione: cerchi piccoli indicano pochi veicoli mentre, al contrario, cerchi grandi indicano un numero elevato di veicoli. Le simulazioni sono state effettuate utilizzando la mappa delle stazioni del progetto E-MOVING di A2A (<http://www.e-moving.it>) sul territorio di Milano.

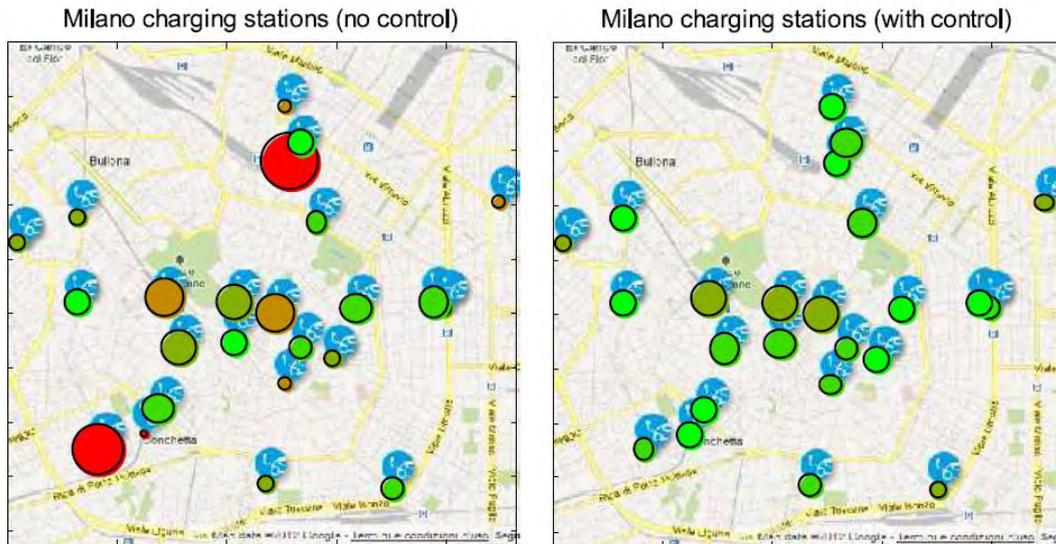


Figura 3.60 – Bilanciamento della rete al termine di una simulazione: senza controllo (sinistra) e con controllo (destra)

In Tabella 3.4 sono riportati i risultati ottenuti attraverso diverse simulazioni. Come è possibile apprezzare, con l'utilizzo della tecnica appena presentata (colonna *CON CONTROLLO*), si ottiene una riduzione del numero di prenotazioni rifiutate dal sistema, una riduzione dell'errore di bilanciamento ed una tariffazione mediamente più vantaggiosa per gli utenti. Per quanto riguarda la distanza aggiuntiva da percorrere (che risulta ovviamente zero nel caso base) questa ha un valore medio di poco più di 200 metri che corrispondono a pochi minuti di camminata.

	Senza controllo	Con controllo
% prenotazioni rifiutate	4.41	1.47
errore medio di bilanciamento [veicoli]	1.1	0.9
tariffa media [€]	5.4	4.4
distanza aggiuntiva [m]	0	220

Tabella 3.4 – Risultati di simulazione

Il sistema nel suo complesso è stato inoltre pensato per essere implementato come *app-dinamica* (GMA) all'interno del sistema Green Move. Sul cruscotto informativo all'interno dei veicoli (oppure sugli smartphone degli utenti) viene quindi visualizzato un elenco di n stazioni nelle vicinanze della stazione scelta in fase di prenotazione dall'utente. Per ciascuna delle n stazioni è riportata, a fianco, una tariffazione calcolata in base allo stato corrente della rete. Quindi, in base a dove l'utente deciderà di consegnare il veicolo, viene applicata la tariffa corrispondente.

3.8 Visualizzatore cartografico web per il monitoraggio del sistema (A3.8)

Questa attività ha come obiettivo lo sviluppo di un sistema per il monitoraggio dei veicoli della flotta Green Move: ed in particolare per verificarne la presenza nei punti di raccolta e per il loro tracciamento quando sono in uso. Il sistema realizzato ha l'obiettivo di essere uno strumento utile per il monitoraggio in tempo reale dei veicoli della Flotta Green Move.

L'accesso ai dati può avvenire secondo due modalità distinte.

1. Utilizzando il webGIS realizzato appositamente per il servizio: è possibile visualizzare la posizione in tempo reale (aggiornata con un intervallo di 5 secondi) degli autoveicoli di Green Move, eseguire interrogazioni per ottenere diverse informazioni relative allo stato corrente del veicolo (carica batteria, posizione, etc.) e informazioni di interesse generale (identificativo del veicolo, etc.). Nel webGIS sono stati implementati gli strumenti classici di navigazione (zoom, pan, etc.). È possibile inoltre scegliere tra diverse cartografie di sfondo (Google Maps, OpenStreet Map, CTR Regione Lombardia).
2. La seconda modalità consente di utilizzare un qualsiasi software che implementi gli standard WMS e/o WFS definiti dall'Open Geospatial Consortium per accedere ai dati pubblicati.

In questo caso l'accesso ai dati avviene tramite l'utilizzo di un web service orientato alla pubblicazione dei dati geografici.

Possiamo modellare in modo semplice il flusso dei dati come riportato in Figura 3.61: i veicoli condivisi nell'ambito del progetto, tramite il Green-e-box installato, inviano i dati ad un database (DB): questi dati raccolti (le coordinate del veicolo ed altre informazioni, come ad esempio la carica residua di batteria o il numero di posti, etc.) sono resi poi disponibili mediante la realizzazione di un apposito sistema per la loro visualizzazione e condivisione sul web (servizio di pubblicazione dati).

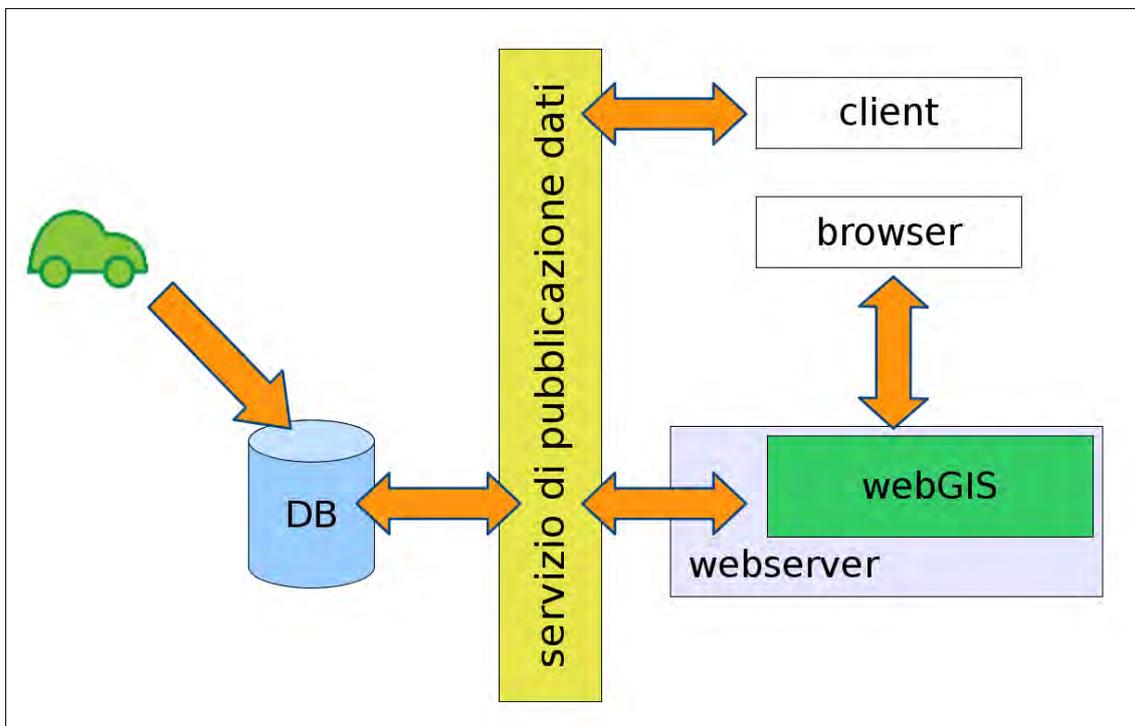


Figura 3.61 – Schema di flusso dei dati

Per la realizzazione di questa struttura di gestione e pubblicazione del dato geografico è stato necessario considerare gli aspetti di modellazione, organizzazione e diffusione dell'informazione geografica, in

modo da garantirne l'accesso non solo attraverso l'apposito visualizzatore realizzato, ma anche tramite altri strumenti non necessariamente noti a priori. Per ottenere questo alto livello di accessibilità ai dati e facilitarne quindi la fruizione ci si è indirizzati verso una distribuzione che avvenga seguendo delle procedure standard.

L'accesso ai dati è infatti possibile sia tramite l'applicazione web (webGIS), utilizzando i suoi strumenti di navigazione e interrogazione sia utilizzando il servizio di pubblicazione (geowebsevice), mediante un qualsiasi software lato client in grado di scambiare informazioni con il servizio di pubblicazione dati.

In un contesto come questo, orientato alla condivisione e distribuzione di dati di tipo geografico, un importante attore nell'ambito della definizione di procedure standard è l'Open Geospatial Consortium²⁶ (OGC).

L'OGC è un consorzio internazionale con più di 400 membri, appartenenti ad ambiti e con competenze diverse²⁷: In questo modo, utilizzando gli standard OGC per la realizzazione di webservice orientati all'informazione geografica, è possibile fornire dati e servizi a chiunque segua questi standard, indipendentemente dal sistema operativo, dal software GIS o da altre proprietà o configurazioni del client, garantendo l'interoperabilità e l'indipendenza dall'ambiente software nell'accesso a questi servizi.

L'OGC ha definito diversi standard²⁸ in base alla tipologia di servizio da realizzare e ai dati da distribuire:

alla luce dei dati utilizzati nel progetto sono stati utilizzati gli standard WMS (Web Map Service) e WFS (Web Feature Service).

Il protocollo WMS²⁹ definisce una interfaccia che, in funzione delle richieste effettuate dall'utente, restituisce una immagine relativa alla regione richiesta con i dati selezionati. L'utente quindi specifica i contenuti ai quali è interessato (layer o strati informativi), l'estensione geografica e la dimensione dell'immagine che vuole ottenere dal servizio³⁰.

Il protocollo WFS³¹ definisce una interfaccia per la fornitura di dati di tipo vettoriale. L'utente fa la sua richiesta in modo simile a quanto specificato per il WMS: il servizio in questo caso restituisce un dato vettoriale (di default in GML, ma sono possibili anche altri formati come lo shape file). Anche questo standard è molto utilizzato, ad esempio dal già citato Portale Cartografico Nazionale.

L'implementazione di questi servizi è stata fatta utilizzando MapServer³²: un ambiente di sviluppo open source per la costruzione di applicazioni web dedicate alla pubblicazione di cartografia. Il suo sviluppo è iniziato a metà degli anni novanta nella University of Minnesota (UMN) con il progetto ForNet sostenuto dalla NASA insieme al Minnesota Department of Natural Resources ed è continuato nell'ambito di altri progetti; è tuttora un progetto in continua crescita, con diversi sviluppatori ed enti nel mondo che si stanno occupando del suo avanzamento.

- Per l'organizzazione dei dati è stato utilizzato come database PostgreSQL³³ uno dei più importanti, se non il più importante, database open source, insieme all'estensione PostGIS³⁴. Questa estensione

²⁶ <http://www.opengeospatial.org/>

²⁷ società private, agenzie governative e università. Lo scopo dei membri dell'OGC è quello di partecipare allo sviluppo di interfacce standard chiamate OGC Web Service (OWS) che hanno l'obiettivo di supportare soluzioni interoperabili per lo scambio di dati geografici.

²⁸ <http://www.opengeospatial.org/standards>

²⁹ <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

³⁰ Lo standard WMS nella sua versione 1.3 è stato adottato anche nella direttiva INSPIRE ed è comunemente utilizzato da molte amministrazioni pubbliche per la distribuzione dei loro dati, come ad esempio il servizio cartografico di Regione Lombardia (<http://www.cartografia.regione.lombardia.it>) o il Portale Cartografico Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/>) curato dal Ministero dell'Ambiente.

³¹ <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>

³² <http://www.mapserver.org/>

³³ <http://www.postgresql.org/>

³⁴ <http://www.postgis.org>

del database permette di gestire in modo efficiente i dati geografici mediante l'introduzione di tipi di dato e operatori multidimensionali

Per la realizzazione dell'interfaccia di navigazione invece si è adottato OpenLayers³⁵. OpenLayers è una libreria JavaScript open source utilizzata per visualizzare mappe interattive nei browser web. OpenLayers permette di accedere e pubblicare dati da fonti diverse utilizzando alcuni protocolli standard OGC come il WMS e il WFS: in questo modo, oltre ai dati di pertinenza del progetto, è quindi possibile visualizzare contestualmente anche i dati provenienti da altre fonti, come Google Maps³⁶, OpenStreetMaps³⁷ o i servizi WMS di Regione Lombardia.

I software GIS utilizzati, MapServer, OpenLayers e PostGIS, sono tutti software open source, con alle spalle ciascuno una consistente comunità, attiva da diversi anni, di sviluppatori ed utilizzatori. Inoltre tutti questi software aderiscono all'Open Source Geospatial Foundation³⁸ (OSGeo), fondazione che ha come obiettivo di incoraggiare l'uso e lo sviluppo collaborativo dei progetti che ne fanno parte ed offrire supporto finanziario, organizzativo e legale³⁹.

Per quanto riguarda i dati rilevati il loro sistema di riferimento nativo è WGS84 - coordinate geografiche (EPSG:4326); sfruttando le capacità di trasformazione al volo messe a disposizione da MapServer i dati sono resi disponibili anche in WGS84/UTM32N - metriche proiettate (EPSG:32632) e WGS84 Pseudo-Mercator - metriche proiettate (EPSG:3857).

I dati che vengono pubblicati sono i dati relativi alla posizione in tempo reale del veicolo e altre informazioni istantanee provenienti dal GPS (quota) o direttamente dal veicolo (velocità, livello di carica residua) e altre informazioni "statiche" come ad esempio l'identificativo del veicolo ed il numero di targa.

Lo schema implementato si può vedere in Figura 3.62: si noti la doppia funzionalità disponibile per l'accesso ai dati:

- tramite il webGIS, navigando con un browser (Figura 3.63)
- utilizzando un qualsiasi client che implementi gli standard OGC, come ad esempio il software desktop QGIS (Figura 3.64) o aggiungendo i dati di Green Move su altri servizi web, come ad esempio il Portale Cartografico Nazionale e quindi vedendoli correlati con qualsiasi dato pubblicato da questo, a discrezione dell'utente (Figura 3.65).

³⁵ <http://www.openlayers.org/>

³⁶ <https://maps.google.it/>

³⁷ <http://www.openstreetmap.org/>

³⁸ <http://www.osgeo.org>

³⁹ L'accreditamento di un progetto non è automatico: il progetto deve soddisfare una serie di caratteristiche, inoltre inizialmente partecipa alla Fondazione solo come progetto incubato, e solo successivamente, se in grado di soddisfare i criteri posti, diventa un progetto OSGeo a tutti gli effetti.

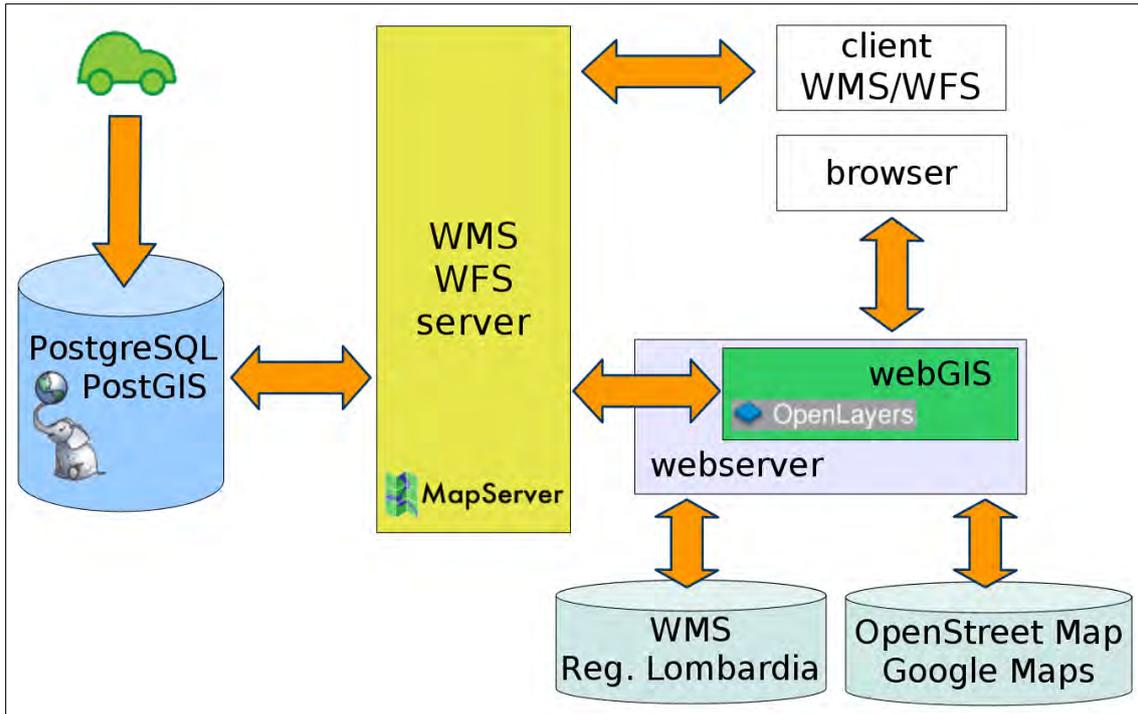


Figura 3.62 – Schema del servizio di distribuzione dei dati geografici

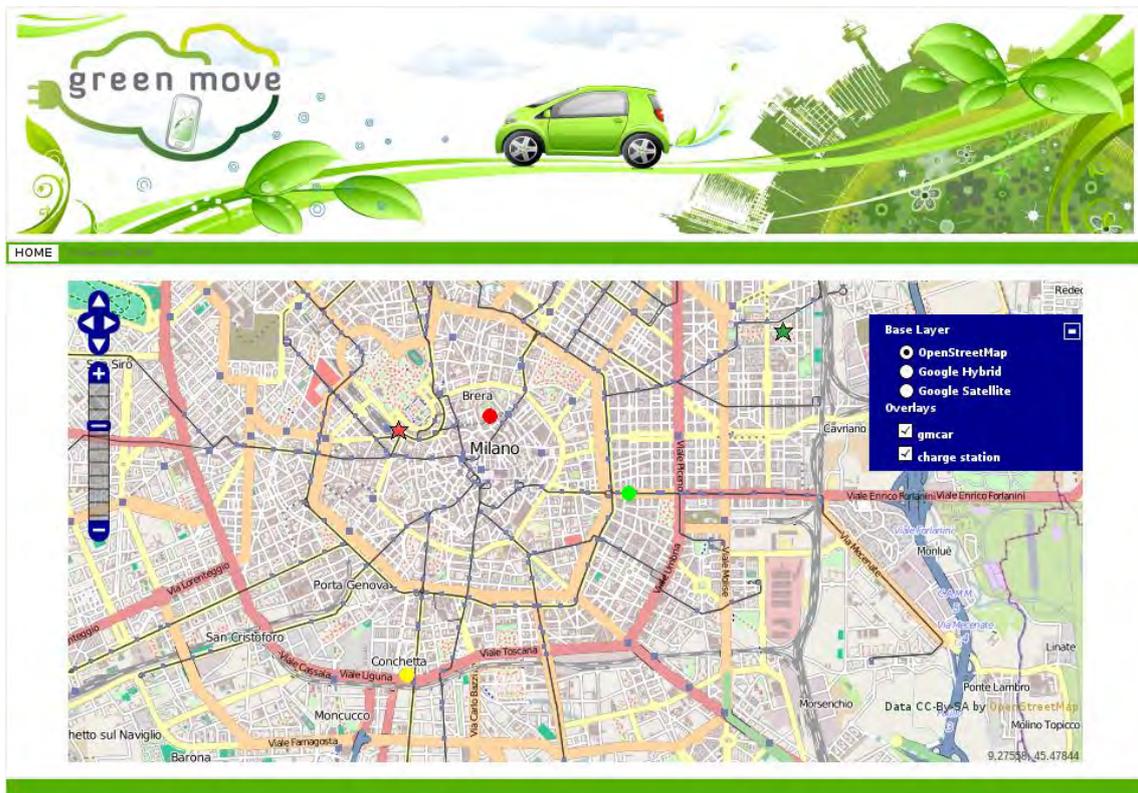


Figura 3.63 – Accesso ai dati tramite il webGIS del progetto

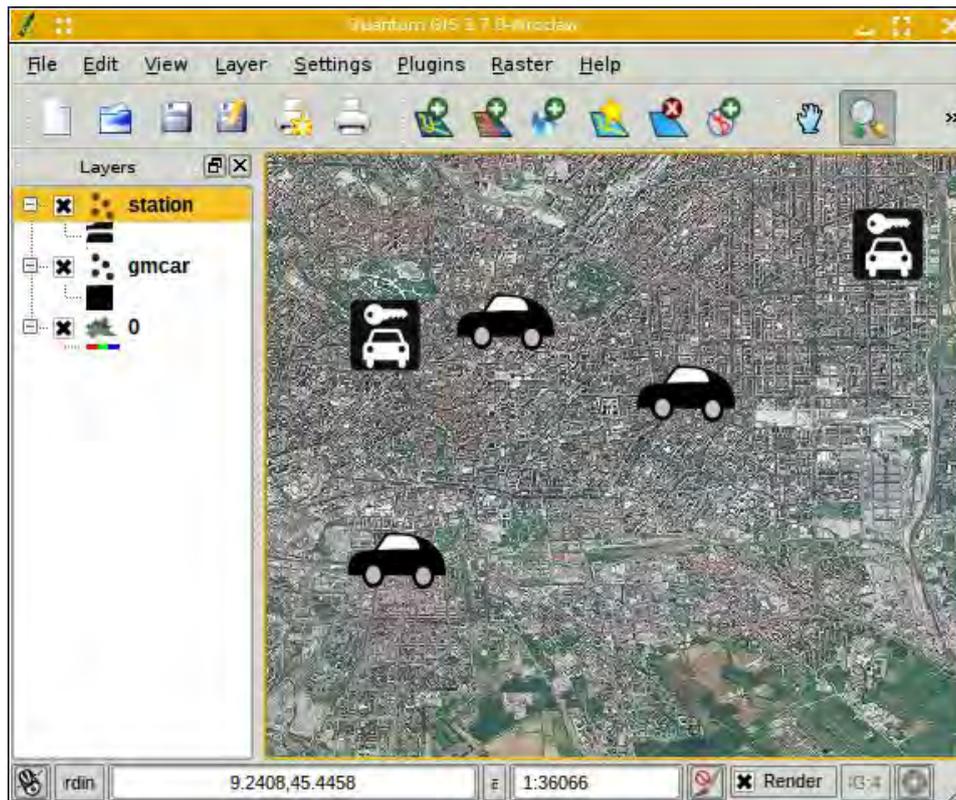


Figura 3.64 – Accesso ai dati tramite desktop GIS

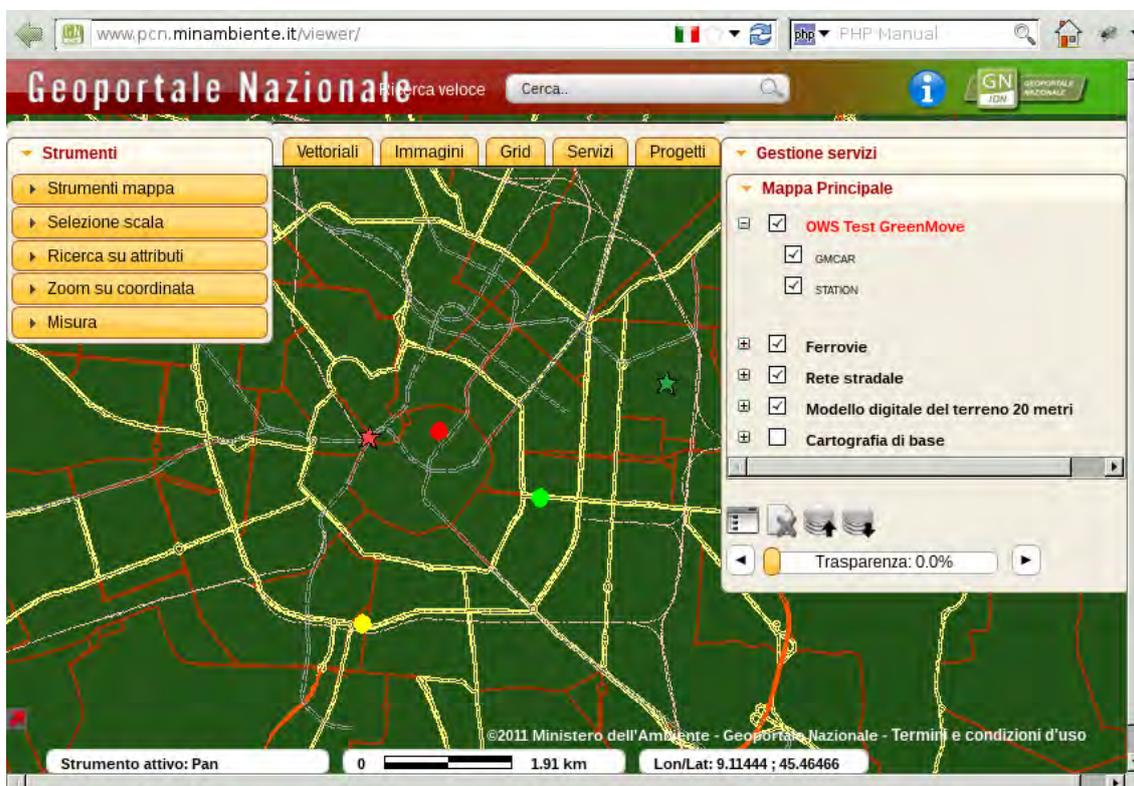


Figura 3.65 – Accesso ai dati tramite servizio web

In entrambi le modalità è possibile navigare ed interrogare i dati; nello strumento webGIS sono state implementate le funzionalità classiche di navigazione (zoom, pan) e selezione dei layer di sfondo; inoltre è stato realizzato un collegamento con i dati messi a disposizione dalla piattaforma Street View⁴⁰ di Google: la scheda con l'interrogazione (Figura 3.66) è aggiornata con una cadenza di 5 sec sia per quanto riguarda i dati testuali riportati, sia per quanto riguarda le immagini di Street View, permettendo all'operatore di seguire gli spostamenti del veicolo come se fosse a bordo. Si può inoltre accedere alle funzionalità di controllo e navigazione di Street View usando come punto di partenza la posizione corrente del veicolo (Figura 3.67).



Coord	9.22518 45.474297
Car ID	car_test01
Date & Time (GPS)	2013-04-01 16:10:29
Date & Time (phone)	2013-04-01 16:10:30
Accuracy	20
Speed	30
Bearing	0
Altitude	201

3D car icon: 

Street View images: 

W3C XHTML 1.0  W3C CSS 

Figura 3.66 – Scheda di interrogazione

⁴⁰ <http://www.google.com/streetview>

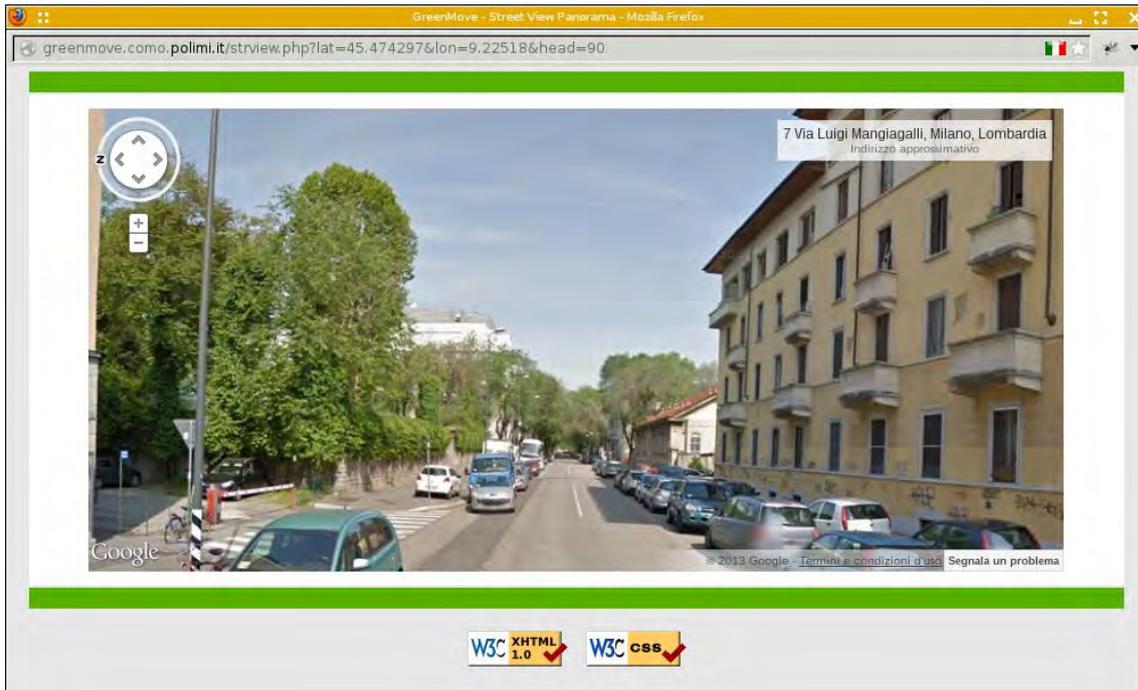


Figura 3.67 – Navigazione integrata di Street View

Riposizionamento dei veicoli

I dati di posizione dei veicoli, prima della loro pubblicazione, subiscono un processo di elaborazione e successiva correzione delle coordinate rilevate in quanto utilizzando il sistema in un contesto reale, cioè con i dati effettivamente ricevuti dai veicoli Green Move, si ha che:

- le coordinate ricevute dal GPS presentano degli errori,
- la posizione visualizzata non corrisponde sempre alla strada; in Figura 3.68 il cerchio rosso indica la posizione rilevata che è chiaramente errata in quanto non in corrispondenza della strada.



