

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

SCUOLA DI SCIENZE  
Corso di Laurea in Informatica per il Management

**Progettazione e sviluppo di una  
applicazione mobile per il route planning  
con veicoli elettrici**

**Relatore:**  
**Chiar.mo Prof.**  
**Marco Di Felice**

**Presentata da:**  
**Adriano Marrale**

**II Sessione**  
**Anno Accademico 2014/2015**



## **Abstract**

L'indipendenza dai combustibili fossili è uno degli argomenti maggiormente trattati negli ultimi anni e lo sviluppo di tecnologie atte a produrre energia attraverso fonti rinnovabili è uno dei punti cruciali della ricerca moderna. L'utilizzo dei veicoli elettrici nel quotidiano rappresenta una delle vie principali per l'abbandono delle fonti non rinnovabili, tuttavia siamo ancora in presenza di qualche limite. Una delle principali ragioni per cui gli automobilisti sono restii ad utilizzare le auto elettriche è quella che in inglese viene definita *Range Anxiety*, ossia la preoccupazione di non riuscire a raggiungere la propria meta con l'autonomia residua del veicolo. Altri fattori che contribuiscono a scoraggiare gli automobilisti sono i lunghi tempi di ricarica e dove effettuare queste ultime.

Per cercare di ridurre queste problematiche nel seguente elaborato viene descritto lo sviluppo di un applicazione per sistema Android, con lo scopo di simulare dei percorsi inseriti dall'utente come se venissero effettuati utilizzando un veicolo elettrico: l'applicativo, sfruttando un servizio esterno fornirà all'utente tutti i dati del percorso, come ad esempio dove effettuare una ricarica.

Di seguito viene illustrato l'utilizzo dell'applicativo, la sua architettura, come è stato sviluppato e le sue future estensioni.



## Indice generale

Capitolo 1.....	7
Introduzione.....	7
Capitolo 2.....	11
Stato dell'arte.....	11
2.1 Lavori simili.....	12
2.2 iEV.....	17
Capitolo 3.....	21
Architettura e funzionalità.....	21
3.1 Applicazione Mobile.....	21
3.2 Simulazione.....	25
3.3 Servizio Esterno.....	28
Capitolo 4.....	29
Implementazione.....	29
4.1 Tecnologie Utilizzate.....	29
4.2 Smart Simulation.....	31
Capitolo 5.....	33
Validazione.....	33
Capitolo 6.....	39
Conclusioni.....	39
Bibliografia.....	41



# Capitolo 1

## Introduzione

L'adozione totale di veicoli elettrici porterebbe ad una maggiore indipendenza dai combustibili fossili, nonché una riduzione considerevole delle emissioni di idrocarburi nelle aree urbane. Sono stati effettuati molti investimenti in questo campo, soprattutto dalle case automobilistiche, che hanno cercato di perfezionare la tecnologia alla base della mobilità elettrica. Cercando di offrire la stessa autonomia che hanno i normali veicoli a motore, sono state sviluppate batterie più capienti, veicoli che minimizzano i consumi di energia ed un sistema per il recupero dell'energia durante la frenata.

Il problema maggiore di questi veicoli risulta essere la loro autonomia, il quale viene accentuato anche dai lunghi cicli di carica e dalla difficoltà di trovare delle stazioni di ricarica, in particolare al di fuori delle maggiori aree urbane. Infatti, quasi tutte le stazioni di ricarica per i veicoli elettrici sono poste all'interno delle grandi città e la copertura offerta da esse non è minimamente paragonabile a quella dei distributori di carburante. Quanto detto spiega perché la percentuale di veicoli elettrici venduti risulta essere ancora molto bassa, tralasciando gli elevati costi d'acquisto.

Il recente sviluppo in ambito dei dispositivi mobili può aiutare a superare alcuni di questi ostacoli. A tal proposito sono stati realizzati applicativi che permettono di riservare le stazioni di ricarica attraverso un sistema di prenotazione, garantendo la possibilità di ricaricare il proprio veicolo una volta giunti alla colonnina ed inoltre massimizzare l'utilizzo delle stazioni, mentre altre ancora forniscono dettagli in tempo reale sullo stato del veicolo. Tutti questi, sono sistemi che cercano di assistere in tempo reale l'automobilista.

Il principale problema della mobilità elettrica è quello che viene definito *Range Anxiety*, ovvero il timore da parte del guidatore di non riuscire a raggiungere la

sua destinazione utilizzando un veicolo elettrico, questo, secondo alcuni studi, sembra essere il maggior ostacolo all'acquisto di questi veicoli perché se paragonati alle automobili a combustibile, non riescono ancora ad offrire una piena autonomia negli spostamenti quotidiani.

Basandoci su queste considerazioni, nel presente documento viene presentato l'applicativo denominato "WhatIfApp", il quale offre all'utente uno strumento semplice, immediato e sempre disponibile, in quanto esso risulta composto da una applicazione installata sullo *smartphone* ed un servizio remoto.

Esso si propone principalmente come una possibile soluzione al problema del *Range Anxiety*. Attraverso l'applicazione sul proprio *smartphone*, l'utente è in grado di registrare i suoi percorsi abituali o di inserirne manualmente di nuovi indicando anche le soste effettuate, con la possibilità di salvarli e successivamente poter simulare la tratta attraverso l'applicazione. Inoltre, prima dell'effettiva simulazione l'utente è in grado di stabilire alcuni parametri come lo stato di carica iniziale del veicolo e la percentuale di carica intermedia, ovvero il margine di carica al di sotto del quale il veicolo non deve mai scendere durante il percorso. E' anche possibile effettuare più volte la simulazione dei percorsi utilizzando la lista di veicoli già presenti nell'applicativo.

I percorsi possono anche essere salvati su un database remoto in modo tale da poter effettuare ulteriori studi su di essi.

La simulazione mostra all'utente tutti i dettagli del percorso, come la percentuale di carica utilizzata, l'orario di partenza e di arrivo e, nel caso in cui non fosse possibile effettuare la tratta con i parametri specificati, il sistema provvede facendo deviare il percorso verso una stazione di ricarica. In questo caso verrà indicata la quantità di energia necessaria utile al raggiungimento della meta. Inoltre, se il percorso presenta delle pause, l'utente può specificare un determinato tipo di simulazione che cercherà di far ricaricare il veicolo durante una delle pause.

Per quanto riguarda la registrazione dei percorsi, la visualizzazione delle mappe e l'indicazione dei punti su queste ultime sono state utilizzate le varie *API* fornite



da Google.

Il servizio remoto invece, riceve i dati sul percorso e le limitazioni imposte dall'utente, elabora i dati e restituisce i risultati all'applicazione, la quale poi li mostra utilizzando un'interfaccia semplice ed esaustiva. Comparando i dati del percorso inserito con quelli del percorso simulato dal sistema, vengono messe in risalto le differenze che un veicolo elettrico apporterebbe alla mobilità quotidiana del guidatore.

Questo sistema punta quindi a ridurre il *Range Anxiety* nel potenziale acquirente di un veicolo elettrico, cercando non solo di incentivarne l'acquisto, ma anche di risolvere in parte le problematiche relative alla ricarica durante le attività quotidiane.

Analizzando successivamente lo stato dell'arte vedremo come sono già presenti sistemi molto simili e con gli stessi obiettivi di questo applicativo. Tuttavia essi sono stati sviluppati per lo più come applicativi web, e quindi non sempre alla portata dell'utente durante un viaggio o lungo i propri spostamenti quotidiani. Inoltre in molti di essi non si parla di simulazione di percorsi, riducendo il tutto a semplici tratte nelle quali le soste vengono tralasciate.

Lo scopo di questo documento è quello di illustrare come è stato sviluppato l'applicativo WhatIfApp, che comprende la realizzazione di algoritmi tali da elaborare le risposte fornite dal servizio esterno in modo da considerare nella simulazione dei percorsi anche le pause effettuate dall'utente. Insieme a questo è stato anche realizzato un database per la raccolta dei percorsi su un server remoto, permettendo così di effettuare ulteriori studi su di essi.

Nel secondo capitolo verrà esposto lo stato dell'arte attuale con particolare attenzione ai lavori simili già prodotti e che hanno ispirato questo applicativo. Nel terzo è descritta l'architettura complessiva del sistema che comprende la descrizione approfondita dell'applicativo mobile e il suo funzionamento, la descrizione dettagliata della simulazione delle tratte effettuate da quest'ultimo e la struttura del servizio esterno. Il quarto capitolo illustra l'implementazione dell'applicativo, la tecnologia utilizzata e l'illustrazione del funzionamento

dettagliato relativo alla cosiddetta *Smart Simulation*. Nel quinto sarà presente la validazione della tesi comprensiva di grafici che indicano le performance registrate, mentre nel sesto ed ultimo capitolo saranno presenti le conclusioni e gli sviluppi futuri dell'applicativo.