Figura 3.68 – Errore di rilievo della posizione del veicolo

Per poter correggere i dati si deve però disporre di un grafo stradale, vettoriale, da utilizzare per riposizionare in modo corretto i punti rilevati.

Nella scelta del grafo e nella definizione degli strumenti di correzione si è deciso di lavorare nell'ottica di ottenere il miglior risultato possibile senza aggiungere altri costi/oneri a regime per il progetto.

Quindi si è deciso di utilizzare come grafo stradale quello di OpenStreetMap (OSM - <http://www.openstreetmap.org/>). Si tratta di un progetto collaborativo finalizzato a creare cartografia ad accesso libero mediante la partecipazione degli utenti (lo stesso principio di Wikipedia applicato all'informazione geografica).

I dati presenti in OSM sono distribuiti con una licenza che permette di utilizzarli liberamente per qualsiasi scopo con il solo vincolo di citare la fonte e usare la stessa licenza per eventuali lavori derivati dai dati di OSM (<http://www.openstreetmap.org/copyright>). Utilizzando OSM si ha quindi a disposizione un grafo in continua evoluzione e aggiornamento, rispetto al quale è possibile partecipare direttamente alla sua costruzione, senza l'obbligo di acquisire un grafo che poi comunque andrebbe costantemente aggiornato per essere funzionale allo scopo.

I dati sono stati scaricati ed importati in PostgreSQL/PostGIS; utilizzando le funzioni multidimensionali del database è stata realizzata la funzione di correzione del dato.

Questa funzione, tramite query successive:

- estrae tutte le aste stradali in un intorno di 20 m dal punto rilevato,
- cerca l'asta più vicina che abbia anche direzione coerente con la direzione di spostamento del punto.

Nell'esempio in Figura 3.69 si può vedere la posizione originale rilevata dal GPS (cerchio) e la posizione corretta (triangolino) con la macchina che si sposta lungo la via Mangiagalli nella direzione indicata dalla freccia.

Se facciamo riferimento al punto rilevato nella posizione 3 dell'esempio vediamo che la posizione rilevata è in corrispondenza di un'asta stradale, quindi formalmente corretta, anche se è sull'asta stradale sbagliata: se non si prendesse in considerazione anche la direzione di spostamento nell'algoritmo di correzione in questo caso la posizione non sarebbe interpretata come errata e quindi non ci sarebbe nessuna correzione (Figura 3.70).



Figura 3.69 – Correzione della posizione con il metodo implementato



Figura 3.70 – Esempio di errata correzione

Una possibile evoluzione del progetto potrebbe riguardare il modo di interpretare i dati: si potrebbe considerare il veicolo come se fosse un "sensore" in movimento in grado di monitorare lo "stato" della città in tempo reale.

In questo caso, per modellare ed interpretare i dati diventa significativo utilizzare per la loro distribuzione, sempre nell'ambito di geoservizi standard, il protocollo standard dell'OGC denominato Sensor Observation Service⁴¹ (SOS).

Il SOS appartiene ad un insieme di standard chiamato Sensor Web Enablement (SWE) che raggruppa quegli standard che forniscono gli strumenti necessari per sfruttare le capacità e le potenzialità di una rete di sensori (Sensor Web). I protocolli ed i servizi offerti dall'architettura SWE permettono di implementare reti di sensori eterogenei interoperabili, scalabili ed orientati ai servizi in grado di rilevare nuovi sensori, scambiare ed elaborare osservazioni. Nello specifico il SOS può essere utilizzato per la pubblicazione e l'accesso a informazioni e misurazioni effettuate da sensori in grado di monitorare diversi tipi di fenomeni come temperatura, pressione, agenti inquinanti, immagini satellitari, etc.

È già stata realizzata per il servizio attuale una implementazione di test di un servizio SOS utilizzando il software istSOS⁴², Open Source, il cui sviluppo è curato dall'Istituto di Scienze della Terra (IST-SUPSI) di Lugano.

⁴¹ <http://www.opengeospatial.org/standards/sos>

⁴² <http://istgeo.ist.supsi.ch/software/istsos/>

4 Attività di monitoraggio e valutazione di impatti e benefici

Partendo dall'analisi della letteratura delle possibili configurazioni di servizio e della domanda potenziale (Report 1 e Capitolo 2) è stato possibile identificare i principali stakeholder e i loro obiettivi rispetto ai servizi di vehicle sharing. Per ognuno degli obiettivi sono stati elaborati alcuni indicatori in grado di misurarne il grado di raggiungimento. Ciò ha dato origine ad un sistema di monitoraggio che è oggetto del paragrafo 4.1.

La valutazione di alcuni degli obiettivi e degli indicatori di cui sopra è stata considerata rilevante anche in fase di pianificazione del servizio. Per stimare gli effetti di scelte progettuali alternative è stato implementato un modello di simulazione. Partendo dalla modellizzazione dei risultati dell'analisi della domanda, il modello è in grado di stimare gli effetti ambientali, trasportistici ed economici di un ampio set di alternative, fornendo un supporto alla scelta dell'alternativa di servizio di car sharing per l'amministrazione pubblica. La descrizione del modello è oggetto del paragrafo 4.2.

4.1 Monitoraggio del servizio/sistema (A4.1)

4.1.1 Il vehicle sharing come servizio multi-stakeholder e multi-obiettivo

Un'iniziativa di mobilità sostenibile coinvolge una molteplicità di attori. In particolare, facendo riferimento ad un servizio di vehicle sharing elettrico, gli stakeholder interessati spaziano dal mondo dei trasporti fino a quello della fornitura di energia elettrica.

Nello specifico, nell'ambito delle diverse configurazioni di servizio identificate all'interno del progetto Green Move, gli stakeholder principali possono essere rappresentati da:

- i clienti (privati o business) come primi destinatari del servizio;
- l'amministrazione locale in quanto possessore della rete stradale e degli spazi destinati ai parcheggi, nonché come possibile promotore dell'iniziativa;
- le società di trasporto pubblico come servizio complementare a quello del vehicle sharing;
- i costruttori di veicoli elettrici in quanto fornitori delle automobili;
- il fornitore dell'energia elettrica, il quale fornisce i sistemi di ricarica in strada e nelle stazioni di parcheggio;
- i costruttori immobiliari in quanto possibilmente interessati a fornire un servizio aggiuntivo all'interno dei propri immobili;
- i poli aggregatori di domanda come possibili centri in cui collocare le stazioni di parcheggio del vehicle sharing.

Oltre a questi attori che possono essere definiti "stakeholder primari", esistono altri gruppi di attori potenzialmente interessati ad iniziative di mobilità sostenibile. Alcuni di essi sono ad esempio: la comunità locale, ovvero i residenti e le imprese, la stampa e i mezzi di informazione, i gruppi di altri utilizzatori della strada come i pedoni o i ciclisti, i guidatori di taxi e gli operatori del TPL, gli uffici del turismo. Nella figura sottostante sono sintetizzati i principali stakeholder descritti a seconda del loro interesse specifico verso iniziative di mobilità sostenibile in generale o al car sharing nello specifico.

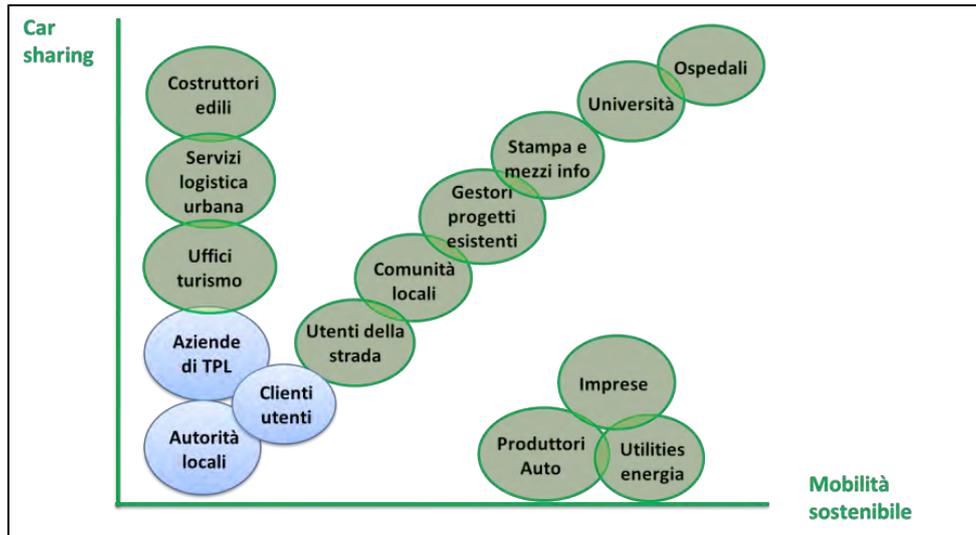


Figura 4.1 – Gli stakeholder della mobilità sostenibile

Per quanto concerne gli attori primari, essi possono essere più o meno interessati ai modelli di servizio identificati a seconda degli interessi specifici. Nella figura sottostante essi sono suddivisi sulla base dell'attinenza alla specifica configurazione.

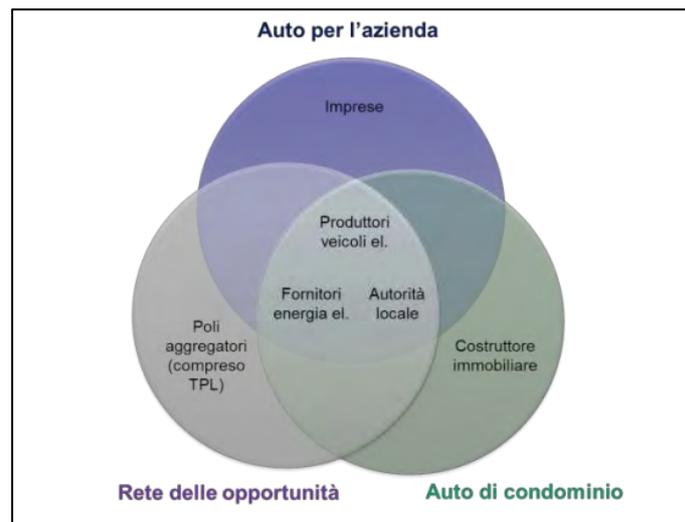


Figura 4.2 – Gli stakeholder e le configurazioni di servizio

Gli stakeholder identificati sono indispensabili per la fattibilità e la crescita di un'iniziativa di vehicle sharing. Il loro contributo, infatti, può essere di sostegno esterno, attraverso, ad esempio, aiuto finanziario o di promozione o può, più concretamente, riguardare, ad esempio, la fornitura di spazi per il parcheggio. Infine, può risultare molto più complesso, se coinvolge l'amministrazione pubblica, integrando direttive sul vehicle sharing nei documenti di programmazione oppure codificando politiche relative a leggi sul regime fiscale.

In particolare, il loro sostegno è condizionato al raggiungimento di determinati obiettivi che tali stakeholder si prefiggono, e che spesso possono variare significativamente da uno all'altro. Le amministrazioni locali sono, ad esempio, interessate a benefici ambientali e sociali, come la riduzione della congestione stradale e il miglioramento dell'accesso alla mobilità per le famiglie a basso reddito. Le

aziende di trasporto vogliono aumentare l'utenza e le entrate complessive. I costruttori immobiliari intravedono la possibilità di fornire un servizio aggiuntivo ai loro inquilini e ottenere le certificazioni ambientali per i loro edifici. Le imprese, infine, potrebbero voler utilizzare il vehicle sharing al fine di offrire un beneficio ai dipendenti e ridurre la domanda di parcheggio nei loro spazi.

In termini generali, i possibili obiettivi connessi con un'iniziativa di vehicle sharing sono riconducibili a quattro macro categorie principali:

- ambiente;
- mobilità;
- società;
- economia.

In Tabella 4.1, tali categorie sono declinate in obiettivi più specifici.

Obiettivi	Ambiente	Riduzione inquinamento	Questo obiettivo è legato alla riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti (es. PM10) che incidono sulla qualità dell'aria
		Riduzione gas serra	Questo obiettivo è legato alla riduzione delle emissioni in aria di sostanze climalteranti (es. CO ₂)
		Riduzione consumi energetici	Questo fattore è relativo ad una riduzione sia dei consumi dei veicoli per chilometro percorso sia dei chilometri complessivamente percorsi grazie all'introduzione del vehicle sharing
	Mobilità	Riduzione congestione urbana	Questo obiettivo è riconducibile ad un minor numero di vetture circolanti a causa della condivisione dei mezzi
		Aumento accessibilità	Passando da un'economia del possesso di beni di consumo a una più orientata all'uso di tali beni, le possibilità di accedere ad un mezzo di trasporto individuale crescono anche per le fasce a basso reddito, garantendo il diritto alla mobilità. Questa è favorita anche da una complementarietà con il trasporto pubblico
	Società	Miglioramento vivibilità spazio urbano	Un numero minore di automobili si traduce in una minore richiesta di infrastrutture e, quindi, in un maggiore livello di vivibilità urbana
		Aumento coscienza ecologica	Questo obiettivo è legato al miglioramento della consapevolezza degli impatti della mobilità personale legata al mezzo privato su ambiente e società. Nello specifico mira ad uno spostamento dei comportamenti dall'utilizzo del mezzo privato verso modalità più ambientalmente sostenibile
		Innovazione sociale	Questo obiettivo è legato al rafforzamento delle relazioni sociali attraverso sistemi di social network, condivisione e modelli alternativi di business
	Economia	Sostenibilità economico-finanziaria	Questo obiettivo è legato al miglioramento delle prestazioni economiche del sistema e quindi è un obiettivo quasi esclusivo del gestore del servizio. Esso può essere raggiunto tramite diversi meccanismi quali l'aumento dei profitti, la riduzione dei costi o il miglioramento della propria immagine (il quale si riflette nuovamente in un aumento dei profitti)

Tabella 4.1 – Gli stakeholder e gli obiettivi

4.1.2 Necessità di un approccio sistemico al monitoraggio del sistema

Vista la molteplicità di attori presenti e la coesistenza di obiettivi potenzialmente contrastanti, si è ritenuto necessario sviluppare un sistema di monitoraggio comprensivo, in grado di tenere sotto controllo il raggiungimento degli obiettivi legati ai singoli stakeholder e quindi orientarne le azioni in modo coerente con i requisiti del sistema complessivo.

In particolare, le prestazioni chiave del servizio sono state definite a partire dagli obiettivi associati alle diverse configurazioni (auto di condominio, rete delle opportunità, auto per l'azienda) che, a loro volta, sono stati pensati coerentemente con gli obiettivi di alcuni stakeholder primari e dei clienti finali del servizio. Nella figura sottostante è riportata una rappresentazione grafica dell'approccio globale al sistema di monitoraggio delle prestazioni. Ad esempio, le aziende fornitrici di energia elettrica saranno

interessate alla capillarità del servizio e, di conseguenza, al numero di punti di ricarica installati sul territorio. Al contrario, le autorità locali saranno maggiormente interessate al livello di traffico osservabile dopo l'implementazione di un'iniziativa di vehicle sharing, ovvero al livello di congestione urbana.

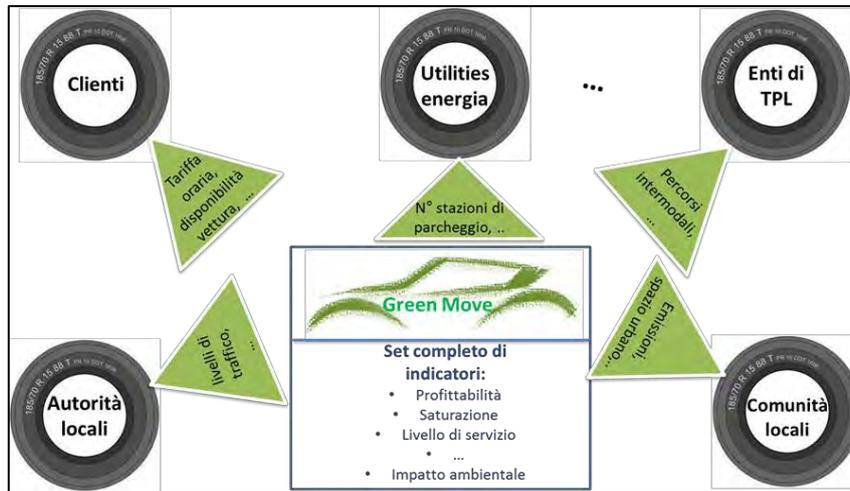


Figura 4.3 – Il sistema di monitoraggio degli obiettivi

Il sistema di monitoraggio comprende tre diverse categorie di indicatori:

- indicatori di impatto, i quali permettono di fare una valutazione dell'impatto del progetto in termini ambientali, sociali e di mobilità (ad esempio come l'introduzione del vehicle sharing migliora la mobilità o contribuisce a ridurre le emissioni) permettendo di verificare il raggiungimento degli obiettivi di lungo termine dei diversi stakeholder;
- indicatori di valutazione economica, i quali permettono di valutare la sostenibilità del progetto dal punto di vista finanziario (Net Present Value e Break Even Time);
- indicatori di prestazione, che misurano le caratteristiche operative del servizio (capillarità, flessibilità, tariffazione, intermodalità, ...).

4.1.3 Mappatura degli stakeholder chiave e dei relativi obiettivi

In questa sezione verranno analizzati in dettaglio gli obiettivi associati ai diversi stakeholder primari individuati. In particolare, sulla base dell'analisi documentale e della letteratura sono stati ipotizzati in via preliminare i legami tra attori e obiettivi. In seguito, è stato elaborato un piano di coinvolgimento degli stakeholder e attraverso interviste semi-strutturate (in cui è stato chiesto agli intervistati il loro grado di sensibilità rispetto ad alcune tematiche) tali legami sono stati validati e aggiornati. Nella trattazione verranno, quindi, associati a ciascun attore gli obiettivi prioritari trascurando dunque quelli di carattere secondario. In allegato è riportata l'analisi completa.

Clienti privati

I clienti privati sono naturalmente i principali destinatari a cui si rivolge il servizio di vehicle sharing. Essi si pongono diversi obiettivi nel momento in cui decidono di aderire ad un'iniziativa di condivisione dell'auto. A tal proposito esistono diversi studi che hanno indagato tali motivazioni evidenziando l'esistenza di un ampio range di fattori tra i quali elementi di carattere economico, ambientale o di convenienza rispetto ad altre tipologie di trasporto. Le diverse indagini concordano comunque nell'evidenziare obiettivi di:

- convenienza economica;
- riduzione dell'impatto ambientale;
- aumento dell'accessibilità alla mobilità.

Clienti business

Le aziende rappresentano uno stakeholder particolare in quanto sono un possibile cliente del servizio di vehicle sharing. Le imprese che aderiscono ad iniziative di vehicle sharing hanno generalmente l'obiettivo di ottenere l'accesso a un'altra opzione di mobilità, che può essere economicamente più conveniente di auto a noleggio o di una flotta in-house. Attività professionali come studi di architettura e di ingegneria hanno dimostrato di essere terreno particolarmente fertile per gli operatori di vehicle sharing. In conclusione, gli obiettivi prevalenti risultano essere:

- ridurre i costi legati alla flotta;
- ridurre la domanda di spazi di parcheggio;
 - creare un sistema di collegamento all'interno dei propri spazi.

Amministrazioni locali

Le amministrazioni locali sono senza dubbio il partner più comune per gli operatori di vehicle sharing, in quanto hanno molteplici obiettivi che tale servizio può contribuire a realizzare. In aggiunta, essi:

- sono responsabili di molte funzioni e servizi che li rendono partner naturali di un'iniziativa di vehicle sharing (parcheggi, TPL e pianificazione dei flussi di traffico);
- hanno tipicamente una sensibilità maggiore sul tema.

In particolare, i principali obiettivi associati a tale categoria di stakeholder sono:

- riduzione dell'inquinamento;
- riduzione dei consumi energetici;
- riduzione della congestione del traffico;
- aumento dell'accessibilità alla mobilità;
- miglioramento della vivibilità dello spazio urbano;
- aumento della coscienza ecologica dei cittadini;
- innovazione sociale;
- riduzione dei costi di auto-amministrazione (ovvero quei costi legati al possesso e al mantenimento di una flotta pubblica). In particolare, una flotta in vehicle sharing al posto di una tradizionale, risulterebbe in un risparmio di costi.

Aziende di trasporto pubblico

Le aziende di trasporto pubblico sono dei partner naturali dei progetti di vehicle sharing in quanto quest'ultimo servizio è di fatto complementare a quello da esse offerto. Non a caso, diverse aziende di trasporto vedono il vehicle sharing come una modalità per favorire l'accesso alle stazioni del TPL. Di conseguenza, due obiettivi chiave delle aziende di trasporto sono:

- aumentare l'utenza complessiva;
- aumentare le entrate.

Il vehicle sharing può contribuire al raggiungimento di entrambi questi obiettivi grazie allo sfruttamento di potenziali sinergie, oltre all'ottenimento di risultati più generali ai quali le aziende di trasporto pubblico possono essere interessate, come la riduzione dell'uso dell'automobile privata, spesso in conflitto con il trasporto pubblico di superficie, e il conseguente miglioramento della mobilità urbana.

Produttori di veicoli

I produttori di veicoli sono direttamente interessati da iniziative di vehicle sharing in quanto fornitori dei veicoli stessi. Essi vedono quindi nel vehicle sharing un mercato potenziale di sbocco per i loro prodotti. Gli obiettivi di questi ultimi sono prevalentemente di carattere economico:

- aumento dei ricavi dovuti alle vendite dei veicoli;
- miglioramento di immagine attraverso l'adesione ad iniziative che favoriscono la sostenibilità.

Fornitori di energia elettrica

I fornitori di energia elettrica sono attori fondamentali di iniziative di vehicle sharing elettrico in quanto produttori dei sistemi di ricarica. Anche in questo caso, gli obiettivi di tali attori sono prevalentemente di carattere economico:

- aumento dei ricavi dovuti all'energia prodotta per la ricarica delle auto e per l'eventuale produzione e installazione delle colonnine di ricarica;
- miglioramento di immagine attraverso l'adesione ad iniziative che favoriscono la sostenibilità.

Costruttori immobiliari

I costruttori immobiliari rappresentano dei partner molto interessanti per le iniziative di vehicle sharing legate alla realtà condominiale in quanto tale servizio offre loro numerosi vantaggi. Nello specifico un car sharing condominiale:

- rappresenta un fattore di differenziazione dell'offerta di mobilità per i residenti e gli inquilini, in particolare per quelli che non possiedono un'auto, e la fornitura di questo servizio potrebbe diventare uno standard per le future costruzioni;
- rappresenta un'ottima opportunità in quanto con uno sforzo economico relativamente basso i costruttori possono fornire un servizio che aggiunge valore alla struttura;
- promuove la sostenibilità ambientale dell'impresa costruttrice;
- riduce la pressione sulla domanda di parcheggi forniti in spazi pubblici. Questo potrebbe agevolare l'azienda costruttrice nell'ottenimento di possibili incentivi.

In conclusione, gli obiettivi del costruttore immobiliare risultano essere:

- miglioramento dell'immagine aziendale;
- aumento dei profitti;
- riduzione domanda di parcheggi.

Poli aggregatori

I poli aggregatori sono centri erogatori di servizi al cittadino quali ad esempio il trasporto pubblico, la sanità e lo shopping. Essi mirano sempre più a inserirsi all'interno di una rete di servizi così da fornire un'offerta più completa ai loro clienti e a promuovere la loro attività attraverso le leve della qualità, dell'efficienza e della sostenibilità. Inoltre, diversi poli mirano a ridurre l'utilizzo dell'auto e la conseguente richiesta di parcheggi nei pressi della loro attività. In sintesi gli obiettivi di tali attori in riferimento al car sharing sono legati a:

- aumento dei servizi offerti e dei ricavi conseguenti grazie anche ad una maggiore accessibilità del polo;
- miglioramento dell'immagine;
- riduzione della pressione sulla domanda di parcheggi.

In Tabella 4.2 viene riportato un quadro di sintesi degli obiettivi descritti.

Stakeholder	Ambientali	Mobilità	Sociali	Economici
Clienti privati	riduzione inquinamento, riduzione consumi	aumento accessibilità		sostenibilità economico-finanziaria (riduzione dei costi di trasporto)
Clienti business			miglioramento vivibilità spazio urbano (riduzione spazio parcheggi)	sostenibilità economico-finanziaria (immagine, riduzione dei costi di gestione)
Amministrazioni locali	riduzione inquinamento, gas serra e consumi	riduzione congestione (riduzione possesso auto private e aumento tasso occupazione veicoli) e aumento accessibilità (rinforzo collegamenti con territori limitrofi)	miglioramento vivibilità spazio urbano (riduzione spazi parcheggi e auto in sosta)	sostenibilità economico-finanziaria (aumento della ricchezza locale, riduzione dei costi di gestione e aumento servizi offerti)
Aziende di trasporto pubblico	riduzione consumi	riduzione congestione urbana (aumento spostamenti intermodali, aumento efficienza ed efficacia del sistema di trasporto urbano, aumento dell'accessibilità del sistema di trasporto urbano, riduzione dei tempi di viaggio) e aumento accessibilità (rinforzo dei collegamenti con i territori limitrofi)		sostenibilità economico-finanziaria (miglioramento immagine e aumento profitti)
Produttori di veicoli				sostenibilità economico-finanziaria (miglioramento immagine e aumento profitti)
Fornitori di energia				sostenibilità economico-finanziaria (miglioramento immagine e aumento profitti)
Costruttori immobiliare			miglioramento vivibilità spazio urbano (riduzione spazi parcheggi)	sostenibilità economico-finanziaria (miglioramento immagine e aumento profitti)
Poli aggregatori		aumento accessibilità (rinforzo collegamenti territori limitrofi)	miglioramento vivibilità spazio urbano (riduzione spazi parcheggi)	sostenibilità economico-finanziaria (miglioramento immagine, aumento profitti e aumento dei servizi offerti)

Tabella 4.2 – I legami tra stakeholder e obiettivi

4.1.4 Identificazione di set di indicatori

L'identificazione di set di indicatori è stata volta a consentire di monitorare le diverse prestazioni in modo coerente con le priorità / fabbisogni informativi dei diversi stakeholder.

In base agli obiettivi specifici che ogni singola configurazione di servizio si propone di raggiungere, e tenendo conto del sistema di priorità di obiettivi degli stakeholder, si è definito un set di indicatori in grado di monitorare il grado di raggiungimento degli stessi.

Consideriamo a titolo esemplificativo un possibile obiettivo del servizio di vehicle sharing coerente con i seguenti obiettivi degli stakeholder:

- miglioramento vivibilità spazio urbano (autorità locale, poli aggregatori, costruttori immobiliari, clienti business);
- aumento accesso alla mobilità (autorità locale, TPL, clienti privati, poli aggregatori).

Gli indicatori possibili associati a questi obiettivi (e i relativi stakeholder interessati alla loro quantificazione) sono:

- numero di stazioni situate in un'area di estensione di 1 Km² non servita dal TPL (servizio di vehicle sharing e clienti privati);
- riduzione di spazio riservato ai parcheggi su suolo pubblico, a seguito dell'introduzione del vehicle sharing (autorità locale);
- riduzione di spazio riservato ai parcheggi su suolo privato, a seguito dell'introduzione del vehicle sharing (clienti business, costruttori immobiliari e poli aggregatori);
- numero di clienti abbonati ai servizi di vehicle sharing e al TPL (autorità locale e TPL).

In modo analogo per ciascun obiettivo si sono associati degli indicatori, che consentissero di misurarne il livello di raggiungimento. La tabella sottostante riporta l'esempio di un set di indicatori associati a differenti obiettivi. Naturalmente, si tratta di un esempio di carattere generale, che può essere declinato per ogni singola configurazione di servizio.

Categoria	Obiettivo	Indicatore
Ambientali	Riduzione inquinamento	Variazione delle emissioni di gas inquinanti
	Riduzione gas serra	Variazione delle emissioni di gas ad effetto serra
	Riduzione consumi energetici	Variazione dei chilometri percorsi con mezzi privati
Mobilità	Riduzione congestione urbana	Variazione del livello di congestione delle principali strade del territorio
	Aumento spostamenti intermodali	Numero di cittadini con abbonamento vehicle sharing e TPL
	Aumento efficienza del sistema di trasporto urbano	Variazione del costo per km di servizio di trasporto pubblico
	Aumento efficacia del sistema di trasporto urbano	Variazione del numero di clienti del trasporto pubblico
	Aumento dell'accessibilità del sistema di trasporto urbano	Variazione della distanza minima dal mezzo di trasporto pubblico più vicino
	Riduzione del numero di auto in sosta	Variazione del numero di medio auto in sosta nelle principali arterie stradali
	Aumento del tasso di occupazione dei veicoli	Variazione del coefficiente di occupazione dei veicoli
Sociali	Riduzione dei tempi di viaggio	Variazione dei tempi di percorrenza delle principali linee di trasporto pubblico
	Miglioramento vivibilità spazio urbano	Suolo occupato per parcheggi
	Aumento coscienza ecologica	Variazione utenti TPL
Economici	Innovazione sociale	Numero utenti iscritti a servizi di condivisione
	Aumento della ricchezza locale	NPV e Break Even Time globali di progetto
	Aumento dei profitti	
	Riduzione dei costi di trasporto	
	Riduzione dei costi di gestione	
	Aumento trasparenza costi di trasporto	
Miglioramento dell'immagine		
Aumento dei servizi offerti		

Tabella 4.3 – Gli obiettivi e gli indicatori

Come evidenziato in precedenza, è possibile associare i diversi obiettivi degli stakeholder con le prestazioni del servizio al fine di individuare le leve di progettazione maggiormente coerenti con gli obiettivi degli attori coinvolti. Nella tabella sottostante è riportato un esempio delle modalità con cui può essere effettuata tale associazione.