## Capitolo 2

### Stato dell'arte

Il progetto che ha maggior rilevanza nell'ambito europeo della mobilità veicolare elettrica è "Internet of Energy for Electric Mobility", che ha come scopo quello di interconnettere la rete energetica attraverso Internet in modo tale da poter distribuire l'energia dove e quando serve, creando quella che viene denominata "Smart Grid". Quest'ultima non è altro che la definizione di una moderna rete elettrica che, utilizzando le nuove tecnologie di comunicazione (Ad esempio Internet), permette una distribuzione efficiente dell'energia.

Il progetto è da sempre impegnato nello sviluppo e nella progettazione di nuovi software, middleware e hardware, sviluppati in modo da garantire la loro piena interoperabilità così da poter dare vita ad una moderna infrastruttura di mobilità elettrica.

In questo modo, interfacciando la rete elettrica con internet e utilizzando gli applicativi mobili, si cerca di rendere la mobilità degli individui sostenibile, efficiente, sicura e soprattutto pulita.

L'università di Bologna è uno dei partner attivi del progetto e ha contribuito sviluppando i seguenti sistemi:

- **City Service:** Esso rappresenta la massima espressione del progetto, in quanto permette di connettere i veicoli elettrici alla *Smart Grid*. Il sistema permette di ricevere prenotazioni riguardanti le stazioni di ricarica per veicoli elettrici e di fornire una lista dettagliata delle stazioni disponibili ordinata secondo le preferenze dell'utente. L'utente interagisce con il sistema attraverso un applicazione per smartphone[1], sul quale registra il proprio profilo indicando anche il veicolo elettrico che sta utilizzando. Così facendo l'applicativo fornisce all'utente: la panoramica in tempo reale

dei parametri relativi al veicolo; la stima dei consumi basata anche sull'altitudine del percorso; la visualizzazione delle stazioni di ricarica presenti all'interno del range entro il quale il veicolo può muoversi tenendo conto dei consumi; la possibilità di prenotare la ricarica presso una stazione ed inoltre di autenticarsi presso di essa per poter procedere alla ricarica del veicolo.

- **Simulatore:** Una piattaforma che permette la simulazione del comportamento dei veicoli elettrici inseriti all'interno di un ambiente urbano, permettendo di simulare la scarica e la ricarica di questi presso le stazioni apposite. Il simulatore è stato utilizzato per validare il precedente progetto ed inoltre fornire un possibile scenario dato dall'introduzione di questi veicoli nel contesto quotidiano delle nostre città.

Il servizio web[2] utilizzato dall'applicativo descritto in questo documento è stato realizzato dall'università di Bologna all'interno del progetto Internet of Energy. Esso permette la simulazione di viaggi percorsi con veicoli elettrici, utilizzando i parametri inseriti dall'utente e permette anche di scegliere fra due differenti ottimizzazioni per la simulazione. Una cerca di strutturare il viaggio in modo da impiegare meno tempo possibile, l'altra cerca di preservare quanta più carica possibile nel veicolo interessato.

## 2.1 Lavori simili

Con i recenti sviluppi dei veicoli a motore elettrico, si è via via sviluppata la produzione di software a supporto di essi. Di seguito verranno elencati i più importanti applicativi che si sono posti obiettivi simili a quello trattato in questo documento.

Attualmente vi sono molti altri applicativi che si propongono di ridurre il *Range*

*Anxiety* dei guidatori, ma in molti casi questi sono applicativi web che utilizzando esclusivamente il proprio PC consentono di avere informazioni sulle stazioni di ricarica indicando la loro posizione, il tipo e la loro attuale disponibilità. Al contempo sono presenti applicazioni mobile che forniscono all'utente informazioni durante il percorso, informandolo sulle possibilità di ricarica durante la guida: i sistemi proposti includono un *profiler*[3], consigli su una guida più sicura[4] e feedbacks sull'attuale efficienza di guida[5][6]. In precedenza è già stata descritta una applicazione per smartphone[1] che permette tra le altre funzionalità di prenotare la ricarica presso una stazione.

Così come la prenotazione è considerata un servizio chiave a supporto della mobilità elettrica, la pianificazione di percorsi risulta essere ugualmente importante. Innanzitutto perché il percorso più breve non sempre coincide con il più efficiente in quanto la conformazione stradale influisce sui consumi insieme al sistema di recupero dell'energia durante la frenata. Per questo motivo sono stati proposti molteplici *planners*[7][8][9][10]. Uno dei modi in cui è stato affrontato il problema è il seguente[11] dove il calcolo del percorso ottimale è stato rivisto nell'ottica di un grafo; il cui caso generale con archi negativi e delimitazioni è stato analizzato nei documenti[7][8]. Tuttavia tutti questi lavori differiscono di molto dall'applicativo qui proposto poiché molti di essi risultano essere solo teorici e considerano solamente tratte singole senza porre attenzione alle possibili soste. I lavori più simili risultano essere “iEV”[12] ed uno studio svolto nel 2012[13], il primo viene descritto in seguito in un capitolo a parte data la sua rilevanza. Nello studio sopracitato[13] viene considerato l'indice di soddisfazione relativo a un possessore di un veicolo elettrico e descrive un *framework* per l'ottimizzazione dei tempi di ricarica, dei costi e dei tempi relativi ai viaggi con veicoli elettrici.

Tuttavia esso è concentrato sullo studio relativo ad un singolo veicolo elettrico e si avvale di approfondite tecniche di ricerca che lo rendono non adatto in uno scenario su larga scala.

Di seguito vengono analizzati alcuni applicativi già presenti nello *store*.

Uno degli applicativi meglio realizzati è PlugShare[14]. All'apertura del sito internet viene chiesta all'utente la propria posizione, mostrando tutte le stazioni di ricarica presenti nei dintorni; per ogni stazione è possibile avere molte informazioni come il tipo di connettore presente, la potenza, l'indirizzo esatto e l'effettiva disponibilità della stessa.

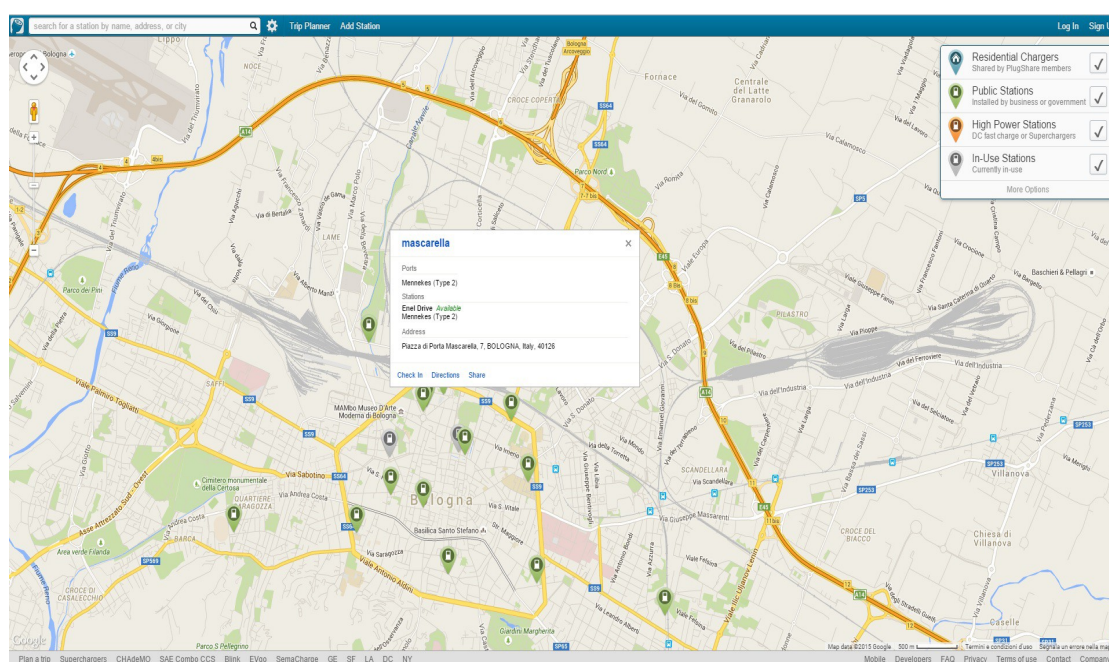


Figura 2.1 Applicativo web PlugShare

Quello che rende molto innovativo questo progetto è la possibilità di registrare un account e se lo si desidera mettere a disposizione nella propria abitazione una stazione di ricarica, con la possibilità di applicare anche dei prezzi. Tutto ciò con il fine di espandere quanto più possibile la rete per il rifornimento dei veicoli elettrici.

E' anche presente un' applicazione per smartphones che permette di trovare le stazioni nelle vicinanze, filtrare esse con quelle compatibili per il proprio veicolo e reperire le stesse informazioni presenti sull'applicativo web, interagendo con gli altri guidatori di veicoli elettrici nelle vicinanze.



Figura 2.2 App PlugShare

Sono anche presenti delle API ma che purtroppo al momento vengono rilasciate solo per il Nord America e non per il continente europeo.

Un altro progetto degno di nota è [ev-charging.com](http://ev-charging.com)[15], un sito che offre un pianificatore di percorsi. Inserendo una località di partenza e una di destinazione, viene mostrato il percorso da seguire con le relative stazioni presenti durante il tragitto.

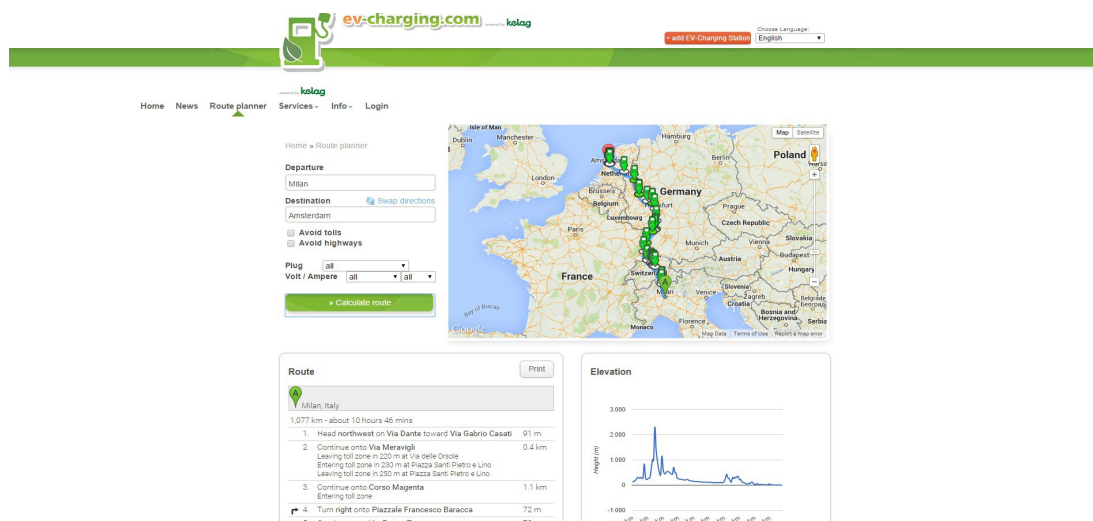


Figura 2.3 Web Planner ev-charging.com

Oltre a queste informazioni il servizio fornisce dei dettagli sul percorso, come le

indicazioni stradali e un grafico che indica la variazione delle pendenze relative alla superficie stradale.

E' presente anche in questo caso un applicativo per sistemi mobili che permette la ricerca delle stazioni di ricarica, dando la possibilità di inserirne di nuove. E' possibile inoltre inviare la foto della stazione.

Un altro pianificatore sviluppato come applicativo web è chiamato EVTripPlanner[16], un sito che permette di avere informazioni leggermente più dettagliate del precedente. Consente all'utente di selezionare un veicolo elettrico da utilizzare, fornendo così informazioni sui consumi e di poter rintracciare nella mappa le stazioni di ricarica messe a disposizione per veicoli Tesla e non. Vengono inoltre fornite informazioni sul meteo, sull'altitudine del percorso e sull'efficienza.

The screenshot displays the EVTripPlanner web application. On the left, a sidebar contains input fields for start (A) and end (B) locations, set to Berlin and Amsterdam. Below these are buttons for 'Route Direct' and 'Route Thru Superchargers'. A list of vehicle settings includes: EV Model (Tesla Model S 85 S/P (19" tires)), Speed Multiplier (1.0), Cabin Temp (72°F), Ext Temp (72°F), and Payload (200 lb). A summary box shows: Distance (407.8 miles), Driving Time (6:29), Total Energy Used (137.8 kWh, 459 RM), Average Efficiency (338 Wh/mile), and Net Elevation Change (-125 feet). A 'Download Route CSV' link is also present. The main area features a map of Central Europe with a blue route line connecting Berlin to Amsterdam. The map includes various navigation controls and a menu bar with options like 'Map', 'Steps', 'Details', 'Weather Variation', 'Settings', 'History', 'FAQ', 'Help', 'What's New', and 'Credits'. At the bottom, a welcome message for version 2.51 is displayed, along with a copyright notice for 2013-2014 and links for 'Contact Us' and 'Privacy Policy'.

Figura 2.4 EVTripPlanner



## 2.2 iEV

Esiste già una applicazione per smartphones che si propone di ridurre il *Range Anxiety* degli utilizzatori di veicoli elettrici: *iEV*[12]. L'applicativo WhatIfApp nasce proprio dall'idea di perfezionare questo sistema esistente.

Per utilizzare questo applicativo è necessario attivare la registrazione del percorso alla partenza e terminarla quando si è giunti a destinazione. Prima della registrazione, è possibile selezionare un veicolo elettrico da associare al percorso e, se il percorso risulta valido, i dati raccolti vengono salvati ed archiviati mediante server di backup. E' possibile visualizzare tutti i dati generati in automatico attraverso uno storico.



Figura 2.5 Screenshot riassuntivo di una tratta registrata con iEV

La stessa descrizione dell'applicazione tuttavia indica che bisogna registrare i propri spostamenti per almeno un periodo di quattro settimane per poter ottenere

dei risultati ottimali.

La scarsa praticità nell'utilizzo di questo applicativo risulta più che evidente, infatti è possibile elencare ed analizzare i vari limiti presenti:

- **Ingente utilizzo delle risorse:** la registrazione di percorsi mediante l'utilizzo del GPS è l'unico metodo per permettere la simulazione di una tratta effettuata dall'utente e risulta molto dispendiosa in termini di batteria per gli attuali dispositivi mobili presenti sul mercato.
- **Tempistiche:** i tempi in cui l'utente può apprezzare i risultati proposti, per quanto precisi essi possano essere, sono veramente elevati.
- **Un solo veicolo per percorso:** per ogni percorso registrato è possibile associare un solo veicolo per volta. Per cui, nel caso in cui si volesse simulare lo stesso percorso più volte, ma con veicoli differenti, bisognerebbe ripetere la registrazione.
- **Tempi di Ricarica:** l'applicativo non considera l'impatto generato dalle operazioni di ricarica del veicolo.

Dopo l'analisi dello stato dell'arte è possibile affermare il ruolo chiave degli strumenti software e di comunicazione nell'ambito della mobilità veicolare elettrica, poiché la copertura delle stazioni di ricarica attuale non eguaglia quella dei distributori di carburante. Come evidenziato sopra sono presenti molteplici validi strumenti a supporto del guidatore di un veicolo elettrico, ma sono differenti da ciò che propone l'applicativo WhatIfApp.

Il sistema qui proposto, dopo un attento studio dei già presenti software, cerca di colmare tutte le mancanze che sono state riscontrate in essi. E' evidente come non sia presente un simulatore di percorsi, ma solamente dei pianificatori sviluppati esclusivamente su piattaforme web, e che quindi risultano di difficile accesso se l'utente non ha a disposizione un PC. Il *planner* inoltre non consente di valutare i consumi e non indica all'utente dove ricaricare il proprio veicolo, ma si limita a mostrare le stazioni di ricarica presenti all'interno del percorso più breve. Inoltre in essi non vengono considerate le pause e sono pensati solamente per le singole

tratte.

Per cui, anche se gli obiettivi risultano gli stessi, l'applicativo qui proposto fornisce una risposta innovativa e completa alle problematiche inerenti i veicoli elettrici.



## Capitolo 3

### Architettura e funzionalità

L'architettura dell'applicativo WhatIfApp è composta da due componenti: un' applicazione per dispositivi mobili da un lato, un servizio esterno che risiede su un server remoto dall'altro. Entrambe verranno descritte in modo dettagliato nelle sezioni sottostanti.