Obiettivo	Indicatore obiettivo	Prestazione
Riduzione inquinamento	Variazione delle emissioni di gas inquinanti	Livello di emissioni WTW dei veicoli
Riduzione gas serra	Variazione delle emissioni di gas ad effetto serra	Numero di veicoli, numero di clienti
Riduzione consumi energetici	Variazione dei chilometri percorsi con mezzi privati	Numero di veicoli, vicinanza a stazioni del trasporto pubblico, chilometri/cliente
Riduzione congestione urbana	Variazione del livello di congestione delle principali strade del territorio	Intermodalità
Aumento spostamenti intermodali	Numero di cittadini con abbonamento vehicle sharing e TPL	Intermodalità, costo
Aumento efficienza del sistema di trasporto urbano	Variazione del costo per km di servizio di trasporto pubblico	Intermodalità
Aumento efficacia del sistema di trasporto urbano	Variazione del numero di clienti del trasporto pubblico	Capillarità
Aumento dell'accessibilità del sistema di trasporto urbano	Variazione della distanza minima dal mezzo di trasporto pubblico più vicino	Numero di clienti
Riduzione del numero di auto in sosta	Variazione del numero di medio auto in sosta nelle principali arterie stradali	Servizi aggiuntivi: car pooling
Aumento del tasso di occupazione dei veicoli	Variazione del coefficiente di occupazione dei veicoli	Numero di veicoli, area territoriale coperta
Riduzione dei tempi di viaggio	Variazione dei tempi di percorrenza delle principali linee di trasporto pubblico	Capillarità, numero parcheggi
Miglioramento vivibilità spazio urbano	Suolo occupato per parcheggi	Numero clienti
Aumento coscienza ecologica	Variazione utenti TPL	Area territoriale coperta
Innovazione sociale	Numero utenti iscritti a servizi di condivisione	Costo, costo totale/Km erogato
Aumento della ricchezza locale	NPV e Break Even Time globali di progetto	Ricavi, costi
Aumento dei profitti		
Riduzione dei costi di trasporto		
Riduzione dei costi di gestione		
Aumento trasparenza costi di trasporto		
Miglioramento dell'immagine		
Aumento dei servizi offerti		

Tabella 4.4 – Associazione obiettivi e prestazioni

Naturalmente a loro volta le prestazioni operative del servizio devono essere monitorate in modo puntuale al fine di anticipare la valutazione sul raggiungimento degli obiettivi degli stakeholder. Un set di indicatori sviluppato con tale finalità è riportato nel seguito:

- numero clienti medio;
- numero veicoli medio;
- classe di emissione del parco veicoli;
- numero parcheggi totale e presso stazioni di TPL;
- numero noleggi;
- chilometri percorsi totali;
- ore di servizio erogate e utilizzo orario della flotta;
- ricavi totali;
- costi totali;
- costi totali/km;
- clienti/veicoli;
- chilometri/cliente;
- costo totale/km erogato;
- clienti/bacino servito;
- costo totale/cliente;
- ricavo totale/cliente;
- ricavo totale per veicolo.

4.2 Valutazione degli impatti e dei benefici del progetto a breve, medio e lungo termine (A4.2)

4.2.1 Il modello di valutazione

Il modello di valutazione è stato elaborato a partire dall'analisi della letteratura e dei casi di studio sui sistemi di car sharing esistenti. Ciò ha permesso di identificare i principali elementi caratterizzanti i servizi esistenti (parametri di configurazione) e le principali performance (indicatori).

La realizzazione del modello ha permesso di avere a disposizione un sistema di valutazione multi-attributo in grado di stimare le prestazioni di varie alternative di vehicle sharing. La valutazione ha seguito la logica dell'analisi a molti criteri. La realizzazione del modello in linguaggio Matlab rende completamente automatizzata la valutazione: una volta definiti i valori degli input è infatti in grado di calcolare gli output in maniera automatica.

I principali parametri di configurazione (input) che caratterizzano l'alternativa in esame riguardano elementi dimensionali, tariffari e di livello e tipologia di servizio:

1. Localizzazione spaziale delle stazioni
2. Tipologia di veicolo (% FEV)
3. Flessibilità spaziale (1w 2w)
4. Probabilità di trovare un veicolo
5. Tariffa annuale e oraria

Altri input riguardano dati da fonti esterne relativi al contesto della città di Milano:

1. matrici origine-destinazione forniti da AMAT
2. dati demografici dal censimento

Input di rilievo sono rappresentati dai coefficienti e dati utili per la completa definizione e popolamento dei modelli.

I principali indicatori (output) che descrivono le prestazioni ambientali, trasportistiche ed economiche dell'alternativa sono cinque:

1. Accessibilità
2. Congestione
3. Emissioni
4. Spazio parcheggi
5. Sostenibilità economica

Di seguito vengono descritti nel dettaglio i modelli rappresentati in Figura 4.4.

- 4.2.2 Modello Analisi della domanda
- 4.2.3 Modello di creazione delle matrici O/D
- 4.2.4 Modello Dimensionamento flotta e stalli
- 4.2.5 Modello Variazione Accessibilità
- 4.2.6 Modello Variazione Congestione
- 4.2.7 Modello Variazione Emissioni
- 4.2.8 Modello Variazione Occupazione spazi pubblici
- 4.2.9 Modello economico-finanziario

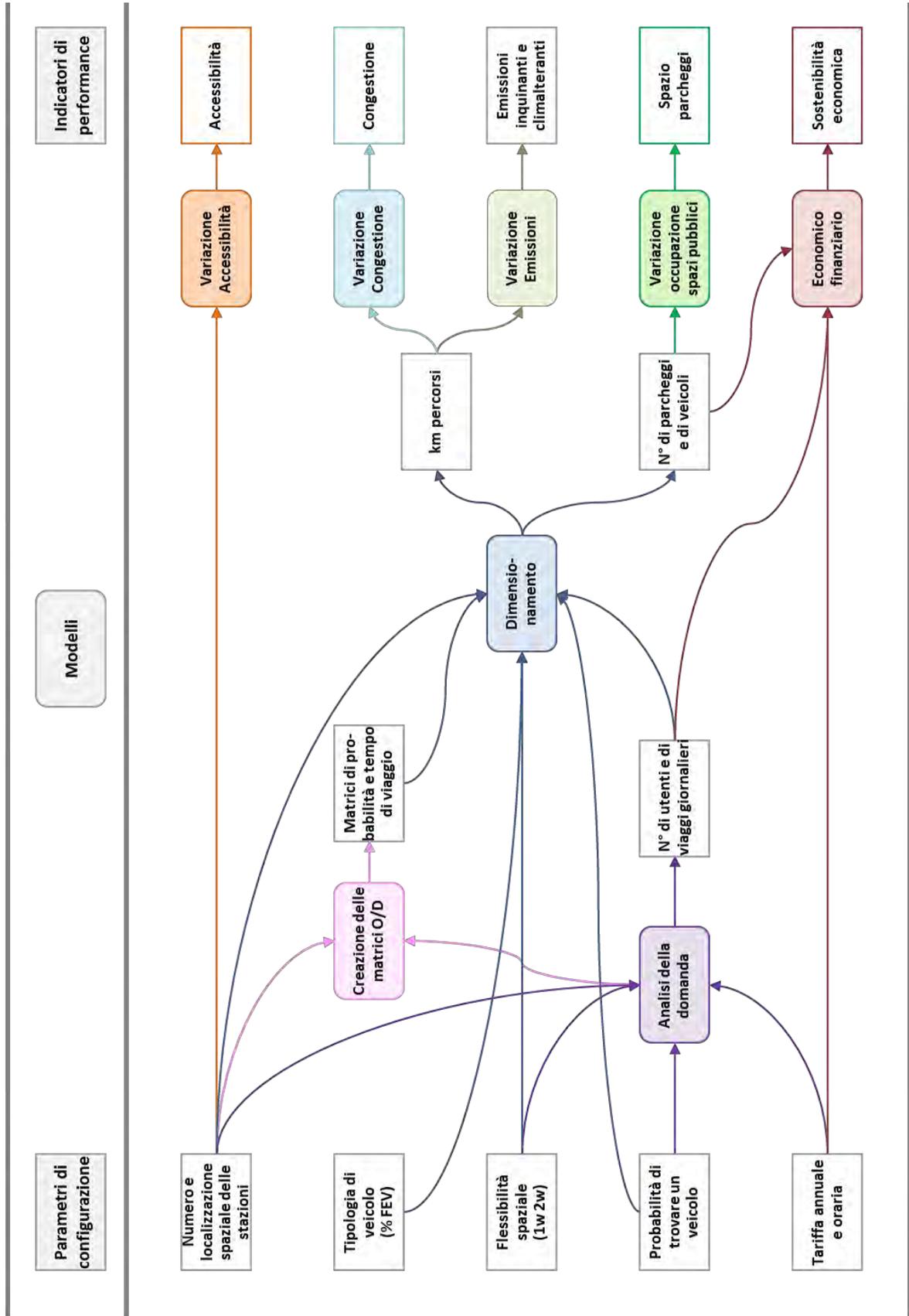


Figura 4.4 – Schematizzazione generale del modello di valutazione

4.2.2 Modello Analisi della domanda

Il modello è stato sviluppato a partire dall'analisi delle preferenze fornite dai rispondenti (cfr. paragrafo 2.2). Il modello Logit scelto per l'elaborazione delle risposte è in grado di fornire, al variare dei parametri di configurazione e della distanza dalla stazione più vicina, la probabilità che un utente aderisca al servizio di car sharing ipotizzato e definito dai parametri stessi.

Come illustrato nel paragrafo 2.2, l'Analisi della domanda ha quindi cercato di:

- approfondire le preferenze dei cittadini milanesi, in particolare di coloro in possesso di un'auto o comunque di patente di guida, in relazione a diversi modelli di servizio di auto condivisa (car sharing);
- elaborare un modello Logit che permettesse di stimare la probabilità di adesione di un singolo utente a un sistema di car sharing avente determinate caratteristiche. Per fare ciò l'indagine ha fatto ricorso alla tecnica delle preferenze dichiarate (Stated Preference, SP) basata sull'uso di risposte fornite da un campione di individui in relazione a contesti ipotetici che vengono loro presentati in forma opportuna;
- individuare la disponibilità degli intervistati a mettere in condivisione la propria auto.

Input

Definizione	Fonte	Note	Valori
Capillarità	Parametro di configurazione	c: in base alla localizzazione è possibile definire per ogni utente il tempo per raggiungere a piedi la stazione più vicina	Valori espressi in minuti in termini di tempo necessario per raggiungere il parcheggio più vicino. Variabile a seconda dell'alternativa
Flessibilità spaziale (1w 2w)	Parametro di configurazione	f: possibilità di restituire l'auto in qualunque parcheggio (1w) o in quello di prelievo (2w)	Valori espressi come 1 (1w) o 0 (2w)
Tariffa annuale e oraria	Parametro di configurazione	t_f = tariffa fissa annuale del servizio t_v = tariffa variabile oraria	Valori espressi in €/anno e €/ora Variabili a seconda dell'alternativa

Output

Una volta fissati i parametri di configurazione, il modello calcola per un generico cittadino residente nel comune di Milano e residente in un intorno della stazione più vicina a lui, la probabilità p che questo si iscriva al servizio di car sharing configurato.

Descrizione

L'elaborazione delle risposte fornite agli esercizi di SP è stata effettuata tramite un software apposito (per ulteriori dettagli si rimanda all'Allegato 1), attraverso il quale le preferenze fornite dai rispondenti vengono usate per la stima del valore di parametri di una funzione di utilità i cui argomenti sono le variabili utilizzate per la descrizione delle alternative.

Obiettivo del modello è stimare per ogni possibile alternativa di car sharing la probabilità che un individuo si iscriva al servizio di car sharing proposto. Il modello utilizzato è denominato logistico e

consente di ricavare una forma funzionale (identificata tramite dei parametri da stimare) che lega direttamente le variabili relative alle caratteristiche delle alternative alla probabilità di iscrizione al servizio di car sharing definito da tali variabili.

La forma generale di un modello logistico è del tipo :

$$p(U) = \frac{e^U}{1 + e^U}$$

Dove nel caso sotto esame:

P = probabilità che un utente si iscriva ad un servizio di car sharing avente un'utilità U

U = Utilità associata al servizio di car sharing sotto investigazione

Inoltre nel modello logistico l'utilità U è data dalla combinazione lineare di diversi fattori che partecipano alla sua definizione. In termini generali U assume infatti la forma $U = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r$, in cui x_j sono delle variabili relative alle caratteristiche delle alternative e β_j sono dei parametri che misurano l'importanza relativa di ciascuna variabile. La stima del modello consiste nella stima dei parametri β_j .

Stimare il modello derivante dalle risposte alle domande di preferenze dichiarate significa innanzitutto decidere quali variabili inserire nella funzione di utilità, variabili in questo caso dell'alternativa car sharing. Per arrivare alla scelta definitiva delle variabili da includere sono stati fatti molti test per valutare la significatività delle variabili nel determinare l'utilità U per gli utenti e il loro peso relativo nella scelta. La funzione di utilità è rappresentata dalla seguente espressione:

$$U = \beta_0 + \beta_{t_f} t_f + \beta_{t_v} t_v + \beta_c c + \beta_f f + \beta_{sa} sa + \beta_g g + \beta_e e + \beta_o o + \beta_{nc} nc$$

Dove

1. t_f Tariffa fissa annuale del servizio
2. t_v Tariffa Variabile oraria
3. c Capillarità delle stazioni (misurata in minuti che ci si impiega a raggiungere la stazione più vicina)
4. f Possibilità di restituire l'auto in qualunque stazione (1way) o in quella di prelievo (2way)
5. sa Disponibilità di servizi aggiuntivi a quello del semplice car sharing
6. g Genere, 1 se utente donna altrimenti 0
7. e Fascia età a cui appartiene l'utente: 1 tra i 20 e 30 anni, 2 tra i 30 e 40 anni, 3 tra 40 e 50 anni, 4 oltre i 50 anni
8. o Stato occupazionale, 1 se l'utente occupato, altrimenti 0.
9. nc Numero di auto possedute da ogni famiglia

È stato individuato un modello ridotto dal quale sono stati rimossi tra i regressori sia i parametri di configurazione non risultati significativi (ServAgg) sia tutti i regressori indicanti le caratteristiche individuali degli utenti (Genere, Età, StatoOcc, Numcar) in quanto non integrabili coi dati AMAT in seguito utilizzati per costruire le matrici orarie degli spostamenti. I dati AMAT non sono infatti stratificati per genere, età, stato occupazionale e numero di auto del nucleo familiare.

Il modello ridotto assume quindi la forma:

$$U = \beta_0 + \beta_{t_f} t_f + \beta_{t_v} t_v + \beta_c c + \beta_f f$$

dove i valori dei coefficienti sono stati stimati col metodo della massima verosimiglianza pesata. Ovvero ai parametri incogniti è stato assegnato il valore che massimizza la probabilità di osservare le risposte fornite dagli intervistati. Tale probabilità è calcolata assegnando un peso diverso agli intervistati

esattamente proporzionale alla sua rappresentatività rispetto all'universo della popolazione Milanese dotata di patente di guida.

In conclusione, i parametri di configurazione stimati risultano essere tariffa fissa (€/anno), tariffa variabile (€/ora), capillarità (minuti) e restituzione (1 = oneway, 0 = twoway) e assumono i valori riportati di seguito:

Coefficiente	Parametro di configurazione	Valore di β_j	Significatività
β_0	Intercetta	-2,291623	9,76e-15
β_{tf}	Tariffa fissa	-0,009772	6,68e-09
β_{tv}	Tariffa variabile	-0,123986	0,00204
β_c	Capillarità	0,234164	0,11350
β_f	Flessibilità spaziale	-0,037040	0,06736

Da un confronto delle significatività tra i regressori contenuti nel modello mostra come il fattore economico, sia nella forma tariffa fissa che variabile, risulti quello più chiaramente individuabile dal questionario seguito dal fattore capillarità che risulta anch'esso significativo sebbene debolmente. Il fattore modalità di restituzione, sebbene meno significativo dal punto di vista statistico, è stato mantenuto nel modello sulla base della sua influenza sul comportamento reale dell'utenza.

Per confrontare l'importanza dei vari fattori sulla percentuale di iscritti al servizio di car sharing si noti come il calo nella probabilità del singolo utente di iscriversi ad un servizio di car sharing attribuibile al passaggio da un car sharing di tipo 1way ad un car sharing di tipo 2w è stimato dal modello essere uguale a quello attribuibile ad un aumento della tariffa annuale di 23,96€ o ad un aumento della tariffa oraria di 1,89€ o ad un aumento del tempo per raggiungere la stazione di 6,32 minuti.

Una volta stimati i parametri è possibile usarli nel modello Logit per stimare la percentuale di individui che si iscriverebbero a un servizio di car sharing sulla base delle caratteristiche di tale servizio tra coloro che risiedono ad una determinata distanza dalle stazioni. Per calcolare la probabilità che un individuo si iscriva al car sharing si calcola il prodotto tra i valori dalle costanti β_j e i valori assunti dai parametri di configurazione x_j .

A partire dai valori dei parametri ottenuti, si calcola la probabilità p che una persona decida di usufruire del servizio di car sharing offerto da Green Move:

$$p = \frac{e^{b_0 + b_{tf} \cdot t_f + b_{tv} \cdot t_v + b_c \cdot c + b_f \cdot f}}{1 + e^{b_0 + b_{tf} \cdot t_f + b_{tv} \cdot t_v + b_c \cdot c + b_f \cdot f}}$$

dove:

- β_0 (parametro fisso) = -2.29162
- β_{tf} (coefficiente relativo alla tariffa fissa) = -0.00977
- t_f (valore della tariffa fissa [€/anno])
- β_{tv} (coefficiente relativo alla tariffa variabile) = -0.12399
- t_v (valore della tariffa variabile [€/ora])
- β_c (coefficiente relativo alla capillarità) = -0.03704
- c (capillarità [minuti])
- β_f (coefficiente relativo alla flessibilità spaziale) = 0.234164
- f (flessibilità spaziale: 1 = 1way, 0 = 2way)

4.2.3 Modello di creazione delle matrici O/D

Il modello è stato implementato nel linguaggio di programmazione di MATLAB. L'algoritmo riceve in input i dati di popolazione e dei flussi di spostamento, le matrici di domanda e le configurazioni spaziali delle stazioni. Grazie ai parametri di analisi della domanda implementati in una funzione logit, che fornisce la percentuale di utenti del servizio sul bacino potenziale totale, l'algoritmo calcola il numero di utenti potenziali che si spostano da una stazione all'altra (matrice Origine/Destinazione). Il calcolo è stato effettuato distribuendo i dati raccolti dalle fonti, su griglie spaziali regolari a maglie quadrate di 500 metri di lato, sotto l'ipotesi che essi siano distribuiti uniformemente all'interno dei poligoni delle fonti dato originari (sezioni di censimento e zone O/D dei flussi di spostamento). Il numero di file di output del modello è pari a 864, valore che si ricava dal prodotto delle combinazioni delle configurazioni di input: 8 configurazioni di tariffa, 2 configurazioni di flessibilità, 18 configurazioni spaziali e 3 fasce orarie (mattina, morbida e sera).

Input

Definizione	Fonte	Note
Sezioni di Censimento 2011 (da Censimento ISTAT 2011): rappresentazione geografica vettoriale delle sezioni di censimento 2011, con indicazione della popolazione residente a Milano	Open Data Comune di Milano (http://dati.comune.milano.it/dato/item/98)	Valori espressi in numero di abitanti Sistema di Rappresentazione cartografica Gauss-Boaga
<i>Matrici di domanda che riportano i flussi di spostamento tra le zone di Milano (secondo la suddivisione AMAT, vedi input successivo). I flussi di spostamento sono suddivisi in 3 fasce orarie (vedi descrizione a fianco nelle Note):</i> <ul style="list-style-type: none"> • fra le h 7 e le h 10; • fra le h 10 e le h 16; • fra le h 16 e le h 20. 	AMAT Milano (Agenzia Mobilità Ambiente Territorio)	Valori espressi in termini di veicoli equivalenti. I valori sono relativi a un'ora di riferimento all'interno di ogni fascia oraria. Per ottenere i veicoli equivalenti per un'intera fascia oraria si moltiplicano i valori di riferimento per i coefficienti di fascia forniti da AMAT. <ul style="list-style-type: none"> • ora di punta del mattino (8:00 - 8:59): rappresentativa della domanda della fascia oraria compresa fra le h 7 e le h 10; coefficiente di fascia oraria: 2.33 • ora media della fascia di morbida: rappresentativa della domanda della fascia oraria compresa fra le h 10 e le h 16; coefficiente di fascia oraria: 6 • ora di punta della sera: (17:00 - 17:59): rappresentativa della domanda della fascia oraria compresa fra le h 16 e le h 20; coefficiente di fascia oraria: 3.52 • ore notturne: la domanda relativa alla fascia notturna (fra le h 20 e le h 7) è derivata da quella della fascia di morbida, come descritto nel seguito. Coefficiente di fascia oraria: 1 (non definito da AMAT, autodefinito)
Rappresentazione geografica vettoriale delle zone di Milano a cui si riferiscono i flussi di spostamento di cui sopra	AMAT Milano (Agenzia Mobilità Ambiente Territorio)	In seguito per semplicità ci si riferirà a queste zone con il termine "Zone AMAT"

Rappresentazione geografica vettoriale del grafo stradale del Comune di Milano	AMAT Milano (Agenzia Mobilità Ambiente Territorio)	
--	---	--

Output

Il modello calcola gli utenti potenziali che si spostano da una stazione all'altra, per ogni:

- configurazione spaziale delle stazioni;
- combinazione tariffaria;
- configurazione di flessibilità spaziale (1way o 2way);
- fascia oraria, in corrispondenza dell'ora di riferimento del rilievo AMAT.

Descrizione

I dati relativi alle sezioni di censimento e alle zone di Milano a cui si riferiscono i flussi di spostamento (fornite da AMAT) sono stati rielaborati in una forma che potesse essere utilizzata dal modello, creando delle griglie spaziali regolari a maglia di 500 metri: questa operazione implica l'ipotesi semplificativa che la popolazione sia distribuita uniformemente all'interno di ogni zona di censimento e i flussi di spostamento lo siano all'interno di ogni zona di spostamento (vedi Figura 4.5).

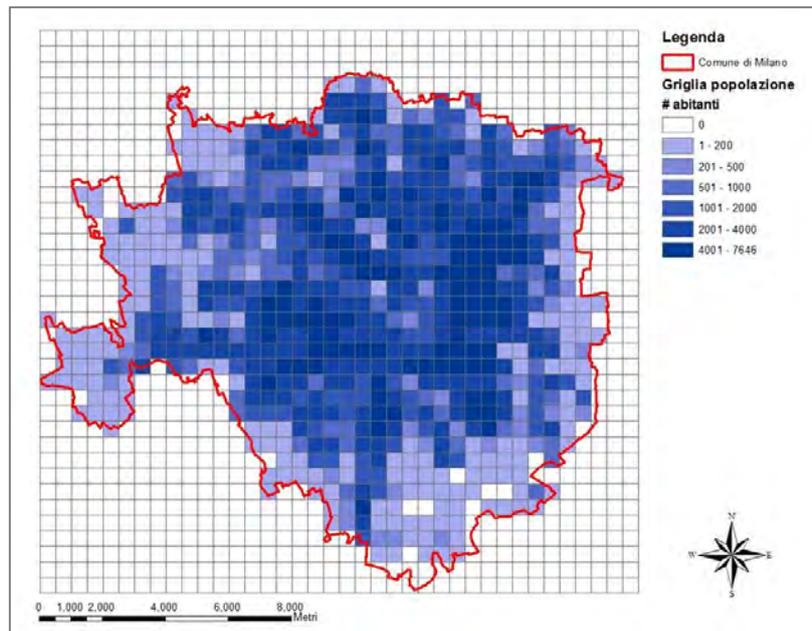


Figura 4.5 – Griglia spaziale regolare a maglia di 500 metri relativa alla popolazione del Comune di Milano; per ogni cella è indicato il numero di abitanti, sotto l'ipotesi di distribuzione uniforme della popolazione all'interno di ogni zona di censimento

Per il calcolo degli utenti potenziali, riferiti a ciascuna combinazione tariffaria e di flessibilità spaziale (1way o 2way) considerate, il numero di abitanti corrispondenti a ciascuna cella della griglia è stato moltiplicato per un valore costante ottenuto da una funzione di tipo logit, fornita dal modello di analisi della domanda (cfr. paragrafo 4.2.2) che fornisce la probabilità p che una persona decida di usufruire del servizio di car sharing offerto da Green Move:

$$p = \frac{e^{b_0 + b_{tf} \cdot t_f + b_{tv} \cdot t_v + b_c \cdot c + b_f \cdot f}}{1 + e^{b_0 + b_{tf} \cdot t_f + b_{tv} \cdot t_v + b_c \cdot c + b_f \cdot f}}$$

dove:

- b_0 (parametro fisso)
- b_{tf} (coefficiente relativo alla tariffa fissa)
- t_f (valore della tariffa fissa [€/anno])
- b_{tv} (coefficiente relativo alla tariffa variabile)
- t_v (valore della tariffa variabile [€/ora])
- b_c (coefficiente relativo alla capillarità)
- c (capillarità [minuti])
- b_f (coefficiente relativo alla flessibilità spaziale)
- f (flessibilità spaziale: 1 = 1way, 0 = 2way)

Il calcolo delle matrici Origine/Destinazione (O/D) si basa sulle seguenti ipotesi:

- è stata considerata una velocità media di spostamento a piedi di un potenziale utente pari a 4 km/h;
- è stato considerato un bacino di utenza per ogni stazione corrispondente agli utenti che si trovano entro 15 minuti di cammino.

Di conseguenza, in termini spaziali, il bacino di utenza di ogni stazione corrisponde ad 1 km.

Nella Figura 4.6 è rappresentata la probabilità p in funzione della distanza dalla stazione e dal relativo tempo necessario a raggiungerla, nell'intervallo compreso 0 e 15 minuti (i valori utilizzati in questo esempio sono tariffa fissa = 50 €/anno, tariffa variabile = 5 €/ora e flessibilità spaziale = 1 (1way)). Come si può notare, con i parametri stabiliti con l'analisi della domanda e nell'intervallo di interesse, la funzione logit assume un andamento quasi lineare, sia con questa combinazione tariffaria che con le altre considerate e sia nel caso 1way che in quello 2way: per semplificare l'implementazione del modello, data la quasi linearità della funzione nell'intervallo di interesse, si è quindi deciso di prendere il valore medio di p tra 0 e 15 minuti, e di considerare questo valore come probabilità di riferimento per i potenziali utenti del servizio all'interno di ogni cella della griglia del bacino di utenza di ogni stazione.

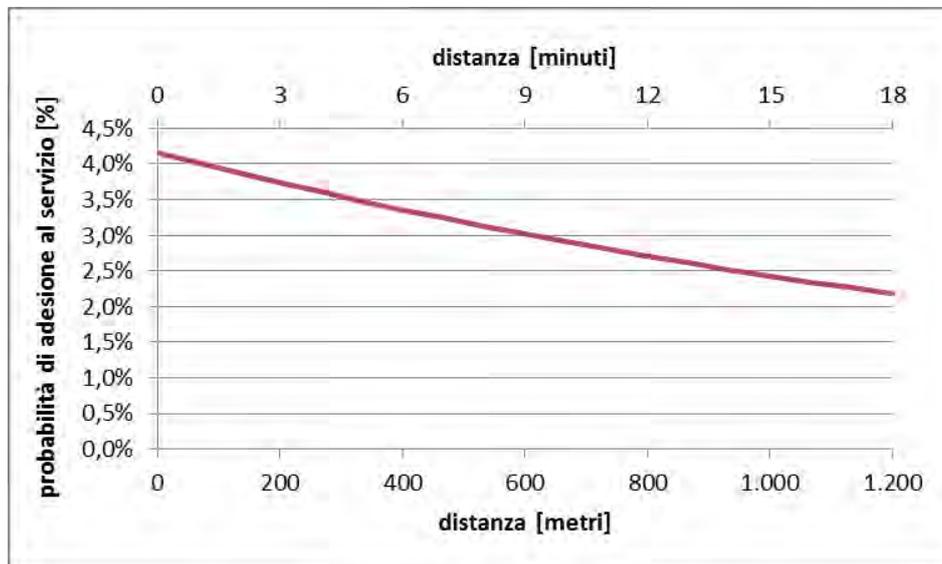


Figura 4.6 – Probabilità p in funzione del tempo fornita dalla funzione logit, nell'intervallo compreso 0 e 15 minuti, con i parametri tariffa fissa = 50 €/anno, tariffa variabile = 5 €/ora, flessibilità spaziale = 1 (1way)

Gli output del modello sono stati ottenuti grazie all'implementazione di un algoritmo sviluppato col linguaggio di programmazione del software MATLAB. L'algoritmo riceve in input i file di testo contenenti le griglie in cui ogni pixel è caratterizzato da:

- dati di popolazione;
- dati delle zone di Milano a cui si riferiscono i flussi di spostamento AMAT;

- dati relativi alle configurazioni spaziali delle stazioni (se un pixel ricade nel bacino di utenza di una stazione, ad esso è associato il codice di quella stazione).

Inoltre l'algoritmo riceve in input le matrici di domanda AMAT (una per ogni fascia oraria), sempre in formato testo.

I dati di input variano in funzione dei parametri del modello, in particolare gli utenti potenziali dipendono dalle variabili del modello di analisi della domanda, la distribuzione delle stazioni dipende dalle configurazioni individuate e le matrici di domanda AMAT sono state considerate separatamente in funzione delle fasce orarie disponibili. Inoltre, come descritto precedentemente, tutti i dati di input dell'algoritmo di calcolo sono stati riferiti a griglie di passo 500 metri.

Gli input effettivi dell'algoritmo sono quindi:

- 16 input corrispondenti alle griglie riferite agli utenti potenziali, calcolati attraverso l'applicazione della funzione logit, una per ogni combinazione di tariffe (8) e per ogni tipologia di flessibilità spaziale, 1way o 2way (2);
- 18 input corrispondenti alle griglie riferite alle configurazioni spaziali (per ogni cella è indicato il codice della stazione più vicina – considerando un bacino di utenza di 1 km per ogni stazione – e il numero di celle che costituiscono il bacino di utenza di ogni stazione);
- un input corrispondente alla griglia relativa alle zone a cui si riferiscono i flussi di spostamento AMAT (per ogni cella è indicata la zona AMAT e il numero di celle attribuite alla stessa zona);
- 3 input ricavati, come descritto nel seguito, dalle matrici di domanda AMAT, uno per ogni fascia oraria, in corrispondenza dell'ora di riferimento del rilievo AMAT.