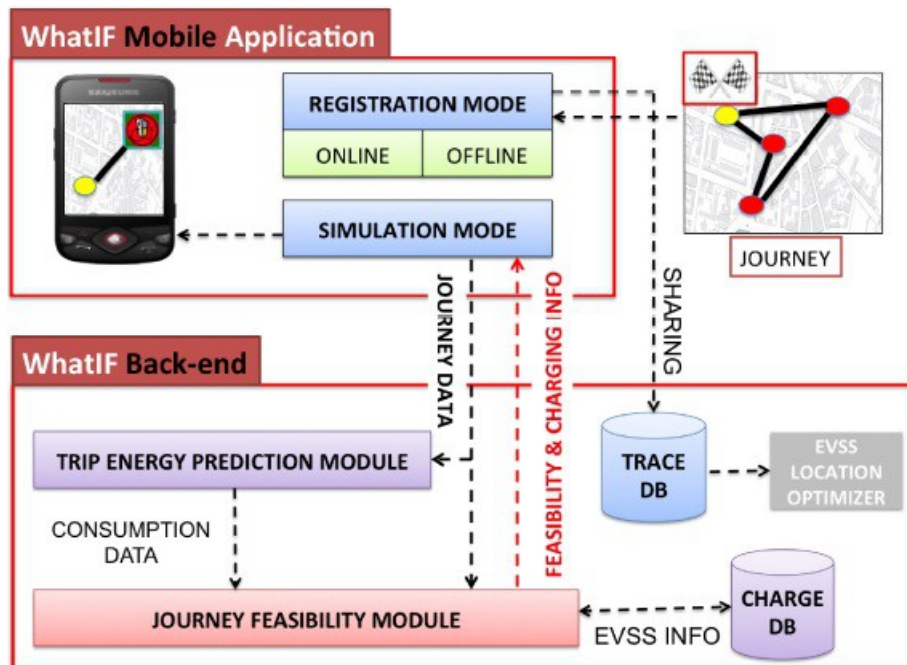


Figura 3.1 Architettura Applicativo

### 3.1 Applicazione Mobile

Le principali funzioni dell'applicativo mobile sono quelle di ricevere gli inputs dall'utente, ovvero i parametri relativi alla simulazione dei percorsi, e di mostrare successivamente gli output, ossia il risultato della simulazione richiesta.

Per quanto riguarda l'inserimento degli inputs, la prima funzionalità che viene analizzata è quella che permette all'utente di inserire i propri percorsi composti

da un' origine e da una destinazione. All'interno dell'applicativo essi vengono chiamati *route*, i quali possono essere aggiunti dall'utente in due diversi modi: inserendo manualmente l'origine e la destinazione oppure portando il proprio smartphone con sé in auto, registrando in tempo reale il tragitto percorso (On-Line Mode).

Nel caso in cui si inserisce manualmente il percorso (Off-Line Mode), esso viene calcolato utilizzando le *Google API Directions* inserendo solamente l'origine e la destinazione. Il percorso più breve verrà calcolato in modo automatico, tuttavia è presente un tasto che permette di specificare dei cosiddetti *waypoints*, in modo tale da deviare il percorso a proprio piacimento e cercare di rendere la simulazione quanto più fedele possibile. Tutti i vari punti del percorso vengono inseriti attraverso gli indirizzi che l'utente specifica. Per ogni punto comparirà un *marker* sulla mappa che l'utente sarà in grado di spostare per determinare con precisione il punto desiderato.

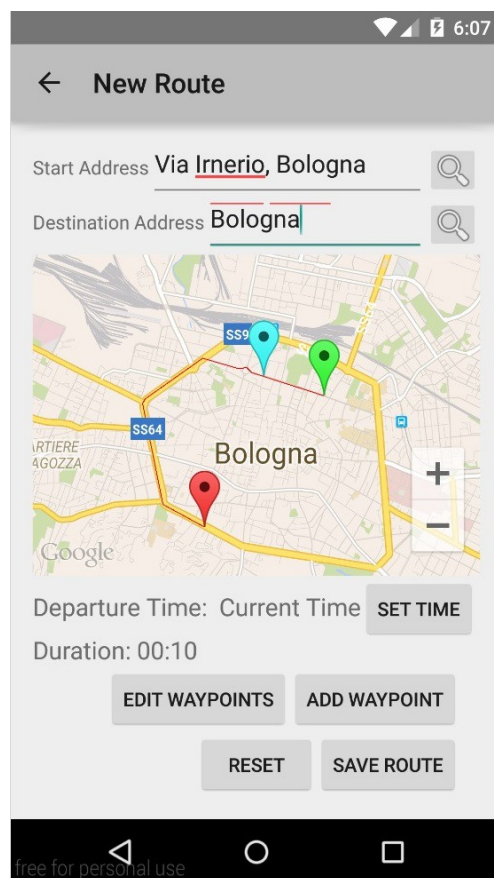


Figura 3.2 Creazione nuova Route(Off-Line Mode)

Una volta completata la compilazione della *route* sarà quindi possibile salvarla sul dispositivo.

Dopo il salvataggio, se l'utente lo desidera, sarà possibile effettuare un *upload* ad un database remoto che raccoglierà tutte le *routes* inserite dagli utenti. Lo scopo è quello di essere oggetto di futuri studi, ad esempio determinare i punti in cui installare una nuova stazione di ricarica.

L'altro possibile modo non necessita di particolari spiegazioni, sarà necessario lanciare la registrazione premendo l'apposito tasto e successivamente fermarla quando si sarà giunti a destinazione.

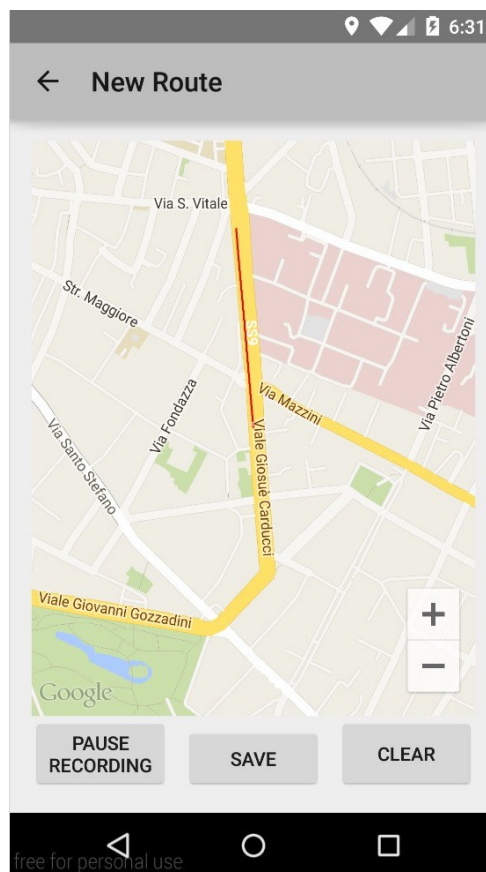


Figura 3.3 Registrazione Nuova Route(On-Line Mode)

Le *routes* rappresentano quindi delle semplici sessioni di guida continuative, ma che non tengono in considerazione le pause effettuate dall'utente. Per questo motivo vengono introdotti quelli che sono definiti *Journeys*.

Un *Journey* non è altro che una serie di *routes* in successione che a livello

macroscopico ci permettono di definire in modo più preciso gli spostamenti quotidiani e ripetuti, utilizzando anche le pause che l'utente naturalmente effettuerà durante i normali spostamenti.

I *journey* potranno essere composti selezionando delle *routes* precedentemente salvate, e per ognuna sarà possibile specificare l'orario di partenza, in modo tale da poter gestire le pause tra una *route* e l'altra.

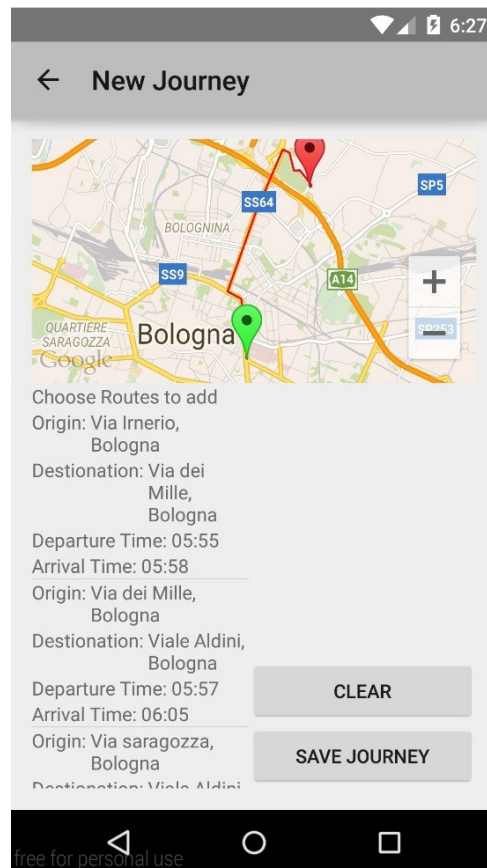


Figura 3.4 Creazione nuovo Journey

Se la partenza della seconda *route* inserita e la destinazione della prima non coincidono, il sistema provvede in automatico a collegarle entrambe creando una nuova *route*.