Le matrici di domanda AMAT sono delle tabelle indicanti, per ciascuna coppia di zone di origine/destinazione, i flussi di spostamento espressi in termini di veicoli equivalenti, ottenuti a partire dagli spostamenti effettuati con automobile o moto, utilizzando per queste ultime un peso pari a 0,5 rispetto all'automobile. I dati sono disaggregati per motivo di spostamento (lavoro sistematico, affari, ritorno a casa, studio ed altri motivi), ma per i nostri scopi si è deciso di riaggregare questa informazione e di non distinguere gli spostamenti in base al motivo. Nell'algoritmo sviluppato in MATLAB l'input corrispondente alla matrice di domanda AMAT riporta il rapporto percentuale (% V_{eq}) tra il numero di veicoli che si spostano tra una zona di origine ed una di destinazione e il totale dei veicoli che partono dalla zona di origine verso tutte le altre zone. Le tabelle presentate in Figura 4.7 mostrano due differenti modi di rappresentazione della stessa informazione, ossia i valori % V_{eq} relativi all'ora di punta del mattino: nel primo caso ogni riga corrisponde ad una coppia di zone AMAT origine/destinazione, e per ognuna di esse è rappresentato il valore % V_{eq} relativo (forma vettoriale); nel secondo caso i dati sono stati rielaborati: ogni valore % V_{eq} della matrice fa riferimento alla corrispondente zona di origine riportata in riga e alla corrispondente zona di destinazione riportata in colonna (forma matriciale). La prima è quella delle matrici di domanda della fonte AMAT, la seconda è la rielaborazione necessaria per utilizzare le matrici di domanda stesse all'interno dell'algoritmo MATLAB.

ORIG	DEST	% V_{eq}								
37	40	0.537								
37	41	3.184								
37	42	2.715								
37	43	4.476								
37	44	1.007								
37	46	1.893								
37	56	3.123								
37	62	1.765								
...								



% V_{eq}	DEST								
ORIG	...	37	38	39	40	41	42	...	
...	
37	...	0.000	0.000	0.000	0.537	3.184	2.715	...	
38	...	0.000	0.000	0.000	0.000	1.126	0.000	...	
39	...	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	...	
40	...	0.000	3.936	1.460	0.000	0.000	2.630	...	
41	...	0.000	0.820	1.346	1.080	0.000	0.000	...	
42	...	0.000	2.434	0.000	0.955	5.089	0.000	...	
...	

Figura 4.7 – Estratto della matrice di domanda AMAT relativa all'ora di punta del mattino. Nella tabella di sinistra ogni riga rappresenta una coppia di zone AMAT origine/destinazione (forma vettoriale), nella tabella di destra le zone di origine sono elencate sulle righe, le zone di destinazione sulle colonne (forma matriciale)

Le matrici di domanda AMAT non forniscono informazioni riguardo al traffico notturno: per avere un'indicazione anche riguardo alla notte, di modo da poter simulare le richieste sull'intero arco della giornata, si è deciso di utilizzare la matrice di domanda rappresentativa dell'ora di rilievo della fascia di morbida anche per la fascia notturna (tra le h 20 e le h 7), ipotizzando che i flussi di spostamento nell'ora di riferimento della fascia di morbida siano pari ai flussi di spostamento di tutte le 11 ore notturne. Conseguenza di questa ipotesi è che l'input del modello derivato dalle matrici di domanda (e di conseguenza gli output) è equivalente per la fascia di morbida e per la fascia notturna, solo che il traffico medio orario della fascia di morbida è pari, per qualunque destinazione, al prodotto del traffico dell'ora di rilievo per il coefficiente di fascia (pari a 6) diviso il numero di ore (pari a 6), mentre quello notturno è $1/11$ (prodotto del traffico dell'ora di rilievo della fascia di morbida, per il coefficiente notturno, pari a 1, diviso il numero di ore, 11).

In generale si è preferito attenersi ai dati originali di rilievo AMAT e trasferire l'informazione del traffico O/D ai differenti orari tramite i coefficienti che direttamente AMAT fornisce (ovvero autodefiniti per la fascia notturna). Ad esempio: per l'orario di punta della fascia mattutina, l'acquisizione è stata fatta tra le 8.00-9.00. Il coefficiente AMAT è pari a 2.33, quindi moltiplicando i valori riportati nelle matrici dell'ora di punta (della fascia mattutina) per il coefficiente 2.33 si ottiene tutto il traffico della mattina (7-10). Dividendolo per 3, si ottiene il traffico orario medio mattutino. Gli output finali sono 864 (16 configurazioni tariffa-flessibilità per 18 configurazioni spaziali per 3 fasce orarie).

In Figura 4.8 viene riportata la schematizzazione del modello di creazione delle matrici O/D.

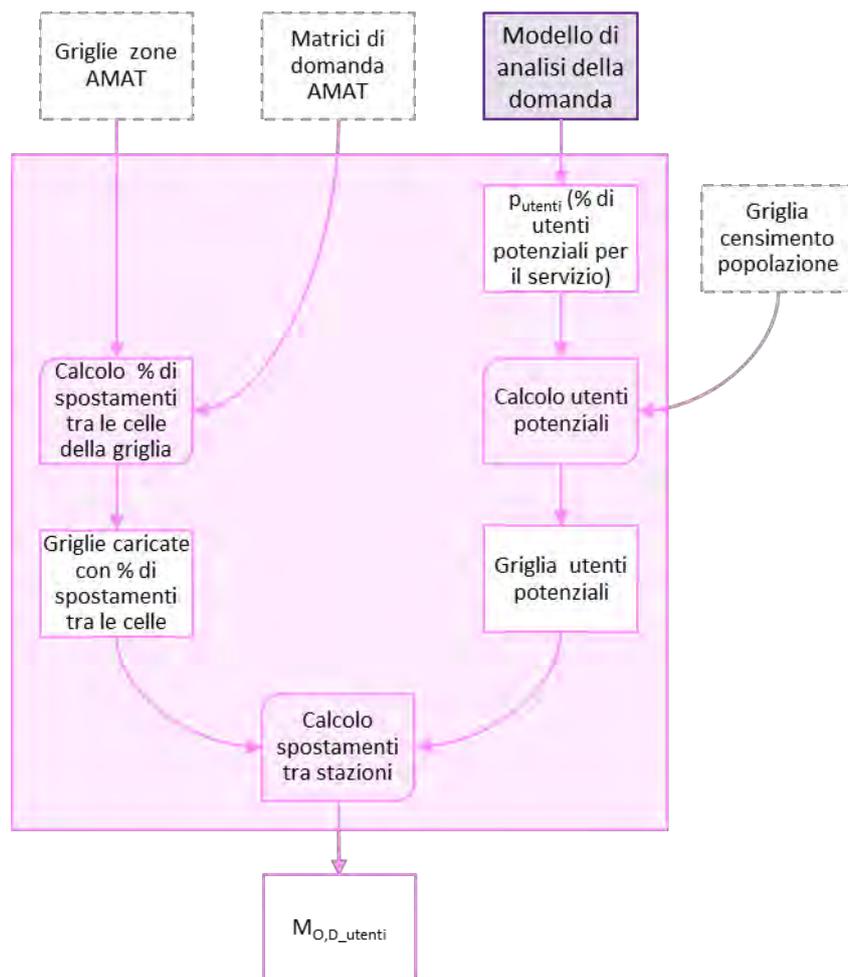


Figura 4.8 – Schematizzazione del modello di creazione delle matrici O/D (in rosa)

4.2.4 Modello Dimensionamento flotta e stalli

Compito di questo modello è la stima:

- del numero di veicoli che devono comporre la flotta al fine di soddisfare una percentuale prestabilita (settata tramite il parametro “probabilità di trovare un veicolo”) delle richieste di prenotazione previste (N_{veicoli});
- del numero di stalli necessari per garantire in ogni istante del servizio lo stazionamento dei veicoli temporaneamente non utilizzati (N_{stalli});
- del numero di km percorsi dalle auto della flotta (KM_{CS}).

Il cuore del modello, sviluppato in linguaggio Matlab, è in grado di riprodurre l’andamento temporale del servizio durante una giornata tipo, simulando le richieste di prelievo presso ogni stazione e lo spostamento di ogni singolo veicolo dalla stazione di prelievo a quella di rilascio; il modello tiene in questo modo traccia del numero di veicoli presenti in ogni istante per ogni stazione, potendo calcolare di conseguenza il numero minimo di stalli da garantire per ogni stazione e il numero di veicoli da prevedere a inizio servizio per soddisfare la percentuale desiderata di richieste.

I principali input del modello consistono nei dati relativi alla localizzazione spaziale delle stazioni e in quelli derivanti dalla combinazione dei moduli di analisi della domanda e di creazione delle matrici O/D.

Input

Il modello richiede prevalentemente due insiemi di dati in ingresso, che caratterizzano il servizio dal lato dell’offerta e della domanda.

Definizione	Fonte	Note	Valori
Localizzazione spaziale delle stazioni	Parametro di configurazione	Parametro di Offerta: punti di prelievo e rilascio presenti nell’area coperta dal servizio: il dato è fortemente dipendente dalla capillarità del servizio, posta in relazione con l’estensione dell’area per la quale viene offerto il servizio	Variabile a seconda dell’alternativa
Flessibilità spaziale (1w o 2w)	Parametro di configurazione	Parametro di Offerta: possibilità di restituire l’auto in qualunque parcheggio (1w) o in quello di prelievo (2w)	Valori espressi come 1 (1w) o 0 (2w)
Lunghezza media del percorso in modalità 2w	Da letteratura	Parametro di domanda: viene utilizzato per generare in modo casuale la durata del singolo spostamento	È attivo solo in modalità 2w
Durata media della sosta in modalità 2w	Da letteratura	Parametro di domanda: viene utilizzato per generare in modo casuale il tempo di sosta per singolo spostamento	È attivo solo in modalità 2w
Tipologia di veicoli (%FEV)	Parametro di configurazione	Parametro di Offerta: rappresenta la percentuale di veicoli elettrici all’interno della flotta veicoli. Viene utilizzato un coefficiente moltiplicativo utile a indicare, nel caso di flotta elettrica, quanti veicoli in più bisogna prevedere rispetto ad un car sharing con veicoli tradizionali per tener conto dei tempi di ricarica dei veicoli elettrici.	%, Variabile a seconda dell’alternativa
Probabilità di	Parametro di	Parametro di Offerta: indica la percentuale di	Variabile a

trovare un veicolo	configurazione	domanda di spostamenti soddisfatta. Le matrici origine/destinazione relative al numero di spostamenti moltiplicate per la probabilità forniscono il numero e la distribuzione spaziale degli spostamenti che vengono poi simulati dal modello di dimensionamento	seconda dell'alternativa
Matrice O/D utenti	Modello di creazione delle matrici O/D	Parametro di Domanda: utenti potenziali che si spostano tra le stazioni del sistema.	M_{O,D_utenti}
Coefficiente utenti-spostamenti	Da letteratura	Rappresenta il numero di spostamenti giornaliero per ogni utente. Permette di stimare il numero di spostamenti degli utenti	$coeff_{ut/sp}$

Output

- **Matrice delle distanze** ($M_{distanze}$): rappresenta la matrice delle distanze tra le stazioni della configurazione, calcolata attraverso un algoritmo di routing ottimo.
- **Matrice degli spostamenti** ($M_{O,D_spostamenti}$): rappresenta la domanda di spostamenti oraria, calcolata a partire dalla ripartizione degli utenti nella matrice M_{O,D_utenti} . Si ottiene moltiplicando il numero di utenti per un opportuno coefficiente, definito tramite analisi di letteratura, che rappresenta il numero di spostamenti al giorno per ogni utente ($coeff_{ut/sp}$). La somma delle matrici di spostamento definite per ognuna delle fasce orarie della giornata fornisce il numero di spostamenti totale della giornata.
- **Numero di stazioni** ($N_{stazioni}$), ricavato dalla configurazione spaziale in esame.
- **Numero di veicoli** ($N_{veicoli}$) che devono essere presenti all'inizio del servizio giornaliero, in ogni stazione, al fine di poter soddisfare la percentuale prestabilita di richieste di prenotazione settata tramite il parametro "probabilità di trovare un veicolo".
- **Numero di stalli** (N_{stalli}) che devono essere previsti presso ogni stazione per accogliere il picco massimo previsto di veicoli in sosta durante la giornata nella stazione stessa.
- **Numero totale di chilometri giornalieri percorsi** (KM_{CS}) da tutti i veicoli del servizio, ottenuti dalla somma dei km percorsi per ogni spostamento simulato dal modello.

Descrizione

Per questa fase di dimensionamento della flotta e degli stalli è stato implementato un modello di simulazione, in grado di riprodurre il funzionamento del servizio di vehicle sharing. Il modello sviluppato è di tipo dinamico e microscopico, in quanto:

- è in grado di simulare l'andamento giornaliero del servizio nell'arco di una giornata tipo, con passo temporale di 1 minuto;
- viene simulato lo spostamento di ogni singolo veicolo da una stazione all'altra (prelievo dalla stazione di origine e rilascio presso la stazione di destinazione), tenendo conto del tempo e dei km percorsi per ogni spostamento;
- ogni stazione è modellata separatamente, simulando:
 - l'andamento temporale del numero di veicoli in essa presenti;
 - le richieste di prelievo (con verifica della disponibilità veicolo) e di rilascio, estratte da un pattern predefinito di domanda inserito in ingresso.

Di seguito vengono illustrati più nel dettaglio alcuni punti significativi del funzionamento logico del modello.

Calcolo delle distanze tra le stazioni

Se viene definito S come l'insieme delle stazioni della configurazione in esame, per ogni coppia di stazioni s_1, s_2 appartenenti all'insieme S è stato calcolato il percorso di lunghezza minima, $l_{s_1s_2}$, sulla rete stradale di AMAT ("Grafo di offerta stradale versione 0.4", Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio, 2008). Tali percorsi sono stati determinati applicando $|S|$ volte l'algoritmo di Dijkstra (Figura 4.9). Infatti ogni chiamata di tale algoritmo permette di calcolare l'insieme dei cammini minimi da uno specificato nodo del grafo stradale (origine) verso ogni altro nodo. La validità dell'algoritmo di Dijkstra è garantita dal fatto che gli attributi degli archi sono positivi (trattandosi di lunghezze).

La logica dell'algoritmo è quella di associare ad ogni nodo v un'etichetta, $L[v]$, che alla fine dell'algoritmo rappresenterà la lunghezza del cammino minimo per andare dal nodo origine al nodo v , mentre nelle iterazioni intermedie rappresenta la lunghezza del miglior cammino trovato sino a quel momento. Il nodo origine, indicato con O , viene inizializzato con etichetta $L[O]=0$. Tale etichetta viene resa definitiva poiché avendo archi con attributi positivi non è possibile avere cammini di valore inferiore a 0. I nodi etichettati in modo definitivo vengono memorizzati nell'insieme U (attualmente costituito solo dal nodo O). Vengono quindi calcolate le etichette di tutti i nodi successori del nodo O e, come si vede nella riga 6 dello pseudocodice, viene resa definitiva l'etichetta di valore minimo tra i nodi non ancora etichettati in modo definitivo (la correttezza di tale operazione è di nuovo garantita dal fatto che gli attributi degli archi sono positivi). Viene inoltre memorizzato in $Pred[h]$ il predecessore del nodo di etichetta minima, h , appena determinato. Dopo n iterazioni di tali operazioni, essendo n il numero di nodi del grafo, l'algoritmo si arresta poiché tutti i nodi risultano avere etichetta definitiva.

Ogni chiamata dell'algoritmo di Dijkstra richiede un ordine di complessità computazionale (che rappresenta il numero di operazioni elementari che l'algoritmo richiede per risolvere la peggiore delle istanze) pari a $O(n^2)$ con n pari al numero di nodi del grafo. Nello scenario con capillarità maggiore ($|S|=730$) sono state necessarie circa 14 ore di tempo di calcolo per generare le distanze per ogni coppia di stazioni sulla rete stradale di AMAT (dove $n=14021$) con un computer Intel Xeon 2.80 GHz e 2GB di RAM.

Si noti che per semplicità non sono state considerate le svolte vietate. Infatti sebbene tale informazione sia contenuta nel database di AMAT per potere generare i cammini minimi con i vincoli di svolta occorrerebbe applicare algoritmi più sofisticati dell'algoritmo di Dijkstra che richiederebbero un maggiore tempo di calcolo.

In questo modo è stata ottenuta la matrice delle distanze $M_{distanze}$ dove l'elemento di posto s_1, s_2 è dato da $l_{s_1s_2}$. Si noti che tale matrice non è simmetrica dato che il grafo associato alla rete stradale di AMAT è asimmetrico poiché tiene conto dei versi di percorrenza delle strade.

Algoritmo Dijkstra

```

1. begin
2.   porre  $U=\{o\}$ ,  $L[o]=0$ ,  $Pred [o]=o$ ;
3.   while  $|U| \neq n$  do
4.     begin
5.       individuare  $(v,h) \in \delta^+(U) = \{(i,j):(i,j) \in A, i \in U, j \notin U\}$  t.c.
6.        $L[v] + c_{vh} = \min\{L[i] + c_{ij} : (i,j) \in \delta^+(U)\}$ ;
7.       porre  $L[h] = L[v] + c_{vh}$ ;
8.       porre  $Pred [h] = v$ ;

```

```

9.         porre  $U = U \cup \{h\};$ 
10.      end
11. end

```

Figura 4.9 – Pseudocodice dell’algoritmo di Dijkstra (“ c_{ij} ” indica la lunghezza dell’arco (i,j))

Calcolo degli spostamenti

A partire dalle matrici O/D delle origini e destinazioni degli utenti (M_{O,D_utenti}), generate dal modello di creazione delle matrici O/D, viene calcolata la matrice degli spostamenti ($M_{O,D_spostamenti}$) attraverso un coefficiente che indica il numero giornaliero di spostamenti per ogni utente ($coeff_{ut/sp}$)

$$M_{O,D_spostamenti} = coeff_{ut/sp} \cdot M_{O,D_utenti}$$

Nel caso 2w, origine e destinazione coincidono, pertanto le matrici O/D sono utilizzate per stabilire le origini dei vari spostamenti mentre le destinazioni sono assunte di destinazione, durata e lunghezza causale. Il numero totale di viaggi in partenza da ogni stazione viene calcolato sommando rispetto a tutte le destinazioni.

Metodo di determinazione dei veicoli della flotta

Per ogni stazione viene previsto un contatore dei veicoli presenti ed esso viene inizialmente posto uguale a zero. Questa impostazione permette di istruire il modello per calcolare il fabbisogno di veicoli in modo “inverso” rispetto alla situazione reale: al tempo zero si ipotizza infatti che non ci siano veicoli a disposizione e solo nell’istante in cui si presenta una richiesta di prelievo viene “generato” un veicolo che lascia la stazione per simulare il viaggio richiesto, dirigendosi verso la stazione di arrivo. Anche negli istanti temporali successivi, ogni qual volta una richiesta di prelievo non può essere soddisfatta dai veicoli già in precedenza immessi nella simulazione (ad esempio se la stazione di prelievo in quel momento non presenta veicoli in sosta o se ne presenta in numero inferiore rispetto alle richieste pervenute), viene generato un nuovo veicolo.

Per ogni stazione è impostato un contatore che tiene traccia dei veicoli generati durante tutto l’arco temporale della simulazione. Il valore finale di questo contatore rappresenta proprio il numero di veicoli necessario per far fronte a tutte le richieste di prelievo che si manifestano durante il servizio giornaliero ($N_{veicoli}$).

Simulazione dei prelievi dalle stazioni di origine

Per ogni stazione il modello predispose una lista di richieste di prelievo, determinando l’orario esatto in cui la richiesta avrà luogo. La procedura adottata per quest’operazione è la seguente:

- per ognuna delle ore di funzionamento del servizio (nella configurazione simulata pari a 24 ore) viene considerata la relativa domanda giornaliera di viaggi fornita in ingresso al modello e già differenziata per stazione di prelievo;
- all’interno di ogni ora le richieste totali di prelievo relative a ogni stazione vengono distribuite in modo casuale lungo i 60 minuti della fascia oraria, definendo in questo modo il minuto esatto nel quale il modello deve prendere in carico ogni richiesta di viaggio. La suddetta distribuzione casuale è modificata a ogni corsa effettuata del modello per ogni configurazione simulata (10 run previste per ogni configurazione, come spiegato in seguito);
- per ogni stazione e minuto della simulazione, la richiesta di prelievo viene confrontata con il parco veicoli presente **presso la stazione stessa**:
 - in presenza di veicoli disponibili il modello opziona per lo spostamento un veicolo presente nella stazione;
 - in assenza di veicoli disponibili il modello “genera”, come descritto in precedenza, un nuovo veicolo, **incrementando il contatore dei veicoli generati**.

- l'apposito contatore dei veicoli presenti presso la stazione viene diminuito di una unità (solo nel caso di generazione di un nuovo veicolo il medesimo contatore viene però precedentemente aumentato di un'unità).

Simulazione dei viaggi

Quando un prelievo viene simulato presso una determinata stazione di origine e in un determinato istante di tempo, il modello definisce a questo punto:

- la destinazione dello spostamento:
 - nel caso 1w essa è determinata tramite un'estrazione casuale guidata dalla distribuzione fornita dalle matrici O/D $M_{O,D_spostamenti}$ (rappresentano la distribuzione percentuale dei viaggi rispetto alle diverse possibili destinazioni, una volta prefissata l'origine dello spostamento);
 - nel caso 2w la destinazione coincide con l'origine;
- la lunghezza dello spostamento:
 - nel caso 1w, una volta nota l'origine e la destinazione dello spostamento la lunghezza è ricavata grazie alla matrice delle distanze fornita in input al modello;
 - nel caso 2w viene generata in maniera casuale da una distribuzione di probabilità esponenziale la cui media è un parametro di input;
- la durata dello spostamento è ricavata considerando la velocità costante e uguale ad un determinato valore che dipende dalla fascia oraria in questione. Nel caso 2w, inoltre, viene aggiunto un tempo di parcheggio (T_{parc}) generato in maniera casuale da una distribuzione di probabilità esponenziale la cui media è un parametro di input.

Simulazione dei rilasci nelle stazioni di destinazione

Per ogni spostamento simulato, in base alla simulazione di viaggio (sopra descritta), è possibile gestire il rilascio presso la stazione di destinazione prescelta tramite le seguenti operazioni logiche:

- il veicolo utilizzato viene rilasciato in un istante temporale calcolato sommando il tempo di viaggio all'istante di prelievo dalla stazione di origine;
- il contatore di veicoli presenti nella stazione di destinazione viene aumentato di una unità;
- il contatore di stalli necessari per accogliere in veicoli in arrivo alla stazione di destinazione, in mancanza di stalli liberi, viene aumentato di una unità.

Determinazione del numero di stalli

Il numero di stalli per stazione necessario ad accogliere i veicoli in sosta deve essere tarato sul picco massimo di richiesta di stazionamento che si verifica lungo tutto l'arco temporale del servizio giornaliero. La somma degli stalli presenti in tutte le stazioni del sistema al termine della simulazione fornisce il numero di stalli totale (N_{stalli})

Utilizzo di più run per ogni scenario simulato

Come già anticipato ogni configurazione oggetto di valutazione viene simulata tramite più corse del modello (10). In ognuna delle diverse run alcuni dati di ingresso, quali i minuti nei quali ricadono le richieste di prelievo e la destinazione dei diversi viaggi, probabilità variano, poiché vengono generati in maniera casuale. I valori di output di tutto il procedimento saranno tre, per ogni configurazione analizzata: verranno infatti presentate la situazione peggiore, la situazione migliore e la situazione media dei 10 run effettuati. Con questa modalità di lavoro si è in grado di tenere conto di quelle variazioni nel comportamento degli utenti che si possono naturalmente verificare durante il funzionamento reale del servizio, evitando così il rischio di dimensionare flotte e stalli su casi particolari che possono risultare estremi e non rappresentativi di una condizione media di esercizio.

In Figura 4.10 viene riportata la schematizzazione del modello di dimensionamento.

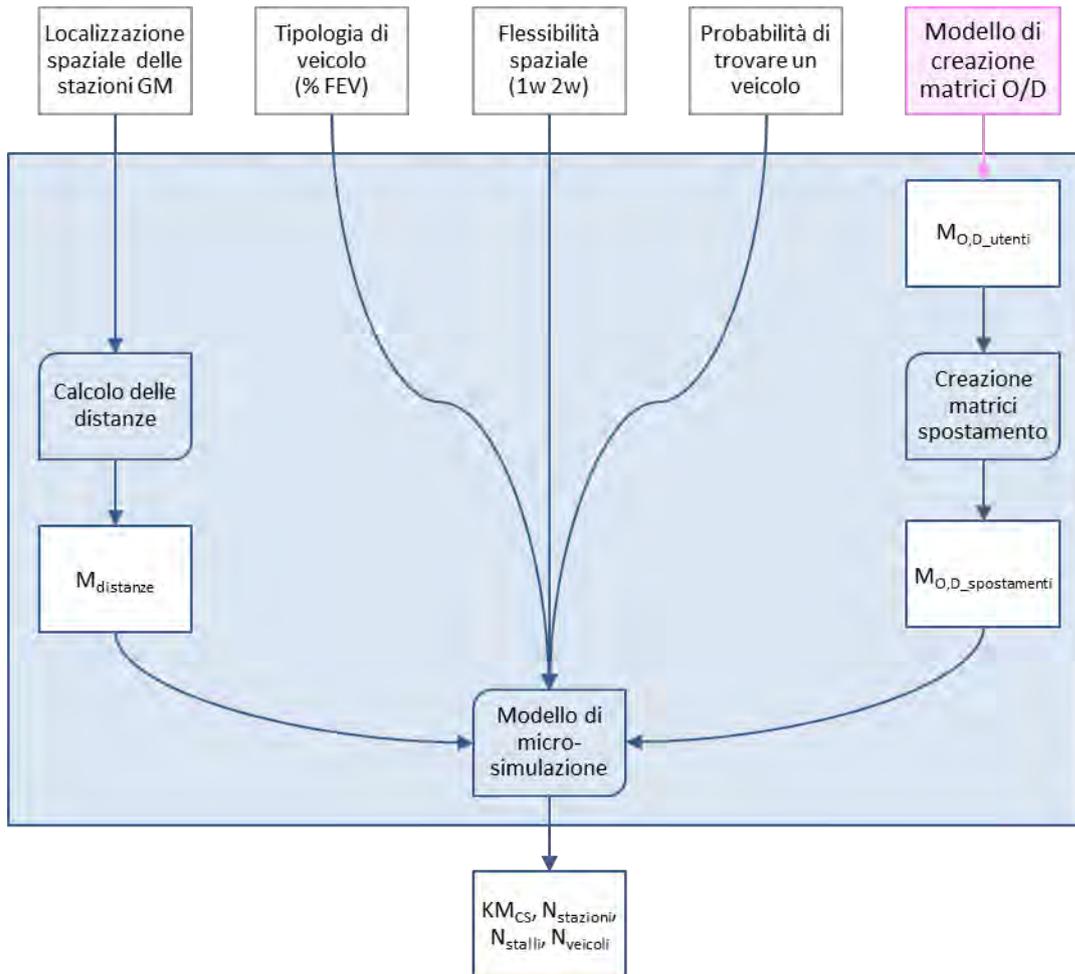


Figura 4.10 –Schematizzazione del modello di dimensionamento (in celeste)

4.2.5 Modello Variazione Accessibilità

Il modello si basa sull'ipotesi che sia possibile definire un ambito di influenza attorno a ciascuna delle stazioni di mobilità collettiva (TPL, passante ferroviario, bike sharing, car sharing, etc.) che insistono sul territorio cittadino. Tali ambiti di influenza sono funzione dell'attrattività per ognuna delle diverse tipologie di stazioni e permettono di definire quanti siano gli utenti potenzialmente serviti da queste stazioni. L'introduzione di un nuovo sistema di car sharing va ad aumentare l'area del territorio cittadino coperta da servizi di mobilità collettiva, aumentando, conseguentemente, il numero di utenti potenzialmente serviti e l'accessibilità al sistema mobilità.

Input

Definizione	Fonte	Note
Localizzazione spaziale delle stazioni	Parametro di configurazione	Dato geografico
Localizzazione spaziale delle stazioni di trasporto pubblico locale	dati.comune.milano.it	Dato geografico
Localizzazione spaziale delle stazioni ferroviarie	dati.comune.milano.it	Dato geografico
Localizzazione spaziale delle stazioni di bike sharing	dati.comune.milano.it	Dato geografico
Localizzazione spaziale delle stazioni di car sharing	dati.comune.milano.it	Dato geografico

Output

Il modello calcola la variazione %Acc dell'accessibilità al trasporto pubblico locale per i cittadini, a seguito dell'introduzione del sistema di car sharing proposto.

Descrizione

Il modello calcola in prima battuta l'accessibilità del sistema di mobilità senza l'alternativa di car sharing GM (Acc_{Ut_scs}), definita come numero di utenti potenzialmente serviti, ossia localizzati entro un determinato raggio di influenza (variabile per ognuna delle tipologie di stazioni presenti), come mostrato in Figura 4.11.

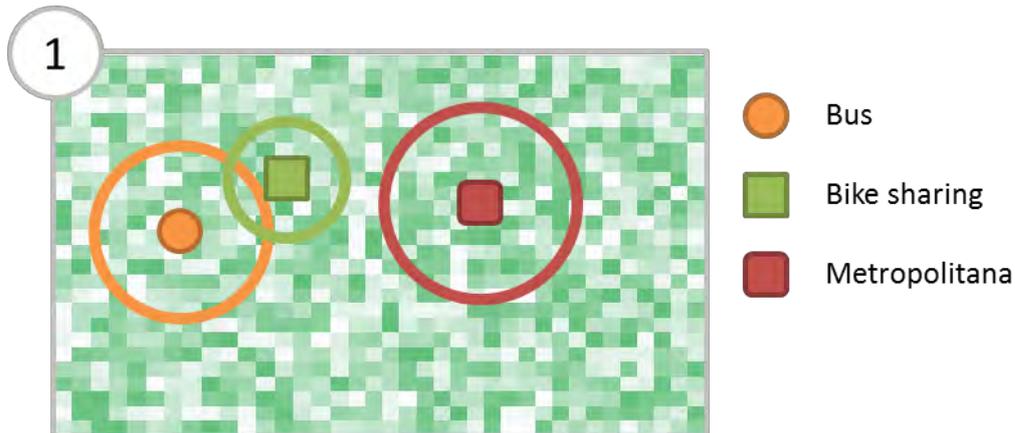


Figura 4.11 – Accessibilità senza car sharing GM

Il modello calcola quindi l'accessibilità del sistema di mobilità con l'alternativa di car sharing GM (Acc_{Ut_cs}) definita, anche in questo caso, come numero di utenti potenzialmente serviti (Figura 4.12).