In seguito è possibile salvare il *journey* nel database locale dall'applicativo.

L'applicazione contiene anche la lista dei veicoli elettrici con cui è possibile effettuare le simulazioni e alcune informazioni relative ad essi.



### 3.2 Simulazione

Attraverso il servizio esterno è possibile effettuare le varie simulazioni. Esso viene interrogato dall'applicativo mobile attraverso una richiesta HTTP, nella quale vengono specificati:

- **Carica Iniziale:** ovvero la percentuale di carica che il veicolo deve avere alla partenza della tratta.
- **Carica Intermedia:** la soglia di carica sotto la quale il veicolo non deve mai scendere durante la tratta. Nel caso di un *journey* essa esprime invece la carica minima con la quale si vogliono raggiungere le tappe intermedie.
- **Carica Finale:** la percentuale di carica con cui si giunge a destinazione. Se specificata più alta della carica iniziale, si può forzare una ricarica del veicolo durante il percorso.
- **Veicolo:** veicolo con il quale effettuare la simulazione, selezionato tra quelli presenti.

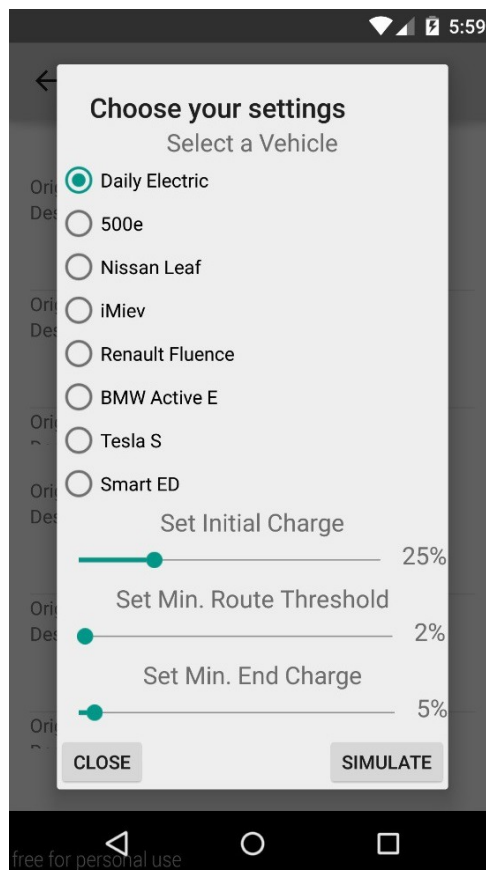


Figura 3.5 Inserimento parametri per la simulazione

Una volta che la simulazione è stata ultimata, il servizio esterno restituisce l'output in formato JSON, il quale viene poi elaborato dal sistema in modo differente a seconda se si è simulata una *route* oppure un *journey*.

Nel caso di una *route* l'output sarà visualizzato nella seguente schermata.

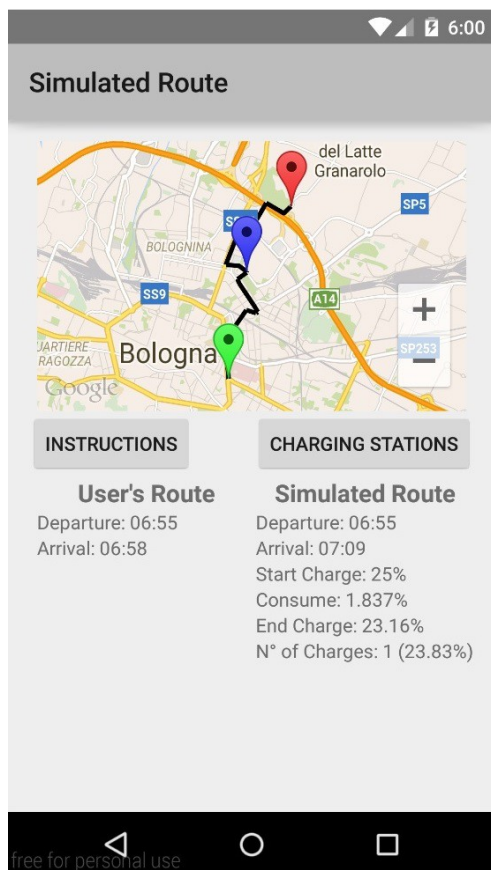


Figura 3.6 Output simulazione Route

Come mostra la figura 3.6 è possibile osservare il percorso sulla mappa nella quale vengono visualizzate le stazioni di ricarica, segnalate da *markers*, presso le quali sono state effettuate eventuali ricariche. E' inoltre possibile, premendo l'apposito tasto, visualizzare le indicazioni stradali relative al percorso e, attraverso il pulsante "Charging Stations" le stazioni di ricarica con l'indirizzo di ognuna di esse.

Nella sezione sottostante la mappa viene mostrato l'orario di partenza e di arrivo

della *route* inserita dall'utente e a fianco quello relativo alla simulazione. Viene inoltre visualizzato il consumo e la percentuale di ricarica se vi sono state delle ricariche.

Nel caso in cui la simulazione riguarda un *journey*, l'output visualizzato è leggermente diverso. E' possibile vederlo nella figura seguente.

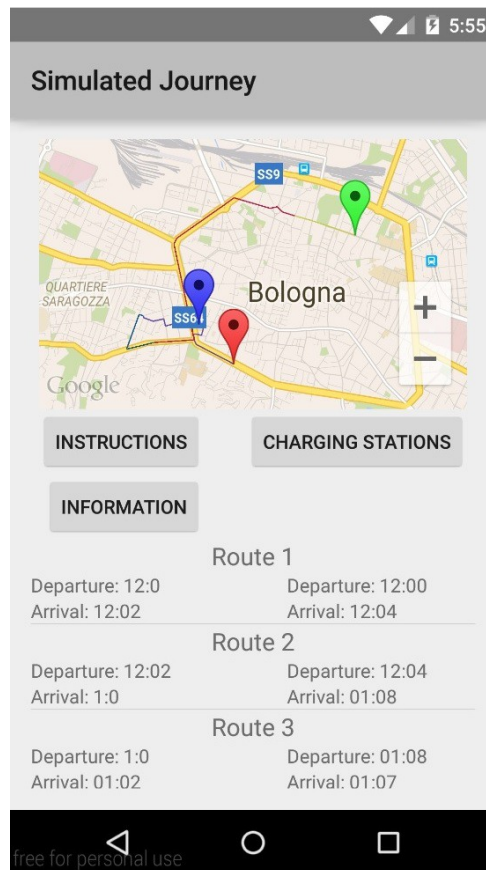


Figura 3.7 Output simulazione Journey

Per quanto riguarda la simulazione di un *journey* è possibile indicare quella che viene definita "*Smart Simulation*". In questo modo, se non risulta possibile arrivare a destinazione senza effettuare delle ricariche, il sistema provvede a simulare la ricarica del veicolo all'interno delle pause effettuate dall'utente, tenendo conto se nelle vicinanze del punto di sosta, siano presenti o meno delle stazioni di ricarica.

Nella mappa vengono sempre visualizzate la partenza, la destinazione finale e le eventuali ricariche presso le stazioni. Per ogni *route* che compone il *journey*

viene mostrata sulla mappa una linea di colore differente, in modo da distinguere le *route* e le relative pause.

I pulsanti svolgono le funzioni elencate precedentemente. Il pulsante “Informations” visualizza le informazioni relative alle percentuali di carica e i consumi.

Nella sezione sottostante vengono poi elencate le varie *routes* e per ognuna di esse sono visualizzati gli orari di partenza e di arrivo, affiancati da quelli relativi alle *routes* simulate. In questo modo è possibile avere un confronto immediato sulle tempistiche differenti.

### 3.3 Servizio Esterno

Il servizio esterno, tralasciando il database in cui vengono raccolte le routes, è principalmente composto da 3 elementi:

- **Charging Point Database:** un database che contiene tutte le stazioni di ricarica presenti nella regione Emilia Romagna.
- **Consumption Model:** permette la simulazione dei consumi tenendo conto di tutti i dati relativi ai veicoli utilizzati e alla conformazione della strada, come ad esempio l'altitudine.
- **Path Finder:** modulo che si occupa di recuperare tutti i dati relativi al percorso stradale in questione.

Il servizio esterno riceve così una richiesta HTTP contenente tutti i parametri inseriti dall'utente e fornisce una risposta in formato JSON, la quale viene poi elaborata dall'applicativo mobile per mostrare i risultati.

## Capitolo 4

### Implementazione

#### 4.1 Tecnologie Utilizzate

L'applicativo mobile è stato progettato per il sistema operativo Android, il motivo di questa scelta è dato principalmente dalla sua maggiore diffusione rispetto agli altri presenti sul mercato. Secondo quanto riportato sul sito della “International Data Corporation”[17], i dispositivi con sistema Android occupano attualmente circa l'80% del mercato, così come è possibile osservare nella figura sottostante.

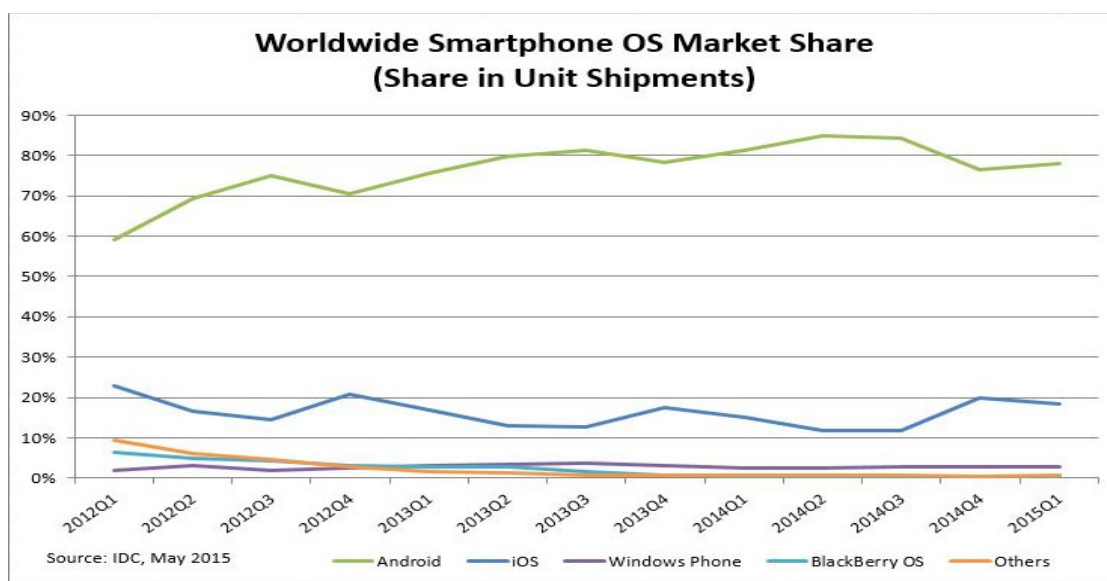


Figura 4.1 Market Share dei sistemi operativi per smartphones

E' evidente che lo sviluppo di applicazioni per questo sistema operativo permette di raggiungere un pubblico veramente ampio. In questo contesto è possibile sviluppare applicazioni con più libertà a differenza dei sistemi iOS, infatti si possono pubblicare i propri lavori senza dover ricorrere a sottoscrizioni annuali, tranne nel caso in cui si voglia pubblicare l'applicativo sul market ufficiale.

Per sviluppare un applicativo Android, Google stessa fornisce un proprio IDE chiamato Android Studio, e una guida on line[18]. Android Studio è stato utilizzato per sviluppare WhatIfApp. E' un ambiente che fornisce tutti gli strumenti necessari per lo sviluppo, come ad esempio un emulatore di dispositivi mobili per effettuare i test necessari direttamente sul proprio PC.

Gli applicativi per sistemi Android vengono realizzati utilizzando il linguaggio Java per quanto riguarda la parte logica, mentre per la realizzazione delle interfacce viene utilizzato XML. Le due tecnologie lavorano in simultanea per far sì che l'applicativo funzioni e che la parte logica sia separata da quella grafica, in pieno rispetto dei dettami che definiscono un sistema software ben strutturato.

Un altro aspetto fondamentale della tecnologia Android sono le API, le quali consentono di espandere le funzionalità di un determinato software permettendo a terzi di utilizzare le funzioni del proprio sistema senza interagire direttamente con esso. Google permette l'utilizzo di alcuni dei propri servizi mediante esse. Per la realizzazione di WhatIfApp sono state utilizzate le seguenti API:

- **Google Directions API**[19]: consentono, attraverso una richiesta HTTP, di ottenere un percorso stradale tra due diversi punti.
- **Google Geocoding API**[20]: effettuando una richiesta HTTP, restituiscono le coordinate GPS di un determinato indirizzo consentendo anche l'operazione inversa.

Il sistema è stato compilato in modo da supportare versioni di Android uguali o superiori alla release 5.0.1. Questo restringe il range dei dispositivi supportati, ma consente al contempo di utilizzare tecnologie avanzate, una scelta dovuta al fatto che alcune delle funzionalità presenti nell'applicazione non sono disponibili nelle versioni precedenti del sistema.

La realizzazione della *GUI* (Graphic User Interface) è stata realizzata seguendo il pattern indicato da Google, che prende il nome di “*Material Design*”[21]. In esso sono contenute delle indicazioni per gli sviluppatori in modo tale da cercare di

regolamentare, e di conseguenza ottimizzare, le interfacce realizzate. Indicazioni, queste ultime, che delineano uno standard visivo in modo da non confondere l'utente nell'utilizzo di diversi applicativi.

Per l'implementazione del database locale dell'applicativo è stato utilizzato SQLite, mentre per la realizzazione del database remoto è stato necessario l'utilizzo del linguaggio server-side PHP per la gestione dell'upload ed un database MySQL per lo storage dei dati.

## 4.2 Smart Simulation

Uno degli aspetti su cui è necessario soffermarsi è l'implementazione della cosiddetta “*Smart Simulation*”. Essa è una delle simulazioni possibili selezionabili dall'utente e di seguito viene spiegato il suo funzionamento.

Come spiegato in precedenza un *journey* è composto da una serie di *routes* e per avviare questa simulazione gli stessi parametri vengono inseriti dall'utente, ma la carica intermedia viene interpretata in un modo differente. In questo caso essa rappresenta la carica con la quale si vuole giungere ad ognuna delle fermate pianificate nel *journey*. La carica finale invece rappresenta la percentuale di carica che si vuole avere giunti alla destinazione del viaggio.

Come primo passo della simulazione vengono individuate tutte le fermate pianificate. In seguito viene richiesta la simulazione della prima tratta al servizio esterno e, nel caso in cui è possibile giungere alla prima fermata, vengono aggiornati i parametri relativi alle percentuali di carica del veicolo.

Successivamente viene simulata la seconda tratta con i nuovi parametri. Nel caso in cui essa non risulta fattibile con i parametri assegnati, allora deve essere effettuata una ricarica nella sosta precedente. Per poterla effettuare devono essere soddisfatte due condizioni: che il tempo della sosta precedente è stato superiore a 30 minuti; che è presente una stazione di ricarica nel raggio di 500 metri. Se queste due condizioni risultano soddisfatte allora la ricarica può essere effettuata

durante la sosta corrente.

La percentuale di ricarica viene quindi calcolata dividendo la durata della sosta per la potenza della stazione di ricarica. In questo modo si tiene conto di quanto sia possibile ricaricare il veicolo in base alla durata della sosta.

Effettuata la ricarica, il valore di carica iniziale viene aggiornato per la prossima tratta. Questo procedimento viene ripetuto per tutte le tratte presenti nel *journey* e nel caso in cui una delle tratte non risulta attuabile, l'utente viene avvisato che non è possibile portare a termine il viaggio.

Con questo tipo di simulazione si cerca di sfruttare al meglio ogni sosta utile durante la giornata dell'utente. Primario è l'obiettivo di ridurre quanto più possibile il *Range Anxiety* ed evitare le ricariche durante il percorso, così da ottimizzare le soste e far sì che i lunghi tempi di ricarica non influiscano più sulla quotidianità dell'utente.



## Capitolo 5

### Validazione

In questo capitolo vengono analizzate le performance dell'applicativo WhatIfApp, esse sono state valutate utilizzando il simulatore sviluppato precedentemente dall'università di Bologna.

Viene considerato un grande ambiente per il test delle performance costituito dalla regione Emilia-Romagna includendo la sua topologia del territorio invece per la posizione delle stazioni di ricarica sono stati utilizzati i dati forniti da PlugShare[14].

Non viene considerata la disponibilità delle singole stazioni di ricarica, viene quindi assunto che esse siano dotate di infiniti connettori per la ricarica e che quindi siano sempre disponibili.

Sono poi state costituite tre diverse categorie di veicoli elettrici: *Small EV(S-EV)*, *Medium EV(M-EV)* e *Large EV(L-EV)*. Ognuna di esse presenta parametri di consumo dell'energia differenti.