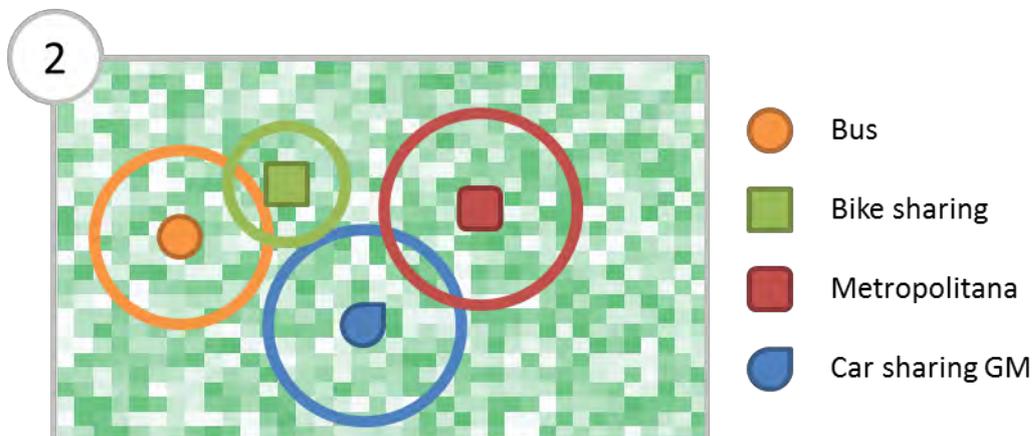


Figura 4.12 – Accessibilità con car sharing GM

La variazione di accessibilità % ΔAcc è data quindi da:

$$\%Acc = (Acc_{Ut_scs} - Acc_{Ut_cs}) / Acc_{Ut_scs}$$

che rappresenta la percentuale di utenti potenzialmente serviti in più grazie all'introduzione del sistema di car sharing GM. In Tabella 4.5 sono elencate le categorie di trasporto pubblico considerate e i relativi raggi di influenza utilizzati.

Tabella 4.5 – Categorie di trasporto pubblico considerate e i relativi raggi di influenza utilizzati

Tipologia di stazione	Raggio [metri]	Tempo [minuti]
bus	500	6
tram	500	6
bike sharing	500	6
metropolitana	700	8
treni regionali	1.000	12
car sharing	1.000	12

In Figura 4.13 viene mostrata la schematizzazione del modello di variazione dell'accessibilità.

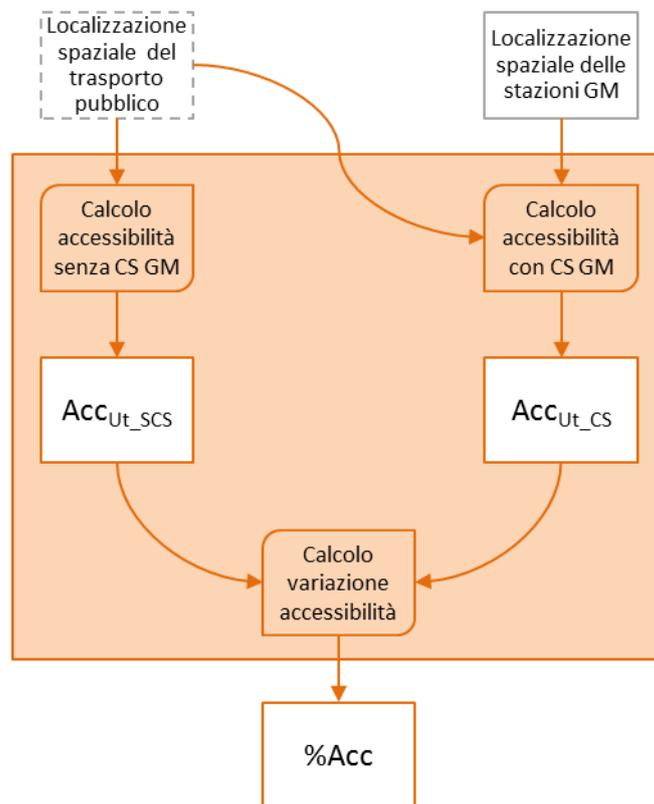


Figura 4.13 – Schematizzazione del modello di variazione dell'accessibilità (in arancione)

4.2.6 Modello Variazione Congestione

Il modello si basa sull'ipotesi che gli utenti di car sharing guidino meno degli utenti che utilizzano auto private. Vengono quindi calcolati i km percorsi dagli utenti del car sharing con e senza servizio e la differenza tra questi due valori.

Input

Definizione	Fonte	Risparmio	Note	Valori
Km percorsi dagli utenti del servizio di car sharing	Modello emissioni		KM_{CS}	Variabile a seconda dell'alternativa
Km percorsi dagli utenti del servizio di car sharing se non avessero a disposizione il servizio	Modello emissioni		KM_{SCS}	Variabile a seconda dell'alternativa

Output

Il modello calcola la variazione di km percorsi dagli utenti del servizio di car sharing rispetto ai km percorsi dagli utenti senza il car sharing (ΔKM_{CS}).

Descrizione

Il modello calcola la differenza (ΔKM_{CS}) tra i km percorsi dagli utenti del car sharing (KM_{CS}) e i km percorsi dagli utenti senza servizio (KM_{SCS}).

$$\Delta KM_{CS} = KM_{SCS} - KM_{CS}$$

In Figura 4.14 viene riportata la schematizzazione del modello di variazione della congestione.

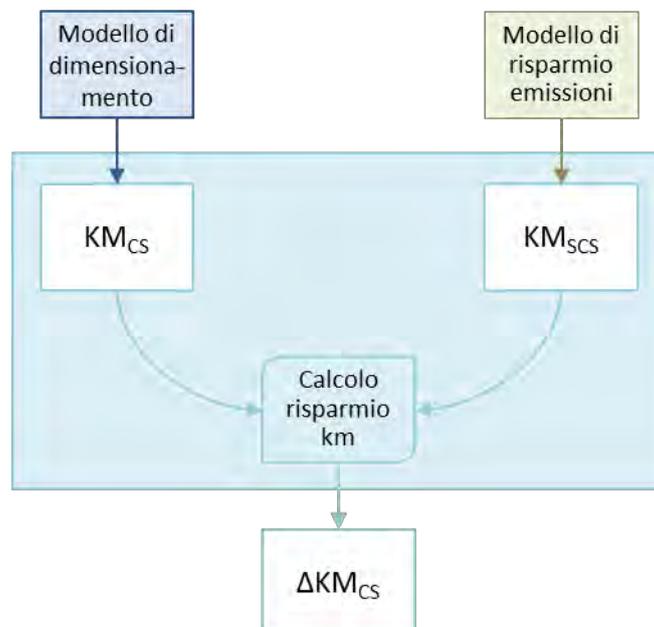


Figura 4.14 – Schematizzazione del modello di variazione della congestione (in azzurro)

4.2.7 Modello Variazione Emissioni

Il modello si basa sull'ipotesi che gli utenti di car sharing guidino meno degli utenti che utilizzano auto private. Vengono quindi calcolati i km percorsi dagli utenti del car sharing con e senza servizio e calcolate, conseguentemente, le emissioni prodotte nei due casi.

Le emissioni del sistema di car sharing, sia inquinanti sia climalteranti, dipendono dalla tipologia di veicoli adottata, ICE e FEV, e dalla proporzione di veicoli delle due tipologie di motorizzazione. I fattori emissivi per le emissioni inquinanti e climalteranti vengono considerati uguali per il parco veicolare privato e per i veicoli del car sharing ICE. Le emissioni inquinanti dei veicoli FEV vengono considerate pari a zero perché si tratta di emissioni locali mentre quelle climalteranti, di carattere globale, sono diverse da zero e dipendono dal mix energetico utilizzato per la produzione di elettricità.

Input

Definizione	Fonte	Note	Valori
Km percorsi dagli utenti del servizio di car sharing	Modello di dimensionamento		Valori espressi in km (KM _{CS})
Coefficienti di emissione gas inquinanti per tipologia di motore: elettrico (FEV, Full Electric Vehicle) e a combustione interna (ICE, Internal Combustion Engine)	Letteratura: <i>INEMAR (INventario Emissioni Aria), Lombardia, 2012</i>	Valgono per le emissioni inquinanti del parco veicolare attuale e per le emissioni dei veicoli di CS non elettrici. Le emissioni locali inquinanti dei veicoli elettrici del CS vengono poste a 0.	Valori espressi in mg/km Veicoli ICE (coeff _{inq_ICE}) CO: 1000 C ₆ H ₆ : 33,8 NO _x : 417,5 PM10: 35 Veicoli FEV (coeff _{inq_FEV}) CO: 0 C ₆ H ₆ : 0 NO _x : 0 PM10: 0
Coefficienti di emissione gas climalteranti per tipologia di motore (elettrico e a combustione interna)	Letteratura: <i>Confronto delle emissioni di gas climalteranti di diverse tecnologie veicolari, CIVES (Commissione Italiana Veicoli Elettrici Stradale a Batteria, Ibridi e a Celle a combustibile), 2012</i>	Le emissioni di CO _{2eq} per i veicoli elettrici tengono conto del mix energetico utilizzato per la produzione di energia elettrica.	Valori espressi in g/km Veicoli ICE (coeff _{GHG_ICE}) CO _{2eq} : 120 Veicoli FEV (coeff _{GHG_FEV}) CO _{2eq} : 60
Coefficiente di diminuzione dei km percorsi dagli utenti utilizzando il servizio di car sharing rispetto ad utilizzare l'auto privata	Letteratura: <i>Carsharing: A Sustainable and Innovative Personal Transport Solution with Great Potential and Huge Opportunities, Frost & Sullivan Automotive Practice, 2010</i>	Gli utenti del car sharing guidano meno di quelli che utilizzano auto private. Si stima attorno al 30% i km in meno percorsi	Valore espresso in % -30%

Output

Il modello calcola la variazione ΔE_{inq_CS} (locale) e ΔE_{GHG_CS} (globale) tra le emissioni inquinanti E_{inq_CS} e climalteranti E_{GHG_CS} prodotte dagli utenti del car sharing utilizzando il servizio e le emissioni inquinanti E_{inq_SCS} e climalteranti E_{GHG_SCS} prodotte dagli stessi utenti senza il servizio di car sharing.

Descrizione

Il modello calcola i km percorsi dagli utenti del car sharing se non avessero a disposizione il car sharing (KM_{SCS}) in funzione dei km percorsi dagli utenti con il car sharing (KM_{CS}), calcolati dal modello di dimensionamento.

$$KM_{SCS} = KM_{CS} / (1 - 30\%)$$

Emissioni inquinanti

Il modello calcola le emissioni inquinanti del car sharing (E_{inq_CS}) in base ai km percorsi dagli utenti del car sharing (KM_{CS}), tenendo conto della tipologia di motorizzazione dei veicoli del parco veicolare del car sharing.

In caso di car sharing completamente elettrico:

$$E_{inq_CS} = KM_{CS} \cdot coeff_{inq_FEV}$$

In caso di car sharing con veicoli tradizionali ICE:

$$E_{inq_CS} = KM_{CS} \cdot coeff_{inq_ICE}$$

In caso di flotta mista (Y% di elettrico):

$$E_{inq_CS} = Y\% \cdot KM_{CS} \cdot coeff_{inq_FEV} + (1 - Y\%) \cdot KM_{CS} \cdot coeff_{inq_ICE}$$

Il modello calcola le emissioni inquinanti senza car sharing (E_{inq_SCS}) in base ai km percorsi dagli utenti potenziali senza car sharing (KM_{SCS}).

$$E_{inq_SCS} = KM_{SCS} \cdot coeff_{inq_ICE}$$

La differenza tra E_{inq_CS} e E_{inq_SCS} fornisce la variazione di emissioni inquinanti ΔE_{inq_CS} tra lo scenario senza car sharing e quello con il car sharing, per gli utenti potenziali del car sharing.

$$\Delta E_{inq_CS} = E_{inq_SCS} - E_{inq_CS}$$

Emissioni climalteranti

Il modello calcola le emissioni climalteranti del car sharing (E_{GHG_CS}), prodotte per la generazione di energia elettrica con l'attuale mix energetico, in base ai km percorsi dagli utenti del car sharing (KM_{CS}) tenendo conto della tipologia di motorizzazione dei veicoli del parco veicolare del car sharing.

In caso di car sharing completamente elettrico:

$$E_{GHG_CS} = KM_{CS} \cdot coeff_{GHG_FEV}$$

In caso di car sharing con veicoli tradizionali ICE:

$$E_{GHG_CS} = KM_{CS} \cdot coeff_{GHG_ICE}$$

In caso di flotta mista (Y% di elettrico):

$$E_{GHG_CS} = Y\% \cdot KM_{CS} \cdot coeff_{GHG_FEV} + (1 - Y\%) \cdot KM_{CS} \cdot coeff_{GHG_ICE}$$

Il modello calcola le emissioni inquinanti senza car sharing (E_{GHG_SCS}) in base ai km percorsi dagli utenti potenziali senza car sharing (KM_{SCS})

$$E_{GHG_SCS} = KM_{SCS} \cdot coeff_{GHG_ICE}$$

La differenza tra E_{GHG_CS} e E_{GHG_SCS} fornisce la variazione di emissioni climalteranti ΔE_{GHG_CS} tra lo scenario senza car sharing e quello con il car sharing per gli utenti potenziali del car sharing.

$$\Delta E_{GHG_CS} = E_{GHG_SCS} - E_{GHG_CS}$$

In Figura 4.15 viene riportata la schematizzazione del modello di variazione delle emissioni.

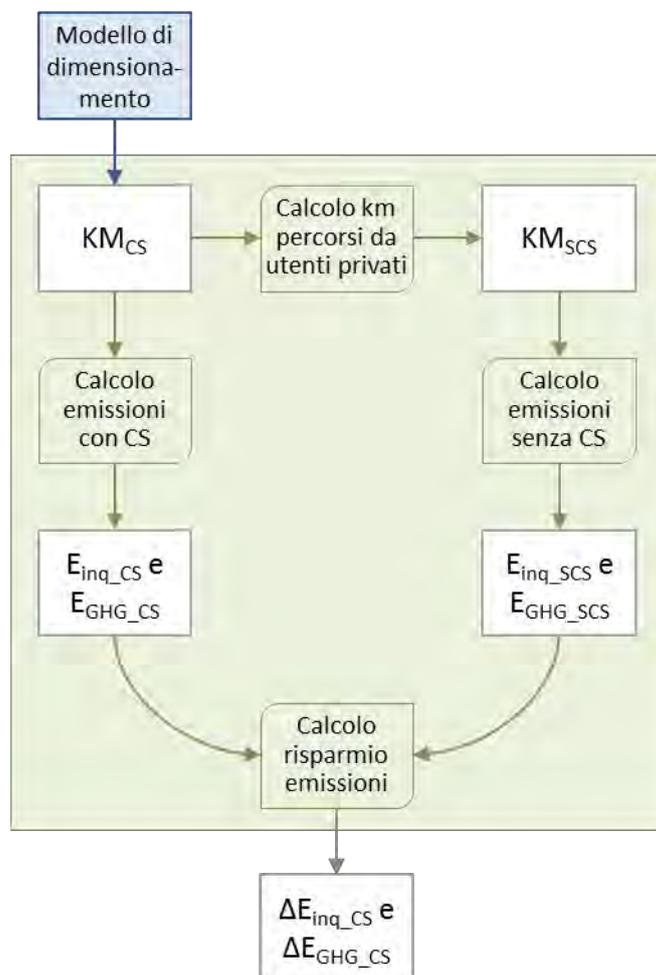


Figura 4.15 – Schematizzazione del modello di variazione delle emissioni (in verde)

4.2.8 Modello Variazione Occupazione spazi pubblici

Il modello si basa sull'ipotesi che un servizio di car sharing permetta ad alcuni degli utenti iscritti di rinunciare alla propria auto personale. In letteratura tale numero è stimato tra gli 8 e i 15 veicoli sostituiti per ogni auto in sharing. A tale diminuzione del numero di veicoli dalla rete stradale corrisponde una diminuzione dello spazio da essi occupato.

Input

Definizione	Fonte	Note	Valori
Numero di stazioni, di parcheggi e di veicoli	Modello di dimensionamento		Valori espressi in km
Coefficiente di diminuzione del tasso di motorizzazione per gli utenti del car sharing	Letteratura http://www.zipcar.com/isit#greenbenefits	Ogni auto di un servizio di car sharing sostituisce tra le 8 e le 15 auto private e rende conseguentemente disponibile ad altri usi lo spazio pubblico destinato al posteggio di veicoli	Valore espresso in numero assoluto (coeff _{ΔTM}) 8-15
Coefficiente di occupazione di suolo pubblico per ogni veicolo	-	Rappresenta i metri quadrati occupati in media da ciascun veicolo	Valore espresso in metri quadrati (coeff _{m_q_Auto}) 10 m ²

Output

Il modello calcola ΔOCC, ossia il suolo pubblico destinato a parcheggio potenzialmente messo a disposizione per altri usi a seguito dell'implementazione del sistema di car sharing.

Descrizione estesa del modello

Il modello calcola il numero di veicoli sostituibili grazie alla presenza di un servizio di car sharing (V_{s_CS}) come prodotto tra il numero di veicoli calcolato dal modello di dimensionamento del servizio (V_{CS}) e il coefficiente di diminuzione del tasso di motorizzazione per gli utenti del car sharing (coeff_{ΔTM}).

$$V_{s_CS} = \text{coeff}_{\Delta TM} \cdot V_{CS}$$

Sottraendo al numero di veicoli sostituibili (V_{s_CS}) il numero di veicoli del servizio (V_{CS}) si ottiene il numero di veicoli in meno grazie all'introduzione del car sharing (ΔV).

$$\Delta V = V_{s_CS} - V_{CS}$$

Il prodotto tra la variazione di veicoli (ΔV) e il coefficiente di occupazione di suolo pubblico per ogni veicolo (coeff_{m_q_Auto}) fornisce lo spazio pubblico potenzialmente disponibile per altri utilizzi grazie all'introduzione del car sharing (ΔOCC).

$$\Delta OCC = \text{coeff}_{m_q_Auto} \cdot \Delta V$$

In Figura 4.16 viene riportata la schematizzazione del modello di variazione dell'occupazione di spazi pubblici.

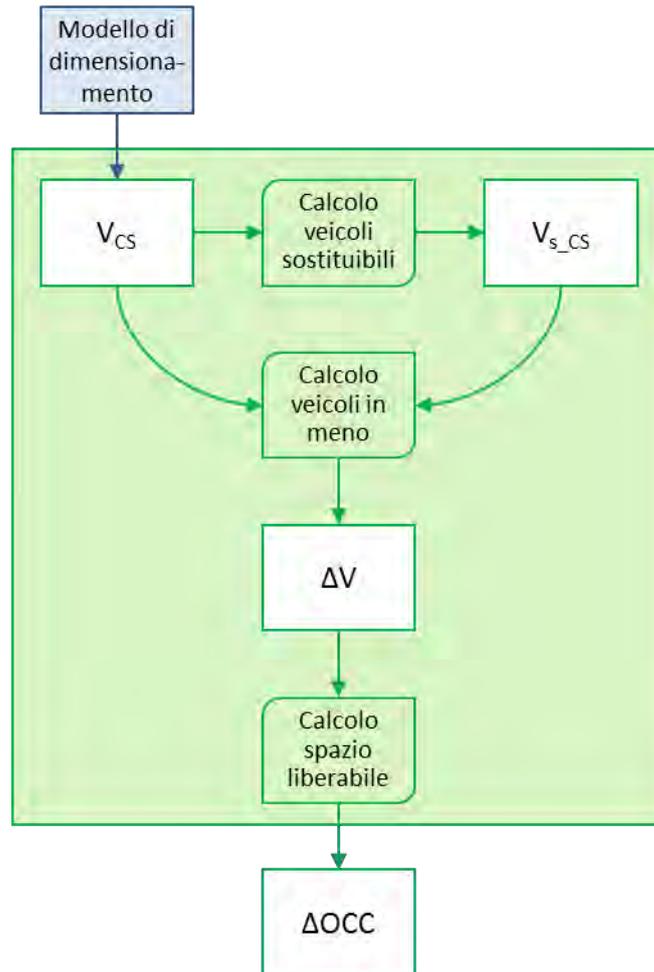


Figura 4.16 – Schematizzazione del modello di variazione dell'occupazione di spazi pubblici (in verde)

4.2.9 Modello economico-finanziario

Il Net Present Value (NPV) è una metodologia tramite la quale si definisce il valore attuale netto (in italiano abbreviato VAN) di una serie attesa di flussi di cassa non solo sommandoli algebricamente ma attualizzandoli sulla base di un tasso di rendimento (costo opportunità del capitale). Il NPV tiene conto dei costi opportunità, cioè le mancate entrate derivanti dall'uso alternativo delle risorse. Nella valutazione in oggetto il flusso di cassa netto sarà caratterizzato dalla differenza tra il flusso di cassa in ingresso (rappresentato dai ricavi da abbonamenti, tariffa oraria e prenotazioni telefoniche) e quello in uscita (costituito da costi legati alla flotta, costi di carattere operativo e, infine, costi fissi di struttura).

Input

Definizione	Fonte	Valori
Numero di utenti e viaggi giornalieri	Da modello di dimensionamento	
Numero di stazioni e veicoli	Da modello di dimensionamento	
Tariffa annuale e oraria	Da modello di dimensionamento	
Orizzonte temporale e tasso di attualizzazione dei	Da letteratura Studi di fattibilità per la realizzazione di un servizio	<ul style="list-style-type: none"> • k (tasso) = 4% - 6% • T (orizzonte temporale in anni) = 5 - 8

flussi di cassa provenienti dal progetto	di car sharing Contatti personali con aziende operanti nei settori di riferimento	anni
Investimento nell'infrastruttura	<p><i>Da letteratura</i> Studi di fattibilità per la realizzazione di un servizio di car sharing</p> <p>Contatti personali con aziende operanti nei settori di riferimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • montaggio e-box (€/auto) = 400 € • costo punto di ricarica = 1.500 € • costo veicolo elettrico = 30.000 € • costo veicolo benzina = 12.000 € • costo acquisto software = 15.000 € • costo noleggio elettrico = 6.000 €/anno • costo noleggio benzina = 5.000 €/anno
Costi legati alla gestione della flotta a all'operatività del servizio di vehicle sharing	<p><i>Da letteratura</i> Burlando, C., Mastretta, M. Il car sharing: un'analisi economica e organizzativa del settore. Vol. 342. Franco Angeli, 2007</p>	<ul style="list-style-type: none"> • costo ricarica elettrico (€/km) = 0,025 € • costo benzina (€/km) = 0,3 € • costo assicurazione elettrico = 1.000 € • costo assicurazione benzina = 1.000 € • costo lavaggio (€/settimana) = 7 € • costo manutenzione (€/anno) = 250 €
Costi call center e di struttura	<p><i>Da letteratura</i> Il servizio di car sharing nella provincia di Bergamo analisi di fattibilità Bergamo, Maggio 2009</p>	<ul style="list-style-type: none"> • percentuali di prenotazioni telefoniche = 0,3 • costo chiamata (€/chiamata) = 0,5 € • incasso chiamata (€/chiamata) = 0 – 0,5 € • costi fissi annui (in relazione al numero di stazioni di parcheggio) = <ul style="list-style-type: none"> ○ 0 – 4: 100.000 € ○ 5 – 90: 175.000 € ○ 91 – 250: 300.000 € ○ 251 – 450: 500.000 € ○ 451 – 750: 800.000 €

Output

Valore attualizzato dei flussi di cassa futuri provenienti dal progetto.

Descrizione

Il criterio del Net Present Value si basa sul principio secondo il quale è opportuno che un investimento venga effettuato solo se i benefici che ne possono derivare (stimati in termini di flussi finanziari) sono superiori alle risorse utilizzate. Questo metodo, infatti, consente di confrontare l'investimento iniziale con i futuri flussi di cassa da esso generati, e indica così il surplus / fabbisogno finanziario generato dal progetto; se quest'ultimo è positivo significa che l'investimento è profittevole.

I flussi futuri, per essere resi comparabili con l'esborso iniziale, sono espressi al netto del valore finanziario del tempo, ossia debitamente attualizzati, in pratica riportati ad un medesimo istante temporale. La somma di tali importi scontati, costituisce il valore attuale netto del progetto: netto perché è composto dalla differenza tra flussi di cassa in entrata e flussi di cassa in uscita, sia quelli dell'investimento iniziale sia quelli legati alla gestione dell'opera realizzata; attuale perché è riportato ad un medesimo anno di riferimento.

Questo metodo rappresenta la redditività netta dell'investimento espressa in valore assoluto ed ha il vantaggio di riconoscere il valore finanziario del tempo, anche se gran parte della sua attendibilità è legata alla correttezza delle stime dei flussi di cassa, che qualora vengano sovra o sottostimate possono portare ad un'errata valutazione del progetto. Esprimendo quest'indice con una formula, si ha:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+k)^t}$$

Dove:

- t : scadenze temporali;
- NCF_t : flusso finanziario (positivo o negativo) al tempo t ;
- k : costo medio ponderato del capitale (o WACC = *Weighted Average Cost of Capital*) indice di rendimento alternativo per rischio simile secondo la teoria del CAPM (*Capital Asset Pricing Model*);
- $\frac{1}{(1+k)^t}$: fattore di attualizzazione al tempo t .

L'ipotesi di fondo alla base della procedura di attualizzazione dei flussi di cassa è che un progetto di investimento deve essere in grado di generare un rendimento superiore a quello ottenibile sul mercato dei capitali: se questo è vero, il Net Present Value sarà positivo e l'investimento sarà giudicato profittevole.

Il Net Present Value, è come ogni metodo di valutazione, caratterizzato da una serie di punti di forza e di debolezza. Per quanto concerne i punti di forza:

- è un indicatore compatto dell'investimento ed è espresso con la stessa unità di misura con cui si quantificano le voci di costo e di ricavo dell'analisi (unità monetarie). Proprio per questa sua caratteristica, esso consente di monitorare il diverso valore della moneta nel tempo e ne tiene conto nella fase di valutazione degli investimenti;
- è un metodo che indica con semplicità la presenza di redditività rispetto al tasso di attualizzazione prescelto;
- rappresenta una tecnica di capital budgeting superiore ad altre poiché utilizza i flussi di cassa piuttosto che valori contabili (come gli utili che non rappresentano denaro), attualizzandoli tutti (altri metodi ignorano i flussi al di là di una certa data) e in modo adeguato (tenendo conto del valore finanziario del tempo); tuttavia sovente capita che i flussi di cassa previsti non si presentino e l'impresa finisce per sperimentare risultati negativi.

Per quanto concerne i punti di debolezza:

- è una metodologia che non tiene conto della dimensione relativa dei progetti ma solo di quella assoluta, quindi rende difficile un confronto tra più investimenti e nel loro confronto, tende a far propendere verso il progetto più grande in termini di somme monetarie ad esso legate e a far scartare quello/i più piccolo/i;
- il calcolo del NPV è laborioso e richiede l'individuazione del costo del capitale, fattore di determinazione incerta e riferito a un mercato caratterizzato da una varietà di strumenti finanziari;
- nell'analisi del NPV si tiene conto di ricavi futuri incerti e della cui incertezza è necessario tener presente.

Nella valutazione in oggetto, i flussi di cassa in ingresso sono rappresentati dalla tariffa annuale e oraria associate al servizio di vehicle sharing e dai proventi derivanti dalle prenotazioni telefoniche. Per quanto concerne, invece, i flussi in uscita essi sono legati all'investimento nell'infrastruttura necessaria, i costi legati alla flotta e alla gestione operativa del servizio e, infine, ai costi fissi di infrastruttura. Tali valori sono, dunque, gli input del modello e rappresentano il frutto della stima basata su fonti secondarie, quali gli studi di fattibilità, ma anche primarie come interviste agli operatori del settore. Nello specifico:

- Flusso di cassa in ingresso: $T_v \cdot H_a + N_a \cdot T_f + N_a \cdot T_p \cdot P_t$ dove:
 - T_v : tariffa oraria di utilizzo del servizio;
 - T_f : tariffa annua di utilizzo del servizio;
 - T_p : tariffa di prenotazione telefonica;
 - H_a : ore annue totali di utilizzo del servizio da parte degli abbonati;
 - N_a : numero totale di abbonati;
 - P_t : numero di prenotazioni telefoniche annue.

- Flusso di cassa in uscita: $I + C_f + C_o + C_s$ dove:
 - I : investimento annuo in infrastruttura;
 - C_f : costi annui legati alla flotta (acquisto/noleggio veicolo, energia, assicurazione, manutenzione e lavaggi);
 - C_o : costi annui legati al call center e al personale;
 - C_s : costi fissi di struttura.

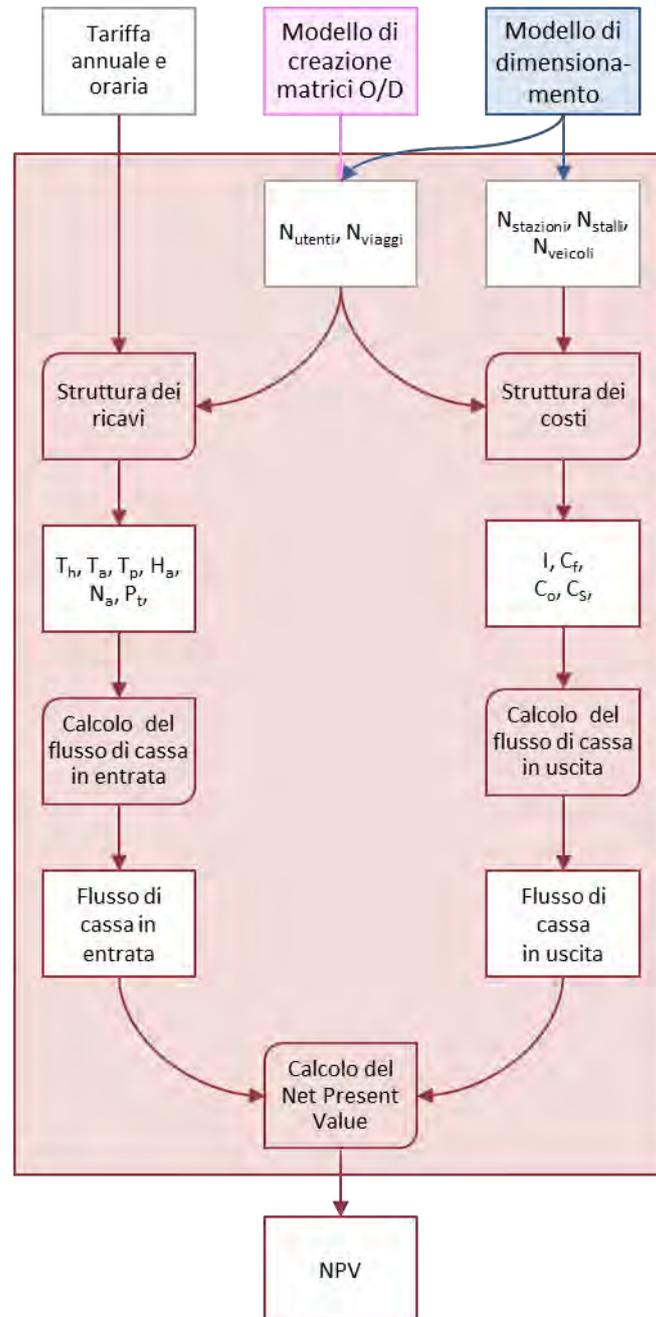


Figura 4.17 – Schematizzazione del modello economico finanziario (in magenta)

5 Analisi dei risultati della sperimentazione

Nel corso del progetto sono state realizzate due differenti sperimentazioni.

Dall'altro si è deciso di sperimentare uno dei modelli di servizio analizzati e progettati nell'ambito del *WP1: Identificazione degli obiettivi e modello di business* e del *WP2: Analisi a supporto e valutazione del sistema e dei servizi*, descritti nel Report 1 e richiamati e analizzati nel capitolo 2 *Opportunità di sviluppo e aree di offerta del servizio*. La descrizione della sperimentazione dell'auto di condominio è oggetto del paragrafo **5.1.1 Sperimentazione**.

Da un lato è stata testata la tecnologia implementata nell'ambito del *WP3: Progettazione e sviluppo del sistema e dei servizi offerti* e descritta nel capitolo 3 *Analisi e progetto dei componenti HW/SW e dei servizi*. La descrizione della sperimentazione tecnologica è oggetto del paragrafo **5.1.2 Field Test**.

5.1 Field-test e sperimentazione (A3.9)

5.1.1 Sperimentazione

All'interno del progetto è stata realizzata una vera e propria sperimentazione dell'idea di car sharing di condominio. Si è voluto includere questa fase per verificare alcune ipotesi di lavoro riguardanti il grado di fattibilità e l'efficacia di un sistema di car sharing condominiale, così com'è spiegato di seguito. La sperimentazione ha avuto una ulteriore valenza in quanto, coinvolgendo persone esterne al gruppo di ricerca, ha favorito anche gli aspetti di divulgazione di nuovi scenari di mobilità. Più di 120 famiglie, tra quelle che hanno assistito ai momenti di partecipazione e quelle che hanno partecipato direttamente alla sperimentazione iscrivendosi al servizio sperimentale di auto del condominio, sono state coinvolte e hanno preso consapevolezza sulle opportunità di sviluppo di nuovi modelli di mobilità sostenibile. Per facilitare l'avvio della sperimentazione è stato scelto di usare i veicoli e la piattaforma di un servizio già esistente, e-Vai, inserendoli in un contesto nuovo, quello del condominio. È stato possibile così indagare il comportamento degli utenti e la risposta a questa tipologia di servizio, procedendo parallelamente allo sviluppo della tecnologia del progetto, non attendendo che questa fosse collaudata.

La sperimentazione è durata 6 mesi, da marzo ad agosto 2013. Di seguito vengono riportate gli obiettivi della sperimentazione, lo svolgimento (fasi) e alcune considerazioni finali.

Obiettivi

Attraverso la sperimentazione ci si è proposti di esplorare e capire più a fondo i diversi aspetti relativi all'adesione da parte dell'utenza ad un servizio di car sharing:

1. Accettazione e accesso al servizio: come viene percepita e accettata l'idea dell'auto di condominio, quali sono le barriere di ingresso e le difficoltà relative. In questa fase devono essere prese in esame le strategie di comunicazione, i sistemi di registrazione e iscrizione al servizio e il sistema tariffario.
2. Utilizzo del servizio: lo scopo è stato quello di indagare per quali motivi e in che occasione può essere usato il servizio, qual è il profilo di utenza a cui ci si vuole rivolgere e in che modo l'utente utilizza l'auto in sharing, qual è il grado di soddisfazione di utilizzo. Qui vengono prese in esame questioni tecniche legate al veicolo stesso e al sistema di prenotazione. Oltre ad essi vengono prese in esame i servizi aggiuntivi e i vantaggi per i cittadini. Viene infine valutata la user experience.
3. Futuro utilizzo: oltre alla percezione dell'utenza nell'immediato vengono indagati gli spunti progettuali e le condizioni tecniche e le attenzioni per la realizzazione, a regime, di un servizio reale.

Fasi della sperimentazione

I condomini che hanno preso parte alla sperimentazione sono stati scelti in base ad alcune caratteristiche tecniche ed ambientali riguardanti il rapporto tra il numero di appartamenti e il numero di abitanti, la disponibilità di spazi comuni adeguati per ospitare i veicoli e l'esistenza di relazioni tra

vicini e momenti di vita comune all'interno del condominio. Tali condizioni hanno assicurato una maggiore probabilità di accettazione e di adesione alla sperimentazione nell'ambiente condominiale da parte dei potenziali utenti: data la brevità del tempo a disposizione per la sperimentazione, questa rappresentava una condizione essenziale per favorire il più elevato grado di adesione possibile. Entrambi i condomini sono localizzati a Milano. Il primo, in via Maddalena Giudice Donadoni 12, è un condominio di cohousing, ossia che presenta ampi spazi comuni a tutti gli abitanti e progettati dai condomini stessi. Il secondo, in via Angelo Scarsellini 17, costruito in cooperativa, ha inoltre a disposizione un sistema on-line di comunicazione che ha rafforzato la relazione tra vicini.

Il cohousing in via Donadoni è un condominio in cohousing di piccole dimensioni di circa 30 famiglie. Le famiglie condividono una sala comune con cucina, una lavanderia, una piscina e uno spazio laboratorio. Prima dell'avvio della sperimentazione era già avvenuto che alcuni condomini condividessero, in maniera spontanea, la propria auto con altri condomini. Gli abitanti del condominio sono quindi persone abituate all'idea di condivisione. Il condominio non presentava spazi adeguati per la collocazione di auto aggiuntive a quelle private dei condomini. Per tale motivo è stata scelta di collocare le auto della sperimentazione presso la vicina stazione di Bovisa, dove è già presente un punto e-Vai.



Figura 5.1 – Il condominio in Via Donadoni

Il condominio di via Scarsellini è un condominio di nuova costruzione, che ospita 100 appartamenti. Nel condominio sono presenti due sale comuni, una di uso generale dove vengono svolti corsi, feste e cene e un'altra dedicata al gioco dei bambini. Nel condominio erano disponibili due box con relative prese elettriche e contattori. La composizione sociale è meno omogenea di quella del condominio in Donadoni, in termini sia di età sia di condivisione di valori comuni. Si registra la presenza di alcuni nuclei molto attivi nelle attività comuni e altri per nulla coinvolti.



Figura 5.2 – Il condominio in Via Scarsellini

La fasi della sperimentazione hanno riguardato:

1. Incontri con le persone coinvolte;
2. Verifica delle condizioni tecniche e del grado di adesione;
3. Evento iniziale e lancio della sperimentazione
4. Sperimentazione;
5. Evento di chiusura.

Di seguito viene riportata una descrizione delle varie fasi di lavoro.

1. Incontri con le persone coinvolte

I primi incontri hanno coinvolto i consiglieri e le persone più attive nella vita dei condomini: durante questi incontri è stata presentata l'idea da parte dei diversi gruppi di ricerca coinvolti nel progetto. È stato dato spazio a domande, sono stati posti dubbi e forniti chiarimenti. Per entrambi i condomini gli incontri sono stati utili e propositivi. I consiglieri hanno sono stati proattivi e hanno mostrato grande interesse per l'idea. Oltre agli incontri con consiglieri e condomini, l'idea è stata presentata attraverso mailing-list e sito internet di condominio agli altri condomini che hanno espresso, in generale, una opinione positiva a riguardo.

2. Verifica delle condizioni tecniche e del grado di adesione

Dopo aver raccolto il consenso dei consiglieri e verificato l'interesse da parte dei condomini, si è proceduto con la verifica delle condizioni di fattibilità. Da una parte si è proceduto all'accertamento delle condizioni tecniche e dall'altra si è valutato il grado di adesione dei condomini alla sperimentazione.

Dal punto di vista tecnico, uno degli aspetti cruciali è stata la verifica della presenza di segnale GPRS all'interno dei box in cui era stata prevista la collocazione dei veicoli. Le auto di e-Vai, infatti, utilizzano un sistema GPRS per l'apertura e la chiusura del veicolo, attraverso l'invio di un segnale dalla centrale operativa. In Scarsellini il segnale nei box individuati era presente, così come le presa elettrica e il contattore dei consumi. In Donadoni, invece, le prove per la ricezione del segnale GPRS hanno dato esito negativo e si è quindi ripiegato sulla collocazione delle auto presso la stazione di Milano Bovisa.

Per la verifica del reale grado di interesse da parte dei condomini per la proposta dell'auto di condominio, è stato lanciato un questionario on line. Questo, basato sul questionario dell'Analisi della domanda (paragrafo 2.2) ma in versione più leggera e snella, ha permesso di stimare quanti utenti vi fossero nel condominio e che tipo di utilizzo fosse prevedibile avrebbero fatto delle macchine. Alcuni dati dal questionario:

In Donadoni: 11 famiglie su 30 hanno risposto al questionario. Tutte hanno a disposizione almeno un'auto. L'auto è utilizzata principalmente per spostamenti che coinvolgono 1 o 2 persone. 9 hanno espresso interesse per l'utilizzo di un servizio di car-sharing di condominio, con l'idea di usarla per spostamenti brevi durante la settimana o nel fine settimana per gite.

In Scarsellini: 26 famiglie su 100 hanno risposto al questionario. In 24 di queste c'è a disposizione almeno un'auto. L'auto è utilizzata principalmente per spostamenti che coinvolgono 1 o 2 persone. 18 hanno espresso interesse per l'utilizzo di un servizio di car-sharing di condominio, con l'idea di usarla per spostamenti brevi (quali, ad esempio, fare la spesa, uscire con gli amici o uscire la sera).

3. Evento iniziale e lancio della sperimentazione

Per il lancio della sperimentazione è stato organizzato un piccolo evento con i seguenti scopi: presentare il progetto, far provare le auto della sperimentazione (che, in quanto elettriche, rappresentano una novità per molti dei condomini) e mostrare a chi fosse interessato le modalità di iscrizione al servizio. Alcuni degli utenti si sono iscritti al servizio durante l'evento.

4. Sperimentazione

La sperimentazione ha visto un monitoraggio continuo e momenti di incontro con i condomini.

Come già evidenziato, i veicoli sono stati forniti dalla società e-Vai. Ciò ha garantito l'utilizzo di un sistema che avesse requisiti tecnici ed amministrativi conformi alle normative vigenti. Usando i veicoli e la piattaforma informatica di un servizio esistente è stato possibile garantire, inoltre, la manutenzione e l'assistenza in caso di insorgenza di problematiche relative ai veicoli.

In Scarsellini, i due veicoli a disposizione sono stati posizionati nei box del condominio, mentre in Donadoni erano collocati nel parcheggio della stazione ferroviaria di Milano Bovisa, ad uso esclusivo del condominio.

Per tutti gli usi sono stati registrati orario di partenza e di riconsegna del veicolo e i chilometri percorsi. Oltre al monitoraggio dei veicoli durante l'utilizzo, gli utenti sono stati invitati a lasciare commenti sul sito. A metà della sperimentazione, inoltre, c'è stata un'altra serata di promozione e un Focus Group per la raccolta dei feedback.

5. Evento di chiusura

Conclusione della sperimentazione e incontro finale per completamento scenario e raccolta feedback. Durante l'evento è stato presentato un video conclusivo che racconta l'esperienza di Green Move e della tv di condominio.

Monitoraggio e raccolta feedback

Come accennato in precedenza, durante la sperimentazione l'uso è stato monitorato attraverso più canali:

1. Registrazione degli utenti tramite portale.
2. Dati quantitativi su orari, tempo di utilizzo e chilometri percorsi raccolti in maniera automatica dal sistema di tracciamento veicoli di e-Vai.

Gli utilizzi totali sono stati 65 (35 nel condominio di via Donadoni e 30 nel condominio di Via Scarsellini) in un periodo di circa quattro mesi, corrispondenti a sedici noleggi al mese.

In Donadoni i 9 iscritti al servizio hanno prenotato i veicoli per un totale di 36 prenotazioni. Si sono riscontrati utilizzi di breve durata nella prima parte della sperimentazione (che prevedeva una tariffa oraria alta) e medi nella seconda parte (dove la tariffa oraria era inferiore e si introduceva una tariffa chilometrica).

La durata media degli utilizzi è stata di circa 4 ore (3,94) con un chilometraggio di circa 27 Km. Quasi la metà dei noleggi totali è avvenuta durante il week-end (15 noleggi) e quasi la totalità (31 noleggi) ha avuto inizio durante la fascia oraria giornaliera (7-19) per terminare nella stessa fascia o nella fascia serale (8 noleggi). Nel seguito è riportato il dettaglio per singolo utente.

Tabella 5.1 – Analisi degli utilizzi su singolo utente

Cliente	Numero noleggi	Durata totale	Durata media	Chilometri totali	Chilometri medi
A	12	34	2,83	344,26	28,69
B	2	7	3,50	161,56	80,78
C	5	20	4,00	124,07	24,81
D	2	7	3,50	51,16	25,58
E	7	46	6,57	145,66	20,81
F	1	8	8,00	21,53	21,53
G	4	11	2,75	61,92	15,48
H	1	2	2,00	17,13	17,13
I	1	3	3,00	16,06	16,06

Il dettaglio evidenzia la presenza di un solo utilizzatore più sistematico del servizio (A) seguito da tre utilizzatori più sporadici (C,E,F). La durata media degli utilizzi è omogenea tra i diversi clienti tranne per due che hanno tenuto l'auto per l'intera giornata (E,F). Nello specifico, l'utente E ha utilizzato il servizio in modo ripetuto per recarsi sul luogo di lavoro durante la settimana.

In Scarsellini gli 8 iscritti al servizio hanno prenotato i veicoli per un totale di 36 prenotazioni. Si sono riscontrati utilizzi di tutte le tipologie, brevi (sotto l'ora), medi (fino a 4 ore) e lunghi (superiori alle 4 ore), indipendentemente, o quasi, dalle due tipologie di tariffazione adottate (solo oraria e chilometrica).

La durata media degli utilizzi è stata di circa 3 ore (3,2) con un chilometraggio di circa 26 Km. In questo caso, rispetto al precedente, la durata dei noleggi è stata inferiore di un'ora mentre la distanza è rimasta pressoché invariata. Anche in questo condominio, quasi la metà dei noleggi totali è avvenuta durante il week-end (12 noleggi) e a differenza del precedente un numero equivalente è avvenuto nella fascia serale. Nel seguito è riportato il dettaglio per singolo utente.

Tabella 5.2 – Utilizzi in Scarsellini aggregati per utente

Cliente	Numero noleggi	Durata totale	Durata media	Chilometri totali	Chilometri medi
A	3	12	4,00	49,97	16,66
B	2	11	5,50	92,6	46,30
C	3	4	1,33	90	30,00
D	18	57	3,17	484,52	26,92
E	1	3	3,00	14,2	14,20
F	1	3	3,00	6,6	6,60
G	2	6	3,00	30,9	15,45

In questo condominio c'è stato un solo cliente abituale che ha effettuato più della metà dei noleggi totali influenzando le statistiche complessive.

Risulta evidente come in via Donadoni l'impatto e l'interesse per la sperimentazione sia stato maggiore. Delle 30 famiglie presenti, quasi il 30% ha deciso di usare il servizio nonostante, le auto non fossero collocate all'interno degli spazi del condominio. Si può sicuramente attribuire il successo al fatto che il cohousing presenta già attività comuni e una attitudine generale alla condivisione. Per dettagli sulle modalità di tariffazione vedi Allegato 4.

- Raccolta di feedback e di dati di tipo qualitativo ed esperienziale. Di seguito vengono riportati alcuni dei commenti raccolti:

"Oggi ho utilizzato l'auto elettrica per recarmi in quel di Desio, al ritorno ho sperimentato come non consumare energia, ma incrementare l'autonomia disponibile, partito da Desio con 92km di autonomia residua, l'ho parcheggiata nel box che segnava 117km. Semplice, quando la macchina è "lanciata", si decelera cercando di tenere la lancetta nella zona blu (charge), bastano pochissimi secondi per volta e vedrete l'indicatore di autonomia incrementarsi. Attenzione a non distrarsi e andare a sbattere".

"Ieri ho provato l'ebbrezza dell'auto elettrica; a parte qualche piccola iniziale titubanza derivante dal non aver mai usato un'auto a cambio automatico (titubanza superata col provvido intervento di Carlo), è andata tutto liscio. Mi sono divertito un sacco e mi è sembrato tornare bambino alla guida di un autoscontro da giostra; in più parcheggiare a due passi dal Duomo, beh, non ha prezzo!! Approfittando della promozione ponti, ho portato in giro in centro tutta la famiglia praticamente a costo quasi zero e con un limitato impatto ambientale; sicuramente un'esperienza da ripetere e che consiglio a tutti".

"Provate entrambe le macchine. Con la Citroën sono andato con famiglia ad Agrate Brianza e ritorno (autostrada). Con la Panda son andato al cinema a Milano. Guida confortevole in entrambe

le auto, la Citroën sicuramente ha una risposta in accelerazione migliore della Panda. Per la città son entrambe perfette grazie a cambio automatico e motore elettrico. Bisogna solo stare all'occhio perché pedoni e ciclisti non vi sentono arrivare! Le auto son silenziosissime. Un piacere farsi tutte le preferenziali e parcheggiare ovunque”.

4. Nei due condomini sono stati incaricati alcuni abitanti che “dall'interno” raccoglievano opinioni, raccomandazioni e lamentele in modo più spontaneo e libero rispetto ai canali pubblici.
5. Sono stati programmati un focus-group a metà della sperimentazione e un momento finale di feedback e conclusione. Il focus-group è stato svolto:
 - per capire quali fossero stati gli utilizzi delle macchine e raccogliere le esperienze (positive e negative) fino a quel momento occorse;
 - per capire come mai alcune persone interessate non si fossero iscritte alla sperimentazione o, se iscritte, non facessero uso delle auto;
 - per generare scenari d'uso (da attuare subito o nel futuro) e una comunicazione efficace.

I risultati dei focus hanno reso possibile la compilazione di una tabella riassuntiva dei punti di forza, delle opportunità, delle debolezze e delle criticità della sperimentazioni (SWOT analysis) riportata in Tabella 5.3.

Tabella 5.3 – SWOT analysis

<p>PUNTI DI FORZA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Convenienza economica (se non si possiede una macchina personale) 2. Novità, fashion. 3. Comodità: sotto casa, accessori, più dei mezzi pubblici, senza preoccupazioni. 4. Prestazioni auto: piacevole la guida, basso impatto ambientale 5. Vantaggi: corsie preferenziali, parcheggio 	<p>PUNTI DI DEBOLEZZA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Uso tipo sharing: incerta disponibilità dell'auto, poca flessibilità, necessità di pianificare 2. L'auto: limitata autonomia e uso non intuitivo 3. Costi e pagamenti: poco conveniente su tempi lunghi (soprattutto se si fanno pochi chilometri) 4. Iscrizione e prenotazione: complicata 5. Servizio solo two-way
<p>OPPORTUNITÀ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Favorire il car pooling (supermercato, asilo) 2. Fare delle convenzioni con altri servizi (cultura, sanità..) 3. Car sharing peer-to-peer 4. Creare una maggior trasparenza (chi la usa e dove va) 5. Inserire nuovi veicoli (moto, macchina a metano) 	<p>MINACCE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Incentivare all'uso dell'auto piuttosto che dei mezzi 2. Creare servizi troppo complicati 3. Non dare abbastanza ragioni per non usare più la propria auto 4. Il servizio basato su solo macchine elettriche ne riduce le opportunità d'uso 5. Poche stazioni di ricarica (mancanza di infrastrutture)

Considerazioni finali

Le considerazioni qui riportate riguardano tre aspetti della sperimentazione: l'accesso/ingresso ossia il primo approccio al servizio e l'iscrizione, l'utilizzo vero proprio del servizio e infine considerazioni su possibili sviluppi futuri.

Adesione al servizio

Quello dell'ingresso al sistema è sicuramente il blocco più difficile da superare. La diffidenza iniziale e le difficoltà relative all'iscrizione (legate alla documentazione da presentare) hanno costituito barriere all'ingresso che si è cercato di superare attraverso la comunicazione e l'ascolto. Di seguito vengono riportate alcune considerazioni in merito alla fase di avvio.

- **Comunicazione:** la comunicazione del servizio, prima dell'avvio e nella fase iniziale, deve essere molto semplice e molto immediata. Ad esempio vanno espressi in modo chiaro i vantaggi della macchina elettrica e della condivisione di un'auto, in sostituzione o in affiancamento a quella personale. Va inoltre data la possibilità ai potenziali utenti di provare i veicoli senza impegno e capire come funzionano. Uno strumento immediato per la comunicazione è quello del video-racconto, in grado testimoniare alcune esperienze di utilizzo in maniera immediata e di facile comprensione.
- **Tariffe:** sono un altro elemento importante da tenere in dovuta considerazione nella fase di lancio del servizio, in quanto i potenziali utenti risultano scoraggiati dalla eventualità di affrontare un impegno economico senza avere avuto la possibilità di provare il servizio. Devono essere quindi presenti, in fase di iscrizione, delle offerte o tariffe agevolate, per favorire la penetrazione del servizio.
- **Utenza:** un car sharing condominiale funziona tanto più quanto minore è il tasso di motorizzazione degli abitanti del condominio. La presenza di un'auto in sharing, d'altra parte, può favorire l'abbandono della seconda auto (o anche della prima) da parte dei condomini. La sperimentazione si è svolta in condomini con una presenza di auto abbastanza elevata e per un periodo di tempo tale da non rendere possibile un cambio di abitudini da parte dell'utenza sul lungo periodo.

Utilizzo del servizio

Anche l'utilizzo del servizio è stato influenzato dai fattori nevralgici per la fase di avvio: comunicazione, tariffe e risposta dell'utenza. Di seguito vengono riportate alcune considerazioni in merito.

- **Comunicazione:** la comunicazione nel corso della sperimentazione è stata utile, per aumentare il numero degli utenti iscritti e coinvolgere quelli iscritti non attivi (ossia che erano iscritti senza utilizzare il servizio). Si trattava di capire come creare una community attiva attorno al servizio che potesse auto-alimentare il coinvolgimento delle persone appartenenti alla community stessa. Per fare ciò è stato scelto un formato innovativo, quello della TV di condominio i cui risultati sono presentati nel paragrafo 6.1.4.
- **Tariffe:** nel corso della sperimentazione si sono sperimentati cambi tariffari che hanno permesso di valutare la risposta dell'utenza. In generale, come era facile aspettarsi, è possibile affermare che la tariffa su base unicamente oraria faciliti gli utilizzi per spostamenti molto brevi (commissioni nel quartiere) mentre quella su base oraria e chilometrica (che presenta quindi una quota oraria minore di quella puramente oraria) favorisce spostamenti di più lunga durata (gite fuori porta). A seconda del segmento di utenza che si vuole soddisfare è necessario predisporre delle tariffe tenendo conto dei diversi utilizzi dei veicoli che tale utenza può voler fare. La terza tipologia tariffaria, quella che presupponeva anche una quota fissa mensile, a prescindere dall'utilizzo, è stata scelta da un numero esiguo di utenti, a conferma che la quota fissa rappresenta uno dei maggiori ostacoli all'adesione di un servizio di car sharing.
- **Utenza:**
 - Modalità di utilizzo: l'uso della macchina di condominio è stato principalmente di due tipologie:
 - 1) Utilizzo breve per commissioni veloci, spesso in centro città. I vantaggi di questa modalità riguardano, principalmente, la possibilità di parcheggiare ovunque e di non pagare l'ingresso in

Area C 2) Gita breve in città o appena fuori città nei fine settimana. Per questa ultima tipologia di spostamento è risultata conveniente la tariffazione mista oraria e chilometrica.

- Facilità d'uso: la prenotazione è stata facile sia via sito web sia tramite call center. Superato le prime difficoltà legate all'uso di auto elettriche, e del relativo cambio automatico, queste si sono dimostrate di facile utilizzo.
- Servizi aggiuntivi: in Scarsellini sono stati messi a disposizione alcuni accessori, in particolare seggiolini per bambini e materiale per pulizia veloce dei veicoli. I seggiolini hanno contribuito senz'altra alla partecipazione delle famiglie con bambini permettendo, di fatto, l'utilizzo dei veicoli.

Sviluppi futuri

L'efficacia del sistema di car sharing condominiale è stata confermata nell'ambito della sperimentazione. Alcuni vantaggi sono evidenti: la posizione dell'auto vicino a casa e l'esclusività del suo utilizzo. Inoltre, in un ambiente in cui le persone si conoscono, condividere l'auto sposta la percezione dal considerare l'auto in sharing come una macchina a noleggio a percepire la proprietà condivisa del veicolo. La personalizzazione della macchina con alcuni accessori rende questa sensazione ancora più forte.

La barriera iniziale dell'acquisto del veicolo non è da sottovalutare e può risultare dirimente. Se l'acquisto dell'auto condivisa è affidato ad un gruppo di condomini ci deve essere una massa critica minima di utenti convinti di effettuare questa scelta, comunione di intenti che non sempre si verifica. Un'opzione alternativa è quella in cui, in fase di costruzione, venga prevista dall'immobiliarista la presenza di un'auto in sharing da offrire ai condomini, alla stregua degli altri servizi abitualmente forniti dal condominio. Un'altra opzione sta nell'individuare dei modelli di servizio dedicato al condominio che abbiano un impatto economico iniziale minore rispetto a quelle auto in leasing aziendale, senza prevedere così l'acquisto dei veicoli da parte di un gruppo più o meno ampio di condomini o dal condominio stesso.

Alcuni spunti, in parte ricavati dai feedback forniti dagli utenti, riguardano i fattori che possono favorire l'utilizzo di un servizio di car sharing su base condominiale:

- la stipula di convenzioni con locali commerciali (supermercati) o culturali (cinema) che favoriscano chi arriva con un'auto in sharing;
- la presenza di una community on-line degli utenti e meccanismi per favorire meccanismi di car pooling;
- la presenza di istruzioni all'interno della macchina per l'uso del cambio automatico;
- l'integrazione di un modello peer-to-peer oltre al modello tradizionale per il car sharing di condominio.

In generale, l'idea di fruire di una macchina ad uso condominiale, risulta dalla sperimentazione come positiva. Ci sono alcune resistenze da vincere, quali il dover pianificare il proprio viaggio, l'effettuare la prenotazione e dover pagare per l'utilizzo ma gli utenti, a fronte dei vantaggi economici e ambientali, sembrano ben disposti a superare tali resistenze.

Con la sempre maggiore diffusione dei servizi di car sharing tradizionali, anche la versione condominiale potrebbe avere successo. In particolare modo, per le case in via di costruzione, si potrebbe prevedere la predisposizione di un'auto condominiale, dei relativi spazi, eventuali prese di carica e accessori.

La sperimentazione, infine, è stata utile sia a livello di ricerca sia per la diffusione della buona pratica del car sharing, sia per gli utenti che hanno sperimentato l'utilizzo aderendo alla sperimentazione, sia per quelli che sono stati coinvolti solo nell'ambito dei momenti di comunicazione.

5.1.2 Field Test

Durante il corso del progetto è stata continuamente svolta un'attività di test dei vari prototipi dei componenti sviluppati.

I componenti sono stati installati e testati sui veicoli disponibili presso il Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria del Politecnico di Milano. Nel seguito viene descritta l'evoluzione che i prototipi hanno subito nel corso del progetto.

Fase 1: primo prototipo del sistema (solo accesso HW)

Nella prima fase dei test si è provveduto ad installare il GEB sui primi due veicoli scelti per la sperimentazione: l'Estrima Birò e la Tazzari Zero.

Questi due veicoli non possiedono un CAN-bus quindi il GEB sfrutta le interfacce di comunicazione analogico/digitale diretta (descritte nella sezione 3.2) per acquisire ed inviare segnali al veicolo stesso.

L'installazione e la connessione del GEB ai vari segnali e comandi resi disponibili dai costruttori dei veicoli è stata realizzata grazie all'utilizzo delle specifiche di comunicazione rese disponibili dai costruttori stessi.

Tabella 5.4 – Cablaggio tra GEB e Tazzari Zero

	CAVO A (8 POLI)	CAVO B (6 POLI)	CAVO C (6 POLI)
Colore	Funzione		
Giallo	Tensione batteria	Marcia indietro	Riscaldamento on/off
Verde	SoC	Marcia avanti	Modalità race
Bianco	Corrente batteria	GND	Modalità economy
Viola	Velocità	-	-
Marrone	In carica si/no	-	-
Nero	Stato porte	Apertura porte	Modalità rain
Rosso	Fault batteria	Accensione veicolo (non implementata)	Non collegato
Blu	Fault azionamento	Chiusura porte	Modalità standard

In Tabella 5.4 viene mostrato un esempio di cablaggio tra il veicolo Tazzari Zero e il GEB.