I risultati sono stati ottenuti generando un centinaio di Journeys per tutto il territorio dell'Emilia-Romagna i quali sono stati generati secondo i dati forniti dal progetto FIATeco:Drive[22] che si basano su delle statistiche calcolate su circa 30.000 viaggi da più di 3.000 guidatori in 14 paesi dell'unione europea. Nei grafici seguenti, possiamo avere una visione più dettagliata sullo scenario della mobilità elettrica e su come sia necessaria un applicativo come quello proposto in questo documento.

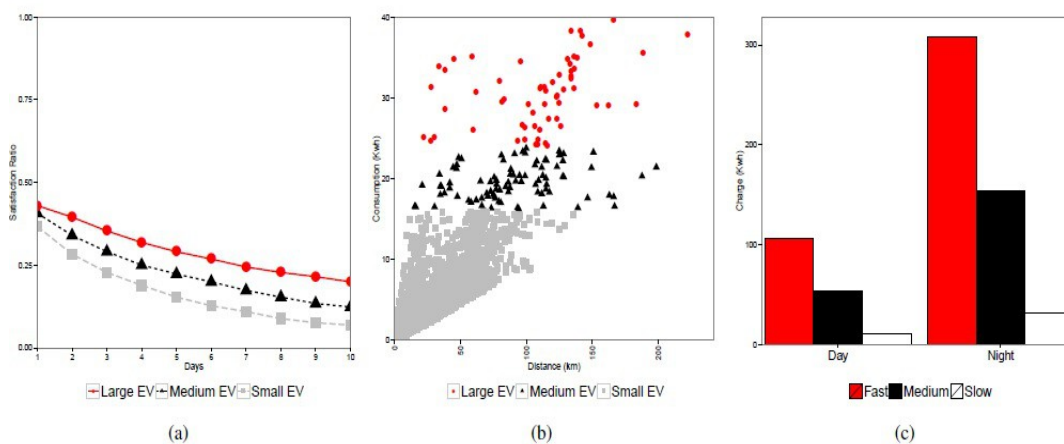


Figura 5.1 Grafici relativi a Satisfaction Ratio, Consumi/Distanza, Diversi tipi di ricarica

In particolare nella figura (5.1.a) è mostrato il *Satisfaction Ratio* ovvero la probabilità di completare un journey in funzione dei giorni trascorsi e delle diverse categorie di veicoli elettrici senza effettuare ricarica, naturalmente esso diminuisce con il trascorrere del tempo e rimane più elevato nei veicoli che hanno una batteria con maggiore capacità. Nella figura (5.1.b) invece viene mostrata la relazione tra il consumo e la distanza percorsa per ogni categoria di veicolo mentre l'ultima figura (5.1.c) mostra la quantità di energia ricaricata durante una sosta secondo diversi profili di ricarica, le prime barre denotano la ricarica effettuata durante una sosta giornaliera, mentre quelle sulla destra mostrano la ricarica del veicolo durante la sosta notturna ad esempio la ricarica casalinga.

Possiamo quindi concludere che anche se la maggior parte dei Journeys ha una lunghezza limitata sono necessarie le operazioni di ricarica in quanto il satisfaction ratio è più basso del 50% come visto nel primo grafico, i consumi di un Journey dipendono dall'inclinazione del percorso per cui un route planner deve necessariamente calcolare il percorso tenendo conto di essa come è stato fatto in questo applicativo infine possiamo vedere come una ricarica notturna può ricaricare completamente approssimativamente tutti i tipi di veicoli considerati ma una ricarica effettuata durante una sosta giornaliera può ricaricare

completamente solo un veicolo di categoria *small* solo se presente una stazione che equipaggia un sistema di ricarica rapida.

Introduciamo adesso tre differenti strategie di ricarica dei veicoli le cui performance vengono mostrate nei grafici a seguire (Fig. 5.2) e che sono rispettivamente:

- *Home Charge*: il veicolo viene ricaricato completamente durante la notte e non viene effettuata nessun'altra ricarica durante le soste.
- *Service Charge*: il veicolo inizia il Journey con una carica pari al valore sull'asse delle ascisse e pianifica le proprie ricariche utilizzando WhatIfApp e indichiamo con  $\delta$  la massima distanza dalla stazione di ricarica quando viene effettuata una sosta.
- *Home+Service Charge*: in questo caso il veicolo combina entrambe le strategie sopra descritte.

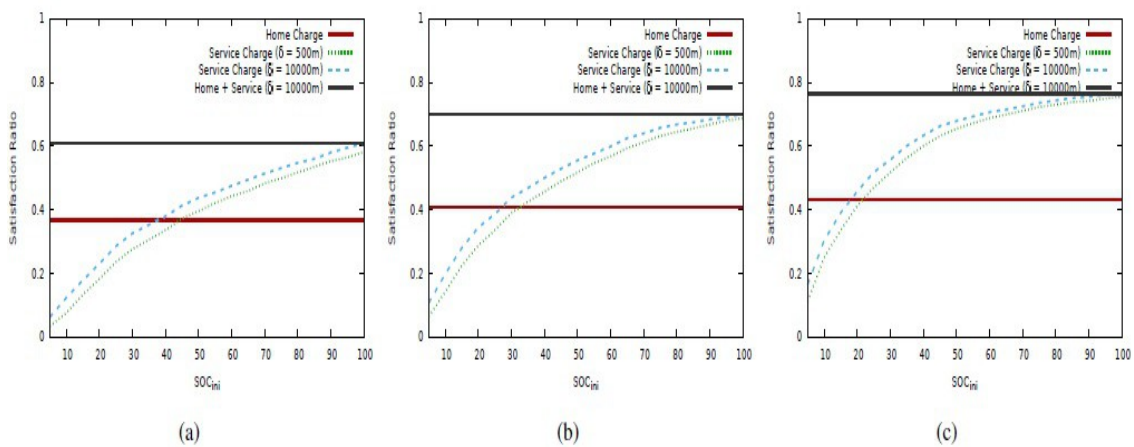


Figura 5.2 Grafici delle performance per ogni categoria di veicolo

Le tre figure mostrano rispettivamente le performance secondo ogni strategia per ogni categoria di veicoli elettrici la prima si riferisce agli S-EV, la seconda ai M-EV e la terza ai L-EV.

Comparando i risultati è facile notare che le caratteristiche di un veicolo influiscono sul *Satisfaction Ratio* e come le strategie *Home Charge* e *Home+Service Charge* non vengono influenzate dalla carica iniziale del veicolo.

La strategia *Home Charge* non causa nessun cambiamento alla mobilità del

guidatore ma mostra anche le performance più basse infatti meno della metà dei Journey può essere completata tuttavia utilizzando WhatIfApp possiamo vedere come se la carica iniziale del veicolo è inferiore del 30% per veicoli medi e piccoli e del 20% per i veicoli più grandi il *Satisfaction Ratio* è maggiore in quanto è molto probabile che il veicolo non sia in grado di completare nemmeno la prima Route del Journey.

La strategia migliore risulta quindi essere *Home+Service Charge* che permette di coprire il numero più alto di Journey per ogni tipologia di veicolo, il numero di Journey che non può essere portato a termine rappresenta quindi il limite imposto dall'attuale stato dei servizi di ricarica presente in Emilia-Romagna.

E' inoltre possibile notare come la variazione del parametro  $\delta$  non influenza significativamente le performance.

Successivamente mettiamo a confronto la quantità di energia ricaricata in relazione alla lunghezza del Journey, confrontando anche i due diversi approcci dell'applicativo in termini di ricarica dei veicoli, distinguiamo quindi l'approccio base che viene indicato nel grafico come "Optimal" e l'approccio invece definito "Greedy" che corrisponde alla smart simulation sviluppata in WhatIfApp, ovvero quella che permette di ricaricare il massimo dell'energia ad ogni sosta.

Vediamo quindi le differenze nei grafici seguenti, ognuno di essi si riferisce ad una diversa categoria di veicoli come in precedenza.