Una volta connesso il GEB al veicolo esso è stato posizionato nel sotto-plancia del veicolo Tazzari Zero (Figura 5.3) e nel vano portaoggetti del veicolo Estrima Birò (Figura 5.4).

Analizzando l'elettronica dei veicoli si è evidenziato che il veicolo Birò è ascrivibile a una tipologia di veicoli con elettronica minimale non dotato di un sistema bus o di una centralina in grado di inibire l'avvio del motore via software; essendo un quadriciclo leggero per un contesto urbano non è inoltre dotato di un sistema di chiusura centralizzata (le porte in plastica sono addirittura asportabili) pertanto non è neppure possibile inibire l'accesso fisico al veicolo. Pertanto il GEB allestito su questo veicolo svolge prevalentemente operazioni di acquisizione dei dati telemetrici.

In questa fase si è notato come l'assenza di un protocollo standard (ad es. CAN-bus) renda di fatto molto più problematica e difficoltosa la procedura di installazione e configurazione iniziale del GEB sul veicolo.

Al fine di disaccoppiare il GEB dal visualizzatore dei dati si è dotato il GEB di un canale bluetooth; si è quindi sviluppata un'applicazione mobile per la piattaforma Android per poter visualizzare i dati telemetrici provenienti dal veicolo e poter inviare i comandi di controllo a quest'ultimo (come ad esempio l'apertura porte).

Si è inoltre evidenziato che il canale di comunicazione bluetooth non si è dimostrato sufficientemente stabile per gestire la comunicazione tra GEB e visualizzatore dati, suggerendo di utilizzare un canale di comunicazione UART (lato GEB) – USB (lato visualizzatore), il quale garantisce una maggiore stabilità della comunicazione e una maggiore efficienza energetica.



Figura 5.3 – Alloggiamento del GEB nel veicolo Tazzari Zero



Figura 5.4 – Alloggiamento del GEB nel veicolo Estrima Birò

Fase 2: secondo prototipo del sistema

Si è passati quindi da una configurazione in cui il GEB era composto da due elementi distinti che comunicavano tramite bluetooth a una configurazione in cui il tutto comunicava via UART-USB, tramite una scheda di interfaccia dedicata (descritta nella sezione 3.2.2) lasciando di fatto disponibile il canale bluetooth per la comunicazione tra GEB e smartphone dell'utente.

L'altra alternativa presa in considerazione per l'accesso al veicolo era basata sul protocollo di comunicazione NFC (vedi capitolo 0). Dato che le API rese disponibili dalla piattaforma Android fornivano un set di istruzioni di controllo molto ridotto rispetto alle API bluetooth, al momento in cui lo sviluppo del prototipo era in corso, e data anche la scarsa diffusione di smartphone su cui la tecnologia NFC era effettivamente disponibile hanno di fatto scoraggiato l'utilizzo di tale tecnologia. A scopo di test, un lettore NFC è stato comunque collegato al GEB installato sul veicolo Tazzari, verificando di fatto la possibilità di sbloccare/bloccare le portiere del veicolo tramite questa tecnologia.

Il prototipo di GEB ottenuto al termine di questa attività di test è di fatto, a livello hardware, il prototipo definitivo che supporterà tutte le successive attività di test.

È stata inoltre sviluppata un'applicazione per lo smartphone dell'utente in grado di comunicare con il GEB installato sui veicoli che consente di inviare i comandi di apertura/chiusura porte e attivazione/spengimento del motore.

Fase 3: terzo prototipo del sistema

È stato quindi sviluppato il complesso di autenticazione e ticketing indicato nella sezione 3.1.4. L'applicazione è quindi in grado di recuperare un ticket opportunamente criptato, inviarlo al veicolo che a sua volta ne verifica la correttezza e l'autenticità.

Nello sviluppo dell'applicazione si è subito evidenziato che le operazioni di creazione delle chiavi asimmetriche, così come le operazioni di verifica delle stesse, risultano computazionalmente impegnative per le piattaforme utilizzate (smartphone di fascia medio/bassa).

Parallelamente si è sviluppata la comunicazione tra il software layer del GEB Android e il sistema di complex event processing T-Rex tramite la quale è possibile inviare dati telemetrici e georeferenziati inerenti alla posizione del veicolo al server, il quale tramite un semplice meccanismo di logging registra in una base di dati ogni singolo dato ricevuto per consentire eventuali analisi a posteriori.

Data l'eterogeneità dei componenti software del sistema (il sistema di ticketing è realizzato in Ruby on Rails, le applicazioni mobile sono realizzate in Java su piattaforma Android e il logger è realizzato in Java su piattaforma SDK standard) si è reso necessario un intenso lavoro di formattazione e riconciliazione dei tipi di dati trasmessi al fine di garantire una perfetta coerenza dei dati trasmessi.

Nello sviluppo del layer di comunicazione tra il GEB software e il server T-Rex diverse ore sono state dedicate alla risoluzione di alcuni problemi derivanti dalla necessità di mantenere, sulla piattaforma Android, un canale di comunicazione persistente e continuamente aperto verso il server.

Al termine di questa fase di test si è ritenuto che l'intero pacchetto HW/SW fosse sufficientemente stabile da consentire il passaggio alla successiva, e finale, fase di test.

Fase 4: prototipo attuale

Nell'ultima fase di test svolti sul campo si è affrontata la problematica dell'inserimento di un nuovo veicolo (Piaggio Liberty) all'interno della flotta a disposizione.

Il primo passo è stato l'allestimento di un GEB per questo veicolo, cosa che ha generato due problematiche principali: un problema di interfaccia tra GEB e veicolo (questo era il primo veicolo della flotta dotato di protocollo di comunicazione CAN-bus) e la scarsità di spazi in cui posizionare fisicamente il GEB.

Entrambe le problematiche sono state risolte:

- Tramite contatti con l'azienda Piaggio è stato possibile recuperare il protocollo standard di comunicazione CAN-bus utilizzato dal veicolo, consentendo il recupero di informazioni telemetriche (tipo velocità, stato di carica della batteria, ...) e la possibilità di inviare comandi al veicolo, consentendo di abilitarne/disabilitarne la marcia; inoltre è possibile interfacciarsi direttamente al display presente sul cruscotto con la possibilità di inserire brevi messaggi su di esso.
- La possibilità di usare il display del veicolo ha di fatto consentito di ridurre le dimensioni del GEB (composto quindi da una board di comunicazione ridotta e da uno smartphone Android che implementa il layer software), rendendo possibile la sua installazione senza problemi nei ristretti spazi disponibili su uno scooter (si veda la Figura 5.5).



Figura 5.5 – Allestimento del Piaggio Liberty

A questo punto si è verificato che il veicolo era stato correttamente e con sforzo minimo inserito nella flotta e tutti i componenti comunicavano correttamente tra di loro.

Il Piaggio Liberty è di fatto l'unico veicolo dotato di presa standard SCAME a 4 poli (che ne consente la ricarica alle colonnine A2A).

Per quanto concerne l'infrastruttura di prenotazione, l'inserimento di un nuovo veicolo nel sistema è stato possibile utilizzando le opportune API disponibili, inserendo l'identificativo del veicolo e la sua chiave di cifratura; nel giro di pochi istanti il veicolo era disponibile per la prenotazione e i suoi dati venivano correttamente loggati nel sistema centrale.

Data la varietà dei veicoli e la grande mole di dati potenzialmente recuperabili si è approntato un sistema di distribuzione dinamica di componenti software che consente di inviare da server piccole porzioni di applicazioni sui vari GEB (layer software).

Tale modifica ha richiesto di intervenire tanto sul layer software lato client quanto sul software del server per offrire un'interfaccia in grado di caricare, e eventualmente rimuovere, le porzioni di codice da inviare ai GEB dei veicoli.

Particolarmente complesso e impegnativo è stato lo sviluppo di un sistema dinamico in grado di avviare dinamicamente la porzione di codice scaricata dal server, operazione particolarmente delicata.

Si è successivamente reso necessario lo sviluppo di un applicativo ad-hoc per controllare l'avvio e la rimozione di applicazioni dinamiche; al fine di consentire un'opportuna grana di controllo nelle operazioni di caricamento e rimozione delle applicazioni, si è deciso di affidare a T-Rex il compito dell'invio degli opportuni messaggi per la gestione delle applicazioni dinamiche.

Allo stato attuale dello sviluppo sono state previste due diverse politiche di invio dei comandi, in unicast e in broadcast, consentendo quindi l'invio del comando di installazione/rimozione ad un singolo veicolo o ad un insieme di questi.

La scelta dell'utilizzo del sistema T-Rex, associata alle informazioni di context localization offerte dal GEB layer software ci ha consentito di verificare e strutturare regole complesse di installazione context-aware.

5.2 Attività a supporto del dimostratore (A5.2)

Se l'attività A5.1 è stata principalmente di tipo "desk", questa attività ha richiesto attenzione specifica caratteristica delle attività che devono essere compiute anche in contesti *outdoor* e che devono vedere l'integrazione dei diversi contributi provenienti dall'esito delle attività di ricerca svolte dai diversi gruppi partecipanti al progetto. Questo ha implicato lo sviluppo di specifiche di coordinamento, oltre ad una precisa scansione temporale dei rilasci e delle messe in opera da parte dei gruppi stessi.

Come si è evinto dall'articolazione delle attività sin qui descritte, il progetto "Green Move" ha voluto sviluppare tutte le analisi e la progettualità necessarie alla realizzazione di un sistema realmente funzionante su larga scala. Questo obiettivo, nell'ambito del progetto, ha richiesto lo sviluppo un dimostratore su scala ridotta, per testare e verificare, nella pratica di un contesto reale, la concreta realizzabilità del sistema ideato.

La prima attività ha riguardato l'allestimento all'interno del Campus Giurati del Politecnico di Milano, della necessaria infrastruttura di parcheggio e ricarica dei veicoli selezionati dal gruppo di ricerca del Politecnico focalizzato sullo studio delle peculiarità dei veicoli elettrici e della loro gestione in flotta da una molteplicità di utenti. Con i servizi interni dell'ateneo sono state realizzate le apposite piazzole di sosta (come è possibile evincere dalla Fig. A5.2.1 e A.5.2.2), posizionate in maniera da avere in opportuna posizione la colonnina di ricarica.

La colonnina di ricarica è stata posizionata in collaborazione con A2A (le caratteristiche della colonnina sono riportate in fig. A5.2.3), poiché si è voluto scegliere un operatore che nel contesto milanese fosse primario per diffusione di postazioni, al fine di testare proprio le caratteristiche di interoperabilità del sistema Green Move con quanto diffusamente presente sul mercato. Prima di tale scelta però erano state verificate le caratteristiche di fornitori internazionali quali: la soluzione di 365 Energy Group (ChargePoint – www.365-energy.com) e la soluzione delle cabine della Rittal (www.rittal.it).



Figura 5.6 – La posizione della colonnina e delle piazzole Green Move all'interno del Campus Giurati del Politecnico di Milano

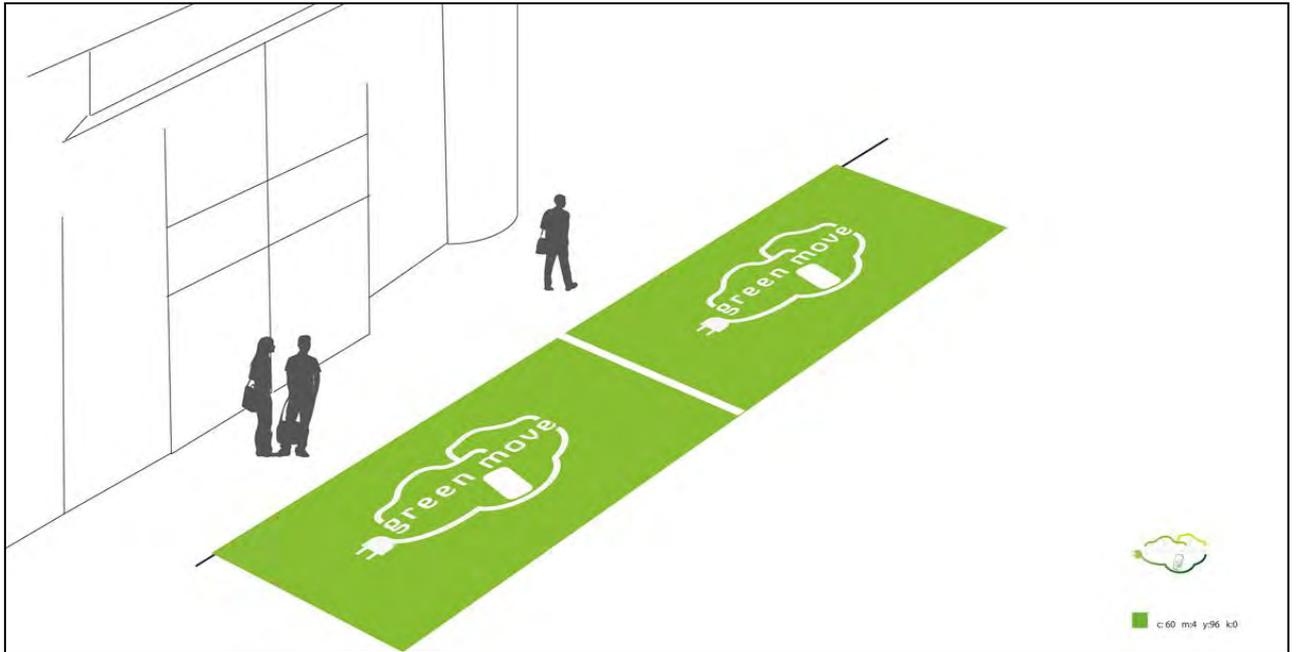


Figura 5.7 – Uno degli studi realizzati per le soluzioni di piazzole del progetto Green Move

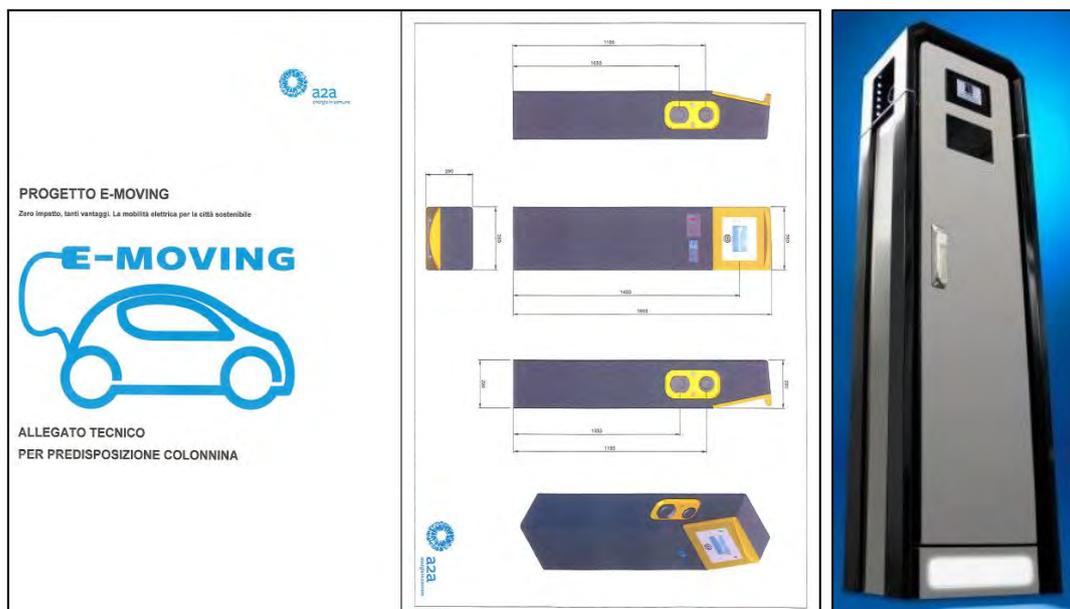


Figura 5.8 – le colonnine di ricarica E-Moving di A2A scelte per testare le soluzioni del progetto Green Move (a sinistra) e la colonnina non selezionata della Rittal (a destra)

Ulteriori attività a supporto del dimostratore sono le diverse soluzioni di dettaglio individuate per la fruizione del servizio presso i condomini (Allegato 5).

Prima di tutto la stipula del primo “contratto tipo” con SEMS Servizi per la Mobilità Sostenibile srl per il noleggio di veicoli elettrici omologati secondo le normative vigenti per ogni tipo di utilizzo (tangenziali ed autostrade comprese) e la loro inclusione nel sistema interoperabile multiutenti di Green Move.

In seguito le diverse soluzioni di parcheggio dei veicoli, presso box condominiali adibiti ad uso comune appositamente dedicati al progetto Green Move (anche tramite cambio di serrature e distribuzione di

chiavi) in Via Scarsellini, oppure presso il parcheggio E-Vai (tramite l'intermediazione di SEMS) di fronte alla stazione delle FN/Passante Ferroviario di Milano Bovisa (con veicoli messi a disposizione ad uso esclusivo dei condomini di Via Donadoni).



SEMS
Servizi Mobilità Sostenibile

CONTRATTO DI SERVIZIO DI CAR SHARING
(di seguito il "Contratto")

Contratto n.: _____

TRA

Cliente: Fondazione Politecnico di Milano Partita Iva: 04080270962
Codice Fiscale: 97346000157
Con sede in: Milano via: Piazza Leonardo da Vinci n.: 32
Per il quale interviene: Eugenio GATTI in qualità di: Direttore generale e procuratore
nato a: Piacenza il: 27/11/1970

(di seguito denominato il "Cliente")

Figura 5.9 – Estratto del contratto con SEMS

6 Comunicazione e documentazione

6.1 Disseminazione, workshop finale e dimostrazione di fattibilità (A4.3)

L'attività A4.3 si proponeva di comunicare efficacemente:

1. all'utenza le caratteristiche, i vantaggi, le modalità di utilizzo e di tariffazione e le altre innovazioni del sistema Green Move;
2. ai soggetti interessati le modalità di inserimento della propria flotta all'interno della rete del sistema;
3. alle istituzioni il carattere innovativo e l'efficacia del sistema nell'affrontare i problemi di mobilità in ambito urbano e cittadino.

6.1.1 Comunicazione all'utenza

A questo scopo le azioni messe in atto hanno riguardato due "gruppi pilota" di utenze, selezionate in quanto rappresentative di una tipologia di utenza considerata tra le più interessanti ai fini della strategicità del progetto Green Move per entità dell'impatto potenziale sul traffico urbano: gli abitanti di due condomini della città di Milano: Via *Scarsellini* n. 17 e Via *Donadoni* n. 12.

Tale attività ha permesso di affinare le modalità di esposizione agli utenti "non tecnici", di quanto sviluppato secondo canoni relativi all'attività scientifica e di ricerca e sviluppo dell'ateneo. Gli incontri precedenti la messa in servizio sperimentale del sistema Green Move nei due condomini sono stati progettati e seguiti sia da personale della Fondazione Politecnico di Milano sia da ricercatori del Politecnico di Milano. Schede informative, animazioni e video, sono stati utilizzati come strumenti semplici, ma ideali per facilitare la comprensione delle modalità di utilizzo del sistema di *vehicle sharing* Green Move.

Particolare attenzione è stata dedicata alla semplificazione dei criteri relativi alle differenti tipologie di *tariffazione* sperimentate, cercando soluzioni espositive comprensibili alla maggior parte dell'utenza potenziale e non solo ad un pubblico più qualificato ed incline alle valutazioni di economicità dei servizi.

Alcuni degli incontri sono serviti a presentare i veicoli elettrici, in maniera da facilitarne la confidenza d'uso tra gli abitanti dei due condomini, sia per quanto relativo alle loro peculiarità di veicoli "senza frizione" (rispetto ad altri servizi di car sharing elettrico, Green Move ha voluto raggiungere segmenti di popolazione meno "spontaneamente propensi" alla "novità" della guida elettrica), sia per quanto relativo alla procedura di accesso e utilizzo del servizio (prenotazione tramite l'apposito strumento web, sblocco delle portiere dei veicoli, utilizzo, riconsegna e sblocco degli stessi).

Di tutto il lavoro preliminare l'avvio della sperimentazione vera e propria è stato fatto tesoro ai fini di stendere precisi e dettagliati regolamenti d'uso, per il rispetto sia delle regole d'uso di beni condivisi, sia per il rispetto delle norme di sicurezza, di tutela della proprietà, delle norme sulle coperture assicurative.

6.1.2 Comunicazione ai soggetti interessati

A questo scopo, l'ateneo stesso del Politecnico di Milano è stato utilizzato come test per sviluppare soluzioni comunicative efficaci. Grazie al posizionamento delle piazzole all'interno di uno dei campus dell'ateneo infatti, altissimo è stato il grado di attenzione per l'iniziativa che è stato riscontrato tra studenti, docenti e personale tecnico del Politecnico di Milano. L'allestimento dei veicoli e la loro presenza all'interno dell'ateneo ci ha permesso infatti di verificare positivamente il grado di appropriatezza delle soluzioni comunicative individuate come strumento di autopromozione dell'iniziativa attraverso la sua presenza sul territorio.

Test ancora più significativo da questo punto di vista è stato invece rappresentato dal rapporto instaurato con la SEMS – Servizi per la Mobilità Sostenibile srl. La società nasce come soggetto che

dedica la sua attività al *car sharing* (fornendo i suoi servizi anche ad E-Vai). In quanto soggetto di grandi dimensioni è stato considerato un caso più complicato rispetto ai proprietari singoli, che quindi al caso di SEMS potrebbero essere ricondotti in maniera semplificata. Con accordi economici, concordati con Regione Lombardia e stipulati ai fini di garantire le simulazioni più veritiere possibili, sono stati da loro noleggiati dei veicoli, come primo test dei di differenziazione del business con l'introduzione di modelli di servizio innovati all'interno di un sistema di car sharing tradizionale come quello di e-Vai.

6.1.3 Comunicazione alle Istituzioni

Tale attività, già condotta secondo i canoni tradizionali attraverso il sito web di progetto www.greenmove.polimi.it, il bilancio sociale della Fondazione Politecnico di Milano, newsletter, articoli (per esempio: <http://www.dueruote.it/video/ruote-in-citta-very-cool-la-tazzari-zero>, ma anche a carattere scientifico) e interventi a convegni di settore relativi alla mobilità sostenibile, si concluderà con l'evento finale presso la sede di Regione Lombardia in corso di organizzazione, secondo quanto stabilito direttamente con il dott. Armando De Crinito (e previsto concordemente per il novembre 2013).

Secondo queste linee guida si è quindi svolta l'attività, che è stata condotta in stretta sinergia tra i due partner Fondazione Politecnico di Milano e Dipartimento di Elettronica e Informazione del Politecnico di Milano e con tutti i gruppi di ricerca coinvolti. Preliminarmente a tutte queste attività, particolare cura è stata data alla visibilità e alla comunicabilità delle attività di progetto, sia attraverso lo sviluppo di un adeguato logo di progetto (che trasmettesse l'idea di una mobilità molteplice, verde, elettrica, gestita attraverso l'innovazione tecnologica), sia attraverso il suo utilizzo in abbinamento ai loghi dei partner e di Regione Lombardia (come possibile evincere dalle figure seguenti, riportate solo a titolo di esemplificazione parziale delle attività condotte).



Figura 6.1 – Il logo scelto per il progetto Green Move (a sinistra) e uno dei veicoli della flotta Green Move utilizzati per le attività di sperimentazione (a destra)



Figura 6.2 – Screen shot del sito web del progetto Green Move.

6.1.4 La comunicazione come relazione

La visualizzazione e il racconto come strumenti di pre-figurazione dei servizi e di coinvolgimento delle comunità di utenti.

Green Move è un progetto complesso per le competenze interdisciplinari coinvolte e per il sistema di servizi che propone, in termini di tecnologie, di modelli di business, di utenti e comunità, previsti nell'ideazione ed effettivamente coinvolti nella sperimentazione. Un tale sistema di attori, tecnologie e processi socio-economici ha bisogno di una **strategia di comunicazione integrata** capace da una parte di dare forma al sistema stesso, pre-figurarla in modo da renderlo comprensibile e condivisibile dai portatori di interesse; dall'altra, di supportare il coinvolgimento dei potenziali utenti nella sperimentazione dei servizi, grazie alla reificazione dei valori e dell'universo di riferimento.

Un'**introduzione** alla strategia di comunicazione mette in evidenza il contributo dell'analisi della domanda e dell'analisi degli stakeholder, rispettivamente sviluppate dai gruppi del Dipartimento di Architettura e Studi urbani e del Dipartimento di Ingegneria gestionale e passa in rassegna molto brevemente alcuni **cas studio** di riferimento nel settore dei servizi per la mobilità sostenibile, analizzati dal punto di vista comunicativo per definire il posizionamento della comunicazione Green Move.

Le indagini relative all'analisi degli stakeholder sono state utili a definire gli attori coinvolti nel sistema Green Move, i rispettivi obiettivi e le aspettative rispetto a ciascuna delle configurazioni di servizio proposte ("L'auto di condominio", "Auto e posto di lavoro", "Mondo di servizi", oltre ad un più generico car sharing). Questo ha consentito di individuare gli elementi di forza di Green Move da valorizzare attraverso la comunicazione (i benefici ambientali e sociali per la collettività e quelli economici e di servizio per l'utente) così come le resistenze culturali (la cultura del possesso dell'auto e la percezione dell'auto aziendale come benefit) o le barriere psicologiche (la diversa percezione del veicolo elettrico in caso di acquisto o di car sharing).

L'analisi della domanda e della letteratura ha permesso di definire i profili degli utenti potenziali, mettendo in evidenza la necessità di rivolgersi a categorie di utenza ben definite (es. lavoratori dipendenti o studenti), facendo emergere i vantaggi derivanti da forme di collaborazione (fra condomini o colleghi, per esempio) e di condivisione tra utenti (come avviene per il peer-to-peer).

La strategia integrata di comunicazione si articola dunque nelle seguenti **azioni**, di cui vengono descritti obiettivi specifici, attori coinvolti e output comunicativi effettivamente sviluppati:

1. un video introduttivo di presentazione del progetto e della sperimentazione del servizio Auto di condominio;
2. video-interviste ai responsabili dei team di progetto;
3. TV di condominio (Scarsellini TV) e 4 format progettati e realizzati insieme ai condomini di Scarsellini;
4. progetto grafico del sito web Green Move come contenitore dei risultati del progetto di ricerca;
5. presentazione di Green Move in occasione dell'evento finale.

Infine, le conclusioni affrontano il contributo della TV di condominio (Scarsellini TV) alla fase di sperimentazione e propongono una prima valutazione dei risultati in termini di contributo della comunicazione al processo di innovazione sociale, nonché le potenzialità di uno sviluppo ulteriore delle azioni di comunicazione avviate e della loro integrazione.

Casi studio e posizionamento GM

Sono stati analizzati il tono di voce, lo stile comunicativo e gli artefatti di comunicazione audiovisiva di alcuni servizi di car sharing⁴³, fra i casi studio individuati dalla ricerca attraverso i siti internet, i social network e le applicazioni mobile di riferimento, che spesso rappresentano i primi punti di contatto fra il brand dei gestori e l'utente finale. Dall'analisi emerge come i gestori di servizi che si rivolgono ad un pubblico internazionale propongono una comunicazione strutturata molto legata al brand e ai suoi valori, oltre che indirizzata al target di utenti potenziali, mentre i servizi di car sharing legati alle istituzioni locali (Comuni e PA) risultano sviluppati in relazione alle esigenze specifiche della città e rivolti ad un'utenza generica e meno connotata.

I casi studio di riferimento non sono stati analizzati in quanto competitor di Green Move, dal momento che il progetto di ricerca ha l'obiettivo di produrre delle raccomandazioni per un sistema di car sharing elettrico nella città di Milano e di proporre una standardizzazione e una messa a sistema delle tecnologie e dei servizi disponibili, anche attraverso lo studio di un modello di tipo peer to peer.

Si è scelto dunque di proporre Green Move come una buona pratica nata nell'ambito della ricerca di un gruppo di lavoro del Politecnico di Milano, da comunicare con un tono istituzionale, perché forte di una reputazione consolidata e della riconoscibilità derivante della storia dell'Ateneo. Il tono è comunque confidenziale e non ingessato, perché il progetto è vicino al cittadino-utente con cui ha stabilito una relazione diretta e chiara.

La strategia di comunicazione integrata si fonda sull'ipotesi che favorire e supportare la costruzione di una community attiva attorno al servizio e ai valori che lo sottendono lo renda più appetibile ai potenziali investitori, che si troveranno in relazione con un gruppo di utenti profilato e concretamente coinvolto in un processo di condivisione di servizi, prodotti e valori definiti. Tale community rappresenta un osservatorio privilegiato sulle condizioni d'uso del servizio dimostrandone l'utilizzo quotidiano.

L'ambizione di Green Move di proporre un sistema di servizi di car sharing elettrico si accompagna al ruolo fondamentale dell'università pubblica, il Politecnico di Milano, con le diverse discipline e comunità scientifiche che lo compongono, in grado di fornire un contributo attento e preciso alla soluzione dei problemi di mobilità della città di Milano, dal punto di vista dell'innovazione tecnologica e sociale, dei servizi e del benessere dei cittadini.

Obiettivi della comunicazione

- comunicare la ricerca in corso d'opera
- comunicare i risultati della ricerca

⁴³Car2go (sito, commercial e video tutorial); Zipcar (video-tutorial); iGo (video-tutorial); GuidaMi (sito internet). I casi studio sono stati analizzati da Gabriele Mellerà nel lavoro di tesi di Laurea Magistrale Valorizzare il progetto e la ricerca attraverso il gruppo. Il caso Green Move, relatore: Francesca Piredda, Scuola del Design, Politecnico di Milano, a.a. 2012-13.

- valorizzare il contributo della ricerca in termini di servizi (modello di business p2p e segmentazione dell'utenza) e di standardizzazione delle tecnologie disponibili.
- valorizzare l'identità "politecnica" del gruppo di ricerca (messa a sistema delle competenze di diversi Dipartimenti)
- stimolare gli stakeholder a diventare potenziali partner e investitori
- informare i cittadini

Target

- Primario:
 - Regione e Pubblica Amministrazione
 - altri stakeholder (imprese, produttori auto; fornitori di servizi)
- Secondario:
 - utenti potenziali (cittadini)

La strategia di comunicazione ha un carattere fortemente sperimentale, dal momento che utilizza il focus target dei cittadini (in particolare il gruppo dei condomini di Via Scarsellini, dove si è svolta la sperimentazione dell'Auto di condominio) per raggiungere il target primario: l'occasione della sperimentazione ha rappresentato infatti un'opportunità per entrare in contatto diretto con un gruppo di cittadini milanesi, dei quali è stato possibile individuare, documentare e raccontare bisogni, abitudini e aspettative di mobilità e di vita quotidiana più in generale, attraverso delle video-interviste e la relazione diretta con alcuni di essi, consentendo l'individuazione di alcuni profili-tipo (personas) quali ad esempio:

- la coppia di pensionati, che usa il servizio Auto di condominio per sfruttare appieno il tempo libero, è attiva nella vita condominiale e aperta alla condivisione di esperienze e spazi comuni;
- la giovane coppia con figli piccoli, che trova nel condominio un tessuto sociale assimilabile a quello della provincia da cui proviene.

Il servizio Green Move Auto di condominio viene così mostrato all'opera attraverso la costruzione di una community reale, attiva attorno al brand Green Move e ai suoi valori: la sperimentazione di Via Scarsellini rappresenta l'occasione per riprendere il servizio in funzione e contemporaneamente coinvolgere i condomini nella produzione dei contenuti di Scarsellini TV.

Azioni

Sono state sviluppate le seguenti azioni di comunicazione, delle quali verranno messi in evidenza i rispettivi obiettivi, attori e output specifici:

1. un video introduttivo di presentazione del progetto e della sperimentazione del servizio Auto di condominio⁴⁴;
2. video-interviste ai responsabili dei team di progetto;
3. TV di condominio (Scarsellini TV) e 4 format progettati e realizzati insieme ai condomini di Scarsellini⁴⁵;
4. progetto grafico del sito web Green Move come contenitore dei risultati del progetto di ricerca;
5. presentazione di Green Move in occasione dell'evento finale.

1. Video introduttivo: Green Move. Aperto, leggero, elettrico e vicino.

Un'animazione della durata di 1'25" (Figura 6.3), che illustra le caratteristiche principali del progetto Green Move. Destinato ad una distribuzione sul web, principalmente sul canale YouTube del Politecnico e sul sito Green Move, ma anche alla proiezione in occasione di presentazioni pubbliche del progetto (incontri con gli utenti e gli stakeholder, evento di chiusura della ricerca), quindi in un'ampia gamma di

⁴⁴ Tesi di Laurea Magistrale di Gabriele Mellera, *Valorizzare il progetto e la ricerca attraverso il gruppo. Il caso Green Move*, relatore: Francesca Piredda, Scuola del Design, Politecnico di Milano, a.a. 2012-13.

⁴⁵ Tesi di Laurea Magistrale di Giancarlo Piccinno, *Micro TV e TV di condominio. Il caso Scarsellini TV*, forthcoming, relatore: Francesca Piredda, Scuola del Design, Politecnico di Milano, a.a. 2012-13.

situazioni. Lo stile grafico essenziale è associato a parole chiave e ad una voce fuori campo dal tono istituzionale, ma non ingessato.

Personaggi e ambienti stilizzati e la rappresentazione degli spazi in assonometria isometrica consentono un'animazione dai movimenti piuttosto semplici, ma nello stesso tempo rappresentano degli elementi di identità molto forti, risultando coordinati e coerenti con il marchio Green Move e con i colori istituzionali del progetto, senza rinunciare al volume e pur introducendo elementi di drammatizzazione. La sonorizzazione del marchio e del pay off completano l'ident di apertura e chiusura. Il carattere elettrico del servizio diventa un elemento grafico importante per legare fra loro i contenuti del video, attraverso un filo conduttore che introduce la comparsa delle parole chiave e articola la transizione fra le parti del video. Infatti, la struttura narrativa è modulare: le prime tre scene o capitoli riguardano il progetto in generale, a cui segue una parte finale, che illustra le caratteristiche di una delle configurazioni di servizi proposte dalla ricerca, quella dell'Auto di condominio.



Figura 6.3 – Video introduttivo del progetto Green Move⁴⁶.

Infine, da un punto di vista produttivo, l'animazione ha consentito tempi di realizzazione brevi e il coinvolgimento di una sola persona oltre allo speaker.

⁴⁶ Disegni e animazione: Gabriele Mellera; Testi: Alberto Colorni, Liat Rogel e Francesca Piredda; Voce: Gianluca Gazzol

2. Video-interviste

Realizzate con lo scopo di spiegare alcune caratteristiche del progetto e per dare un volto ai membri del team “politecnico”, le video-interviste ai rappresentanti dei vari dipartimenti coinvolti nel progetto sintetizzano il contributo di ciascun gruppo ed i risultati attesi. I ricercatori “ci hanno messo la faccia” contribuendo a valorizzare la dimensione umana e il coinvolgimento personale di ciascuno nel progetto. Le video-interviste hanno inoltre l'obiettivo di integrare quanto illustrato nel video introduttivo e fornire un approfondimento. L'impianto grafico è dunque il medesimo, utilizzando lo stesso filo conduttore per far comparire le parole chiave e scoprire dietro alle tendine i protagonisti della ricerca. La pubblicazione sul canale YouTube⁴⁷ del Politecnico rafforza il carattere istituzionale di tali contenuti video e l'immagine complessiva del progetto (



Figura 6.4 – Le video-interviste realizzate sul canale YouTube del Politecnico di Milano.

Sono state realizzate sia nelle fasi intermedie del progetto di ricerca che per la presentazione finale. Queste ultime, hanno l'obiettivo di definire i risultati ottenuti.

3. Scarsellini TV. Vicini + vicini

Il 13 Marzo 2013 è stata avviata ufficialmente la sperimentazione del servizio Auto di condominio in Via Scarsellini 17. L'incontro è stato documentato da due operatori del Laboratorio di Movie Design del Politecnico di Milano, registrando fra l'altro l'iscrizione. La documentazione ha la doppia finalità di raccogliere informazioni sull'andamento della sperimentazione e stabilire un rapporto di collaborazione fra i condomini e i ricercatori, indispensabile per la buona riuscita della sperimentazione stessa, attraverso la TV di condominio. Dal punto di vista dei contenuti, Scarsellini TV (Figura 6.5) ha l'obiettivo di consolidare una community che vada oltre il solo car sharing, così da creare sinergie che aumentino, anche indirettamente, l'interesse attorno a Green Move di una comunità che condivide gli stessi valori, reificandoli attraverso la propria quotidianità. I temi trattati hanno infatti riguardato la documentazione e le impressioni relative all'utilizzo del servizio sperimentale, ma anche le iniziative dei condomini (gruppo di acquisto solidale, corsi di pilates e cucito, colazione comune, partita di calcetto, etc.) (Figura 6.6).

Entrare a far parte di questa quotidianità è fondamentale prima di tutto per i designer della comunicazione e per i video-maker in particolare, che hanno dovuto entrare in relazione diretta con i condomini, conquistare la loro fiducia coltivando tali rapporti personali, attraverso una periodica presenza sul posto e un continuo scambio di opinioni anche attraverso canali come la community on line. Essere autorizzati a far parte del blog del condominio ha significato aspettare che la relazione maturasse e di essere riconosciuti come parte di un progetto comune.

⁴⁷ http://www.youtube.com/playlist?list=PL_06oobzMEusjsq-5b7AJaJi2I2iY4-Mq

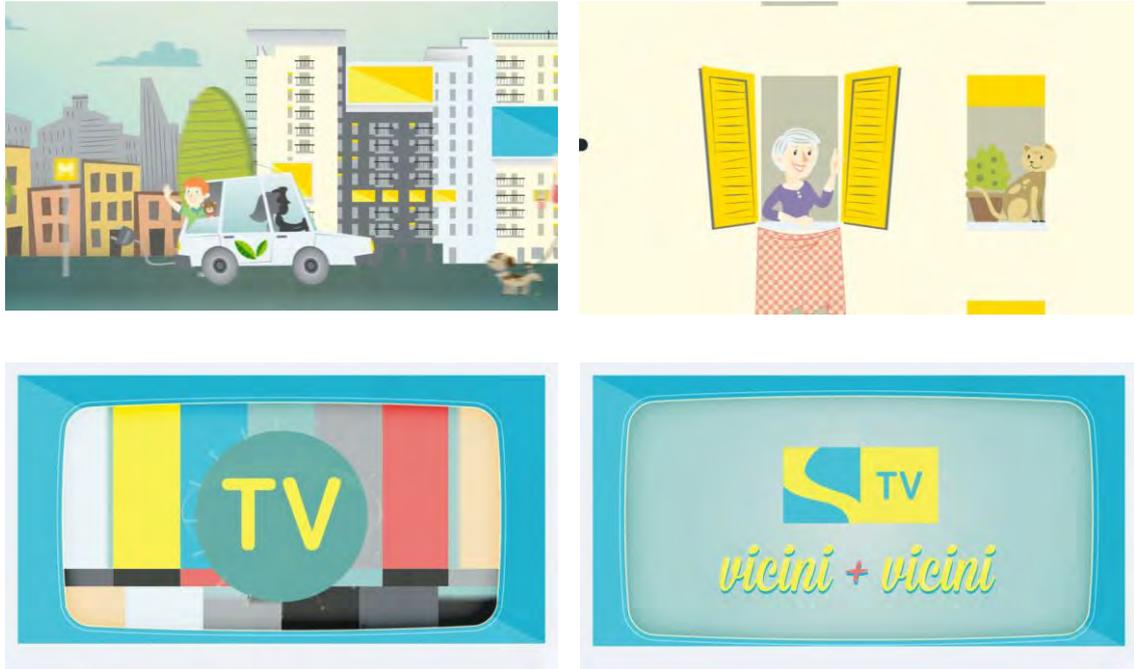


Figura 6.5 – L'ident di Scarsellini TV. Vicini + vicini.

Processo

L'ambizione di costruire una redazione di condomini a cui trasferire competenze anche tecniche per il progetto e la produzione dei contenuti televisivi ha trovato ostacoli legati in particolare alla mancanza di profili adatti a sviluppare un simile processo: l'unico a partecipare attivamente, non soltanto nella veste di intervistato o protagonista delle attività documentate, ma anche come operatore per la ripresa è stato un ragazzo di 14 anni appassionato di video e, in modo saltuario, un suo amico. Non essendoci coetanei (gli altri giovani residenti nel condominio sono bambini o adulti lavoratori), è stato difficile costruire una redazione che potesse diventare autonoma.

Format

- Scarsellini NEWS. Un TG per informare e comunicare ai condomini tutti gli appuntamenti della vita nel condominio.
- Scarsellini LIFE. La cronaca delle attività svolte nel condominio: il racconto dei corsi (pilates, cucito, etc.), le iniziative (GAS), gli eventi, le curiosità.
- Scarsellini TUTS. Semplici tutorial in cui gli inquilini mettono a disposizione degli altri le loro esperienze e conoscenze.
- Scarsellini SPEAK. Video box attraverso cui i condomini esprimono le loro opinioni rispondendo a quesiti sempre diversi.
- Scarsellini GREEN MOVE. La documentazione video della sperimentazione Green Move in corso. Spiegazione del processo dalla prenotazione al rilascio del veicolo nei box.

In occasione dell'evento di chiusura della sperimentazione, ai condomini è stato chiesto di rispondere ad un questionario che consentisse di valutare l'esperienza di Scarsellini TV. 19 condomini hanno risposto al questionario⁴⁸ dei quali tutti tranne uno hanno visto i video prodotti nonostante soltanto 4 di loro seguano abitualmente altre WebTV o canali YouTube. In generale, valutano positivamente il contributo della TV come strumento per raccontare la vita di condominio e vorrebbero che l'esperienza continuasse, diventando un progetto collettivo (7 intervistati su 18) oppure affidandola a poche persone

⁴⁸ Tutti (10 donne e 7 uomini) lavoratori di età compresa fra i 26 e i 50 anni, tranne 2 (1 uomo e 1 donna) pensionati sopra i 50 anni.

competenti (11 su 18), come nella modalità attuale legata alla sperimentazione Green Move. Solo un condomino ha risposto di non essere interessato e non ha guardato nessun video prodotto, nonostante ne fosse a conoscenza attraverso il blog del condominio.

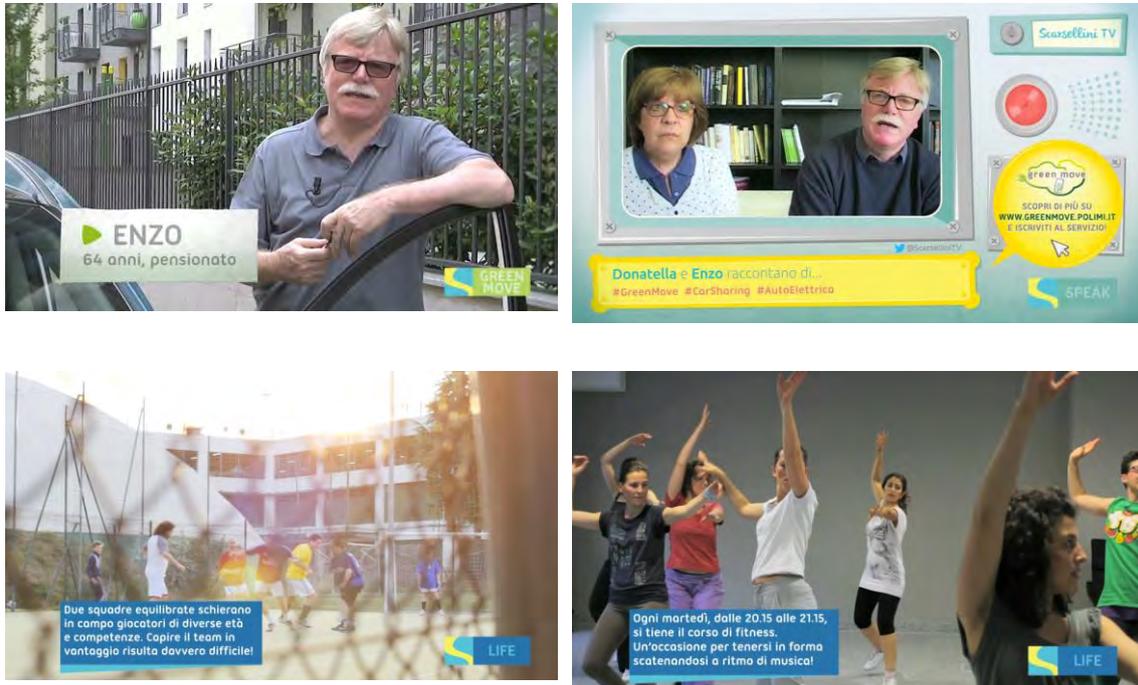


Figura 6.6 – Frame tratti dai format Scarsellini GREEN MOVE, Scarsellini SPEAK, Scarsellini LIFE.

Conclusioni

Un'ulteriore sviluppo del progetto consentirebbe di esplorare azioni di comunicazione ad hoc per le altre configurazioni di servizio, collaborando con gli stakeholder già coinvolti nella fase di definizione dei sistemi di servizio e individuando utenti, canali e output di comunicazione specifici per ciascun sistema. In particolare, la Rete di opportunità richiederebbe un sistema che sfrutti la sinergia tra il territorio di riferimento (quartieri o aree della città) e interessi di mercato che prescindano dalla dimensione locale.

In relazione alla sperimentazione, in particolare, la comunicazione con la TV di condominio ha contribuito al processo di innovazione sociale coinvolgendo la comunità dei condomini nel racconto di sé e nel successivo confronto con la rappresentazione stessa. Seppur mediato dal ruolo del designer/video-maker, tale processo ha rappresentato un modo innovativo di condividere valori e visioni comuni.

In ogni caso, il contributo fondamentale della comunicazione è stato e potrebbe essere quello di costruzione della comunità di riferimento (la comunità Green Move), attraverso un progetto di identità (branding) che definisce valori comuni e mette in scena un universo di senso. In questo modo, tale comunità, pur profondamente legata ad un territorio di riferimento, potrebbe sfruttare canali di comunicazione differenziati per entrare in relazione con stakeholder a livello locale, ma anche condividere buone pratiche con altri gruppi di riferimento a livello internazionale, diventando un nodo di una rete della mobilità e del quotidiano sostenibile che, a partire da e attraverso le community possa promuovere e sviluppare sistemi di servizi sostenibili e piattaforme abilitanti dal forte valore economico oltre che ecologico e sociale.

6.2 Documentazione, rendicontazione, gestione progetto (A5.1)

L'attività A5.1 di documentazione, rendicontazione, gestione progetto ha riguardato numerosi aspetti relativi principalmente a:

1. il monitoraggio e la supervisione delle attività di progetto, comprensivi, quando necessarie, di azioni di riorganizzazione delle relative attività tecnico – scientifiche (*project risk management and treatment*), che inevitabilmente si presentano nel passare dalla fase di pianificazione alla fase di realizzazione delle stesse;
2. il supporto all'elaborazione del piano operativo interno di dettaglio dello svolgimento delle sotto-fasi delle attività di progetto e alla programmazione di incontri, workshop e azioni in collaborazione e cooperazione svolte dall'ampio gruppo di progetto;
3. il *controllo di gestione* delle spese effettuate, la previsione *in itinere* del rispetto del budget coerentemente con quanto previsto dall'accordo istituzionale, la predisposizione delle soluzioni per la gestione del ritardo delle autorizzazioni e dei pagamenti da parte di Cestec/Finlombarda/Regione Lombardia, la rimodulazione della previsione delle tipologie di spesa tra le voci di costo di progetto;
4. la raccolta, la verifica e l'inoltro della documentazione amministrativa relativa alla rendicontazione dei costi di progetto;
5. la relativa redazione con l'invio della documentazione tecnica da accompagnare a quanto preparato per la rendicontazione del progetto;
6. la gestione complessiva dei rapporti con Finlombarda e con Regione Lombardia;
7. le relazioni con il tessuto imprenditoriale e degli stakeholder della mobilità elettrica e del *car sharing* (Siemens, Enel, Renault, E-vai, Comune di Milano, ATM, ecc.);
8. il coordinamento interno delle singole attività di comunicazione, diffusione e valorizzazione dei risultati della ricerca da parte dei ricercatori (articoli scientifici di settore);
9. il supporto alla condivisione di un'area di lavoro web per i partner di progetto unito al sito web di progetto;
10. il coordinamento delle attività di allestimento dell'infrastruttura di ricarica e parcheggio dei veicoli elettrici presso il Politecnico di Milano, in collaborazione con i relativi servizi interni d'ateneo.

7 Raccomandazioni

Linee guida per lo sviluppo di sistemi avanzati di vehicle sharing

In questa sezione vengono riassunte le principali “lessons learned” che l’analisi e lo studio della tematica “car sharing elettrico” e la realizzazione di una sperimentazione sul campo e del prototipo hanno fatto emergere. Queste vengono presentate sotto forma di “linee guida” che possano fare da punto di partenza per una completa ingegnerizzazione di una sistema avanzato di vehicle sharing. Nonostante la durata del progetto fosse relativamente limitata (meno di 3 anni), durante il corso del progetto le tecnologie di base e le esperienze di vehicle sharing hanno comunque fatto a tempo a subire una notevole evoluzione.

7.1 Modello di servizio

Dal punto di vista del modello di servizio è possibile riconoscere alcuni aspetti da cui sarebbe opportuno non prescindere nel momento in cui si voglia implementare un servizio di vehicle sharing efficiente e che risponda ai bisogni degli utenti. Le lesson learned del modello di servizio vengono di seguito elencate.

Le stazioni del servizio di vehicle sharing devono essere agevolmente raggiungibili dall’utente, a una distanza percorribile a piedi garantendo un livello di **capillarità** paragonabile a quello dell’auto privata. Le stazioni devono essere collocate nei pressi dei principali attrattori e generatori di mobilità e delle stazioni del trasporto pubblico, garantendo l’**intermodalità** col mezzo pubblico; ciò permette di allargare il bacino di utenza dai residenti ai pendolari della città.

L’**interoperabilità**, poi, favorisce l’adesione al servizio; idealmente essa dovrebbe riguardare anche integrazioni tariffarie con il trasporto pubblico locale e tra operatori di car sharing e dovrebbe essere incentivata e sostenuta dal decisore pubblico.

La quota di **tariffazione annuale** rappresenta uno dei maggiori ostacolo all’iscrizione: l’utente non conosce a priori il tipo di utilizzo che farà del servizio ed è restio ad aderirvi se la quota di ingresso è troppo elevata; una tariffa annuale bassa permette una permeazione rapida sull’utenza, permettendo un rapido raggiungimento di una potenziale massa critica. La **tariffazione** deve essere inoltre chiaramente definita e **personalizzabile** in funzione del profilo di utente, in modo da permettere il più ampio ventaglio di utilizzi possibile.

Fondamentale è la possibilità per l’utente di effettuare **viaggi one-way**, soprattutto se ci si orienta su cliente di tipo business o sull’utente occasionale. Questa modalità di viaggio, che prevede la possibilità di lasciare il veicolo presso una stazione diversa da quella di partenza, comporta la necessità di garantire il **bilanciamento delle stazioni** tramite meccanismi ottimizzati di riallocazione, possibili sia da parte degli utenti sia da parte degli operatori.

Modelli alternativi al car sharing generico, come l’auto di condominio o il car sharing aziendale, possono essere implementati con successo in piccole community, soprattutto se queste sono caratterizzate da tassi di motorizzazione non elevati a supporto ed integrazione di sistemi di vehicle sharing tradizionali.

I **sistemi di social networking** rappresentano uno strumento fondamentale per la diffusione di sistemi basati sul peer-to-peer, sia nelle comunità estese che in quelle ridotte. Il **peer-to-peer** incontra però ostacoli di tipo legislativo e assicurativo: è fondamentale accelerare lo sviluppo di un contesto normativo che permetta l’interazione tra privati nella condivisione dell’auto personale.

La disponibilità di una ampia **gamma di veicoli** permette di soddisfare esigenze differenti: anche in questo caso può essere favorita dall’interoperabilità tra operatori diversi e dall’introduzione di sistemi di peer-to-peer.

La grande dinamicità del mercato del car sharing, in ingresso e in uscita, sembra suggerire agli operatori di dotarsi di **standard tecnologici e di servizio** condivisi in modo da potere integrare sistemi differenti in caso di fusioni o di messa a sistema di un'offerta di vehicle sharing multi-operatore.

L'individuazione di un set ristretto di indicatori capaci di esprimere le prestazioni di un servizio dal punto di vista economico, ambientale e rispetto alla mobilità, e l'implementazione di un modello in grado di **stimare gli effetti di questi indicatori** permettono di dimensionare e valutare ex-ante un sistema di car sharing e i suoi impatti.

L'**innovazione sociale** passa attraverso l'accettazione di nuovi modelli e stili di vita e necessita sia della presa di coscienza (da parte degli utenti) degli impatti delle scelte personali sul contesto collettivo che del ruolo propulsore del soggetto pubblico nell'orientare queste scelte.

7.2 Tecnologia

La tecnologia riveste un ruolo fondamentale per permettere perché le indicazioni sul modello di servizio possano trovare una reale applicazione. Uno dei punti cardine dell'approccio Green Move è l'ipotesi che l'utente possa accedere al sistema usando esclusivamente un device personale (smartphone) e applicazioni software installate su di esso, senza bisogno di ulteriori intermediari. Ciò può realisticamente avvenire nel momento in cui la diffusione di dispositivi mobili evoluti quali smartphone e tablet è tale che i potenziali utenti di un sistema come Green Move hanno già a disposizione tali dispositivi nella loro vita quotidiana. Mentre un tale scenario era, all'inizio del progetto Green Move, ancora abbastanza futuribile, esso si è in poco tempo realizzato, mettendo in evidenza una forte evoluzione dell'ecosistema tecnologico in cui Green Move opera. In un simile contesto di rapida evoluzione della tecnologia, è fondamentale che un sistema innovativo quale Green Move sia progettato evitando di ancorarlo a tecnologie specifiche, e favorendo invece la possibilità di modificare e aggiornare costantemente le tecnologie alla base del sistema. Ciò può essere ottenuto in diverse maniere, che vengono elencate di seguito.

- Favorendo l'**interoperabilità** dei sistemi, cioè la possibilità di mettere i componenti su cui è costruito il sistema in comunicazione tra di loro; ciò rende più facile integrare nel sistema nuovi componenti e nuove tecnologie nel momento in cui queste diventano disponibili, ed arricchire il sistema di nuove funzionalità acquisendole da terze parti.
- Costruendo il sistema su piattaforme e tecnologie il più possibile **aperte e standard**; ciò consente di avere indipendenza da specifici fornitori di tecnologia, in modo da poter mantenere il sistema all'avanguardia e di poter sfruttare le innovazioni, indipendentemente da chi le produce.
- L'uso, laddove possibile, di tecnologie standard ed aperte è di particolare importanza nell'interazione del sistema con i veicoli gestiti, nell'acquisizione dei dati e nell'invio dei comandi (apertura porte, abilitazione alla marcia, ecc.); questa esigenza di **uso di standard nell'interazione con i veicoli** è fondamentale data la grande varietà ed eterogeneità dei veicoli che sono potenzialmente gestibili da un sistema quale Green Move.
- Nel mercato degli auto/motoveicoli, tuttavia, non sempre si hanno a disposizione meccanismi standard che permettano di interagire con il veicolo con un livello di astrazione soddisfacente ed in modo sufficientemente indipendente dal produttore del veicolo. Standard come On Board Diagnostics (OBD) sono un primo passo in questa direzione, ma non ancora sufficiente per poter essere la base per un sistema di vehicle sharing quale Green Move. In mancanza di tali standard, diventa fondamentale la possibilità di **coinvolgere nello sviluppo i produttori di veicoli**, al fine di poter costruire opportuni meccanismi di interfacciamento verso i veicoli.
- In maniera simile a quanto descritto per quel che riguarda l'interazione tra sistema e veicoli, anche **l'interazione con le colonnine di ricarica** dovrebbe essere **fatta** quanto più possibile **tramite meccanismi standard e aperti**, cosa al momento purtroppo non possibile. Nel prossimo futuro è prevedibile un veloce incremento della diffusione delle colonnine di ricarica, che dovrebbe fornire una forte spinta verso la loro standardizzazione, nell'interesse stesso dei costruttori di veicoli e dei fornitori di energia elettrica.

Un sistema quale Green Move, però, è in continua, necessaria evoluzione non solo per ragioni di natura tecnologica, ma anche perché possono cambiare le necessità e le preferenze dei partecipanti al sistema (sia gli utenti che prendono i veicoli, che le istituzioni e le persone che forniscono i veicoli al sistema), oppure anche le normative di riferimento. Per questo motivo, la **facilità di (ri)configurazione** (dei vincoli sull'utilizzo dei veicoli, dei meccanismi di monitoraggio e gestione della flotta, dei servizi offerti agli utenti, ecc.) deve essere uno degli obiettivi principali nello sviluppo di un sistema come Green Move.

Uno dei meccanismi principali di un sistema avanzato di vehicle sharing è senz'altro quello della prenotazione dei veicoli da parte degli utenti. In questo ambito, il ventaglio di opzioni immaginabili è vastissimo (one-way, 2-way, prenotazione immediata, prenotazione a breve/medio/lungo termine, senza/con limite di utilizzo, ecc.); inoltre, quante più possibilità offre il sistema all'utente per quel che riguarda le caratteristiche della prenotazione, più flessibile è il processo di prenotazione per venire incontro alle esigenze degli utenti, e maggiore è la probabilità che il servizio di vehicle sharing incontri il favore degli utenti. Per questo motivo, **rendere disponibile agli utenti un meccanismo di prenotazione ricco di opzioni** dovrebbe essere uno degli obiettivi primari di un qualunque sistema della categoria di Green Move.

In aggiunta a quanto descritto sopra, è naturalmente importante, per la buona riuscita dello sviluppo di un sistema complesso quale è Green Move, **adottare pratiche di sviluppo del software solide e rigorose**, avendo cura di documentare opportunamente le scelte di progetto fatte. In particolar modo, un sistema eterogeneo quale è Green Move deve essere sviluppato da un team con competenze molto ampie, dalla programmazione di server, allo sviluppo di codice per dispositivi mobili, alla programmazione di centraline embedded, fino a competenze di natura elettronica per gestire l'interfacciamento con i componenti più di basso livello dei veicoli. Tipicamente queste competenze sono distribuite tra diverse persone del team di sviluppo o, potenzialmente, tra team di sviluppo separati; diventa quindi di grande importanza **mantenere una comunicazione costante ed assidua tra le diverse persone/team, e favorire lo scambio e la condivisione di idee**.

Analogamente, un sistema come Green Move, che è fortemente distribuito e prevede continue e importanti interazioni tra componenti connessi tramite reti telematiche, deve essere progettato tenendo sempre ben presenti questioni quali la **sicurezza dei dati e delle reti**; a questo proposito, è opportuno minimizzare le opportunità di esposizione del sistema ad attacchi informatici, evitando di mantenere attivi funzionalità e servizi che non siano di utilità né per il sistema né per gli utenti.

Infine, la solidità di progettazione/realizzazione non è naturalmente confinata alle sole componenti software del sistema. Nel momento in cui al cuore del sistema si trovano dispositivi, quali per esempio il Green e-Box, che vengono prodotti per permettere di interfacciare il sistema con i veicoli gestiti, è importante che tali **dispositivi siano robusti** anche dal punto di vista fisico, in considerazione anche del fatto che questi possono trovarsi ad operare in condizioni ambientali non ottimali (temperature molto alte o molto basse, avverse condizioni atmosferiche, umidità, ecc.).



8 Allegati

Allegato 1: Indagini di domanda

Allegato 2: Analisi degli stakeholder

Allegato 3: Tariffe e analisi di sostenibilità economico-finanziaria

Allegato 4: Sperimentazione: tariffazione e modalità di utilizzo

Allegato 5: Regole per la sperimentazione