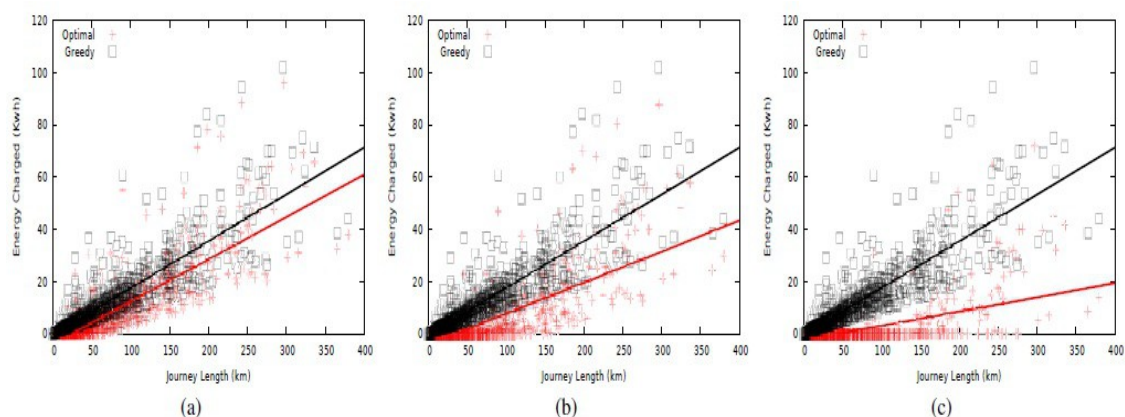


Figura 5.3 Grafici sull'energia ricaricata nei Journeys

Nelle figure ogni punto rappresenta la quantità di energia ricaricata durante un

*Journey*. E' quindi possibile dedurre dai grafici che l'approccio "Optimal" consente di ricaricare meno il veicolo e comunque riuscire a portare a termine il viaggio, questo si traduce in costi sostanzialmente minori per il guidatore rapportato naturalmente alla categoria di veicolo elettrico utilizzato. Per finire con il grafico sottostante mostriamo l'influenza del parametro  $\delta$  sul *Satisfaction Ratio*.

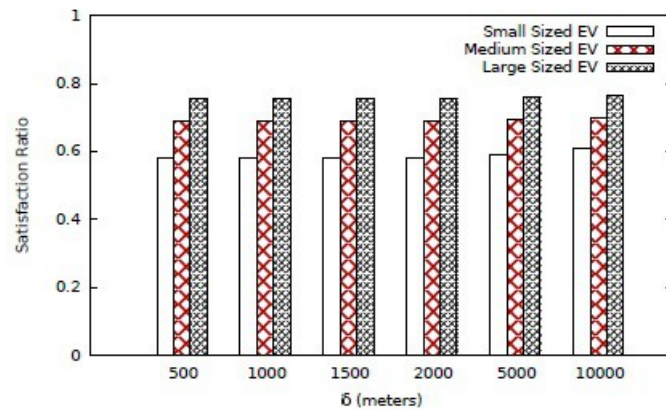


Figura 5.4 Influenza parametro  $\delta$

In teoria si potrebbe pensare che una maggiorazione del valore di  $\delta$  debba tradursi in opportunità maggiori di ricarica e quindi di completamento del percorso, tuttavia l'incremento del parametro non ha effetto sul *Satisfaction Ratio* e questa tendenza si deve al fatto che nel territorio in questione le stazioni di ricarica non sono uniformemente distribuite infatti esse sono presenti in maggior numero nelle aree urbane mentre risultano quasi del tutto assenti fuori dai centri urbani.

Tutte queste considerazioni aiutano a rafforzare quindi ciò che è stato già affermato nell'introduzione ovvero il ruolo chiave dei moderni sistemi software e di comunicazione nel superare gli attuali limiti delle infrastrutture a supporto della mobilità elettrica, in modo da favorire la transizione dai veicoli a combustibili fossili a quelli alimentati da energia elettrica.



## Capitolo 6

### Conclusioni

In questo documento è stato quindi presentato l'applicativo denominato WhatIfApp che si propone come un valido strumento per il superamento degli attuali limiti imposti dalle scarse infrastrutture alla mobilità dei veicoli elettrici con la conseguente mitigazione del *Range Anxiety* dei guidatori e l'incentivazione della mobilità veicolare elettrica.

Attraverso quindi l'implementazione di un simulatore di percorsi su un dispositivo mobile in concomitanza di altre tecnologie già presenti è possibile dotare il guidatore di uno strumento sempre alla sua portata e che fornisce risultati molto più precisi rispetto ai già presenti sistemi.

Naturalmente risulta possibile estendere questo servizio e renderlo ancora più efficace aggiungendo una serie di funzionalità e ottimizzazioni come:

- Ottimizzazione della simulazione considerando anche la disponibilità temporale delle stazioni di ricarica.
- Implementazione di un algoritmo che permetta di minimizzare il numero di ricariche effettuate durante un Journey.
- Inserimento di un catalogo contenente più veicoli disponibili per la simulazione dei percorsi.
- Comparazione dei costi di un veicolo elettrico con il veicolo a combustibile posseduto dall'utente in modo da incentivare la transizione verso la mobilità elettrica.
- Realizzazione dell'applicativo anche su altri sistemi operativi per dispositivi mobili.





## Bibliografia

- [1] *L. Bedogni, L. Bononi, A. D'Elia, M. Di Felice, S. Rondelli, T. Salmon Cinotti. A Mobile Application to Assist Electric Vehicles' Drivers with Charging Services. In Proc. Of IEEE NGMAST, Oxford, UK, 2014.*
- [2] <http://amslaurea.unibo.it/7209/>
- [3] *R. Frank, G. Castignani, R. Schmitz and T. Engel. A Novel eco-driving application to reduce energy consumption of electric vehicles. In Proc. of IEEE ICCIVE, Las Vegas USA, 2013*
- [4] *J. Whipple, W. Arensman, and M. S. Boler. A public safety application of GPS-enabled smartphones and the android operating system. In Proc. of IEEE SMC, Anchorage, USA, 2009.*
- [5] *R. Araujo, A. Igreja, R. de Castro, and R. E. Araujo. Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns. In Proc. of IEEE IVS, Madrid, Spain, 2012.*
- [6] *J. Ferreira, V. Monteiro, and J. Alfonso. Vehicle-to-Anything Application (V2Anything App) For Electric Vehicles. Transaction on Industrial Informatics, 2013.*
- [7] *M. Sachenbacher, M. Leucker, A. Artmeier and J. Haselmayr. Efficient energy-optimal routing for electric vehicles. In Proc. of AAAI, San Francisco, USA, 2011.*
- [8] *H. G. Chale-Gongora, O. De Weck, A. Doufene, T. Ishimatsu and D. Krob. Planning an itinerary for an electric vehicle. In Proc. of IEEE ENERGYCON, Dubrovnik, Croatia, 2014.*
- [9] *S. Mehar and G. Remy. EV-Planning: electric vehicle itinerary planning. In Proc. of IEEE SACONET, Paris, France, 2013.*
- [10] *L. Bedogni, L. Bononi, M. Di Nicola, M. Di Felice, S. Rondelli, T. Salmon Cinotti. Driving Without Anxiety: a Route Planner Service with Range Prediction for the Electric Vehicles. In Proc. of IEEE ICCVE, Vienna, Austria, 2014*

- [11] *Y. Du and G. de Veciana. Mobile applications and algorithms to facilitate electric vehicle deployment. In Proc. of IEEE CCNC, Las Vegas, USA, 2013.*
- [12] *iEV. <http://www.ievapp.com/>*
- [13] *N. Hoch, K. Zemmer, B. Werther, and R. Y. Siegwart. Electric vehicle travel optimization – customer satisfaction despite resource constraints. In Proc. of IEEE IVS, Madrid, Spain, 2012.*
- [14] *<http://plugshare.com/>*
- [15] *<https://ev-charging.com/at/en>*
- [16] *<https://evtriplanner.com/>*
- [17] *<https://www.idc.com/>*
- [18] *<https://developers.google.com/>*
- [19] *<https://developers.google.com/maps/documentation/directions/intro>*
- [20] *<https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/intro>*
- [21] *<https://www.google.com/design/spec/material-design/introduction.html>*
- [22] *FIAT eco:Drive <http://www.fiat.com/ecodrive>*
- [23] *Android 4 Guida per lo sviluppatore – Massimo Carli - Apogeo*
- [24] *L. Bedogni, L. Bononi, M. Di Felice, A. D'Elia, T. Salmon Cinotti. WhatIF Application: Moving Electrically without an Electric Vehicle*

## **Ringraziamenti**

Desidero ringraziare innanzitutto la mia famiglia che supportandomi ogni giorno mi ha permesso di raggiungere un importante traguardo come questo.

Ringrazio anche il mio relatore, il professore Marco Di Felice che mi ha dato l'opportunità di lavorare ad un progetto tanto stimolante e mi ha costantemente seguito durante il percorso. I miei colleghi con cui ho condiviso gioie e dolori, tutti gli amici che mi sono stati accanto e mi hanno accompagnato durante questi anni, in particolare Alessia che ha contribuito alla parte grafica dell'applicativo. Per ultima ma non meno importante, ringrazio Jade che mi è stata molto vicino durante il mio ultimo periodo universitario, supportandomi e ascoltando i dettagli di un progetto che molto probabilmente non destava molto il suo interesse.