

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI  
BOLOGNA

---

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Triennale in Informatica

**Un Framework di analisi  
e di servizi innovativi  
per la mobilità veicolare elettrica**

Tesi di Laurea in Laboratorio di Applicazioni Mobili

Relatore:  
Chiar.mo Prof.  
Luciano Bononi

Presentata da:  
Simone Rondelli

Correlatori:  
Chiar.mo Prof. Tullio S. Cinotti  
Dott. Marco Di Felice  
Dott. Luca Bedogni

Sessione III  
Anno Accademico 2012/2013



*“Abbiamo la testa rotonda  
per pensare in tutte le direzioni.”  
Francis Picabia - (1922)*



## Sommario

Internet of Energy è un progetto di ricerca europeo nato con lo scopo di sviluppare infrastrutture hardware e software volte a introdurre la mobilità elettrica veicolare nei moderni contesti urbani.

È stato oggetto di tesi di Federico Montori il quale ha sviluppato un primo prototipo di piattaforma comprendente un servizio cittadino di gestione delle ricariche, un'applicazione mobile che vi interagiva e infine un simulatore necessario al test della piattaforma. Nel corso di oltre un anno di sviluppo ho riscritto tutte le componenti software che costituivano il progetto ampliandone notevolmente le funzionalità, rendendole modulari e ben ingegnerizzate. Del progetto originario è stata ereditata l'architettura ontology-based basata sullo scambio di informazioni tramite il Semantic Information Broker (SIB).

Il mio contributo è iniziato nel 2012 con la riscrittura dell'applicazione mobile che inizialmente funzionava solo in presenza del simulatore. Attualmente permette di interfacciarsi a un veicolo reale tramite la tecnologia *Blue&Me* di Fiat. Questo approccio è stato reso possibile grazie all'opportunità offerta dal *Centro Ricerche Fiat*, che ci ha permesso di testare presso loro sede l'applicazione mobile su un prototipo di Daily elettrico. Ho inoltre introdotto lo studio del profilo altimetrico e consumo energetico che separa il possessore dello smartphone da una determinata destinazione.

Nel 2013 ho deciso di riscrivere il Servizio Cittadino per renderlo conforme a un nuovo protocollo di prenotazione. Ho colto l'occasione per rendere il servizio altamente performante grazie a tecniche quali: pool di thread, pool di oggetti e caching.

Infine a cavallo tra il 2013 e il 2014 ho riscritto il simulatore al fine di ottimizzare il consumo di risorse, velocizzare il setup delle simulazioni e soprattutto renderlo più conforme alla realtà.

Questo lavoro ha permesso di avere una piattaforma software che permette di valutare realisticamente gli scenari di mobilità elettrica veicolare.



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
1.1	Electrical Mobility . . . . .	5
1.2	Internet of Energy . . . . .	7
1.3	Contributo al progetto IoE . . . . .	8
1.4	Un po di storia . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Architettura</b>	<b>11</b>
2.1	Smart-M3 . . . . .	11
2.1.1	Semantic Information Broker . . . . .	12
2.1.2	I Knowledge Processor . . . . .	13
2.1.3	Le triple RDF . . . . .	14
2.1.4	Ontologie . . . . .	15
2.1.5	Sottoscrizioni . . . . .	15
2.1.6	SPARQL . . . . .	15
2.1.7	Il protocollo SSAP . . . . .	16
2.2	Il Modello Ontologico . . . . .	17
2.2.1	Introduzione . . . . .	17
2.2.2	Classi di IoE . . . . .	18
2.2.3	Sottoclassi di owl:Thing . . . . .	18
2.2.4	Sottoclassi di ioe:Data . . . . .	21
2.2.5	Modifiche apportate all'ontologia . . . . .	22
2.3	I Semantic Information Broker . . . . .	28
2.3.1	City SIB . . . . .	28
2.3.2	Dash SIB . . . . .	29
2.4	La libreria IoE . . . . .	30

2.4.1	Connessione al SIB . . . . .	31
2.4.2	Entities . . . . .	32
2.4.3	Controller . . . . .	33
2.5	Servizio Cittadino . . . . .	34
2.5.1	Architettura . . . . .	34
2.5.2	La comunicazione con il City Service . . . . .	35
2.5.3	Il Protocollo di rimozione di una prenotazione . . . . .	36
2.5.4	Implementazione . . . . .	37
2.5.5	Testing . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Applicazione Mobile</b>	<b>49</b>
3.1	Architettura . . . . .	49
3.1.1	Android . . . . .	50
3.1.2	Blue&Me . . . . .	52
3.1.3	Profilo Altimetrico e Consumo Energetico . . . . .	53
3.2	Modalità di esecuzione . . . . .	53
3.2.1	Simulazione . . . . .	55
3.2.2	Con Blue&Me . . . . .	55
3.2.3	Senza Blue&Me . . . . .	55
3.3	Funzionalità . . . . .	56
3.3.1	Il menu principale . . . . .	56
3.3.2	Storia delle ricariche effettuate . . . . .	56
3.3.3	Monitoraggio Parametri Batteria . . . . .	56
3.3.4	Effettuare una richiesta di prenotazione . . . . .	58
3.3.5	Visualizzazione e Ritiro delle Prenotazioni . . . . .	60
3.3.6	Profilo Altimetrico e Consumo Energetico . . . . .	60
3.3.7	Mappa . . . . .	62
3.4	Notifica batteria Scarica . . . . .	64
3.5	Implementazione . . . . .	66
3.5.1	Implementazione . . . . .	66
3.5.2	Operazioni Asincrone . . . . .	66
3.5.3	Activities . . . . .	66
3.5.4	Servizi . . . . .	66

<b>4 Piattaforma di Simulazione</b>	<b>67</b>
4.1 Architettura . . . . .	67
4.1.1 SUMO . . . . .	68
4.1.2 OMNeT++ . . . . .	70
4.1.3 Veins . . . . .	71
4.2 Modellazione della Simulazione . . . . .	73
4.2.1 Ciclo di Vita dei moduli . . . . .	75
4.2.2 CityService . . . . .	76
4.2.3 CarLogic . . . . .	78
4.2.4 Battery . . . . .	85
4.2.5 DriverBeahviour . . . . .	90
4.3 Risultati Simulazioni . . . . .	91
4.3.1 Consumo del veicolo . . . . .	91
4.3.2 Occupazione delle colonnine . . . . .	92
<b>5 Conclusioni</b>	<b>95</b>
<b>6 Ringraziamenti</b>	<b>97</b>
<b>A Installazione Ambiente</b>	<b>99</b>
A.1 Installazione . . . . .	99
A.1.1 Installazioni preliminari . . . . .	99
A.1.2 OMNeT++ . . . . .	100
A.1.3 SUMO . . . . .	100
A.1.4 SMART-M3 . . . . .	101
A.1.5 KPI_Low . . . . .	101
A.1.6 Importare il progetto in OMNeT++ . . . . .	102
<b>B Vista al Centro Ricerche Fiat</b>	<b>105</b>
B.1 Ottenimento dei dati . . . . .	105
<b>C UniboGeoTools</b>	<b>107</b>
C.1 Profilo Altimetrico . . . . .	107
C.2 Percorso tra due punti . . . . .	109

*INDICE*

---

**INDICE**

**Elenco delle figure** **111**

**Elenco dei codici** **113**

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Electrical Mobility

Al giorno d'oggi l'Electrical Mobility (EM) è considerata una degli elementi chiave per ridurre l'inquinamento e affrancarsi dalla dipendenza dai combustibili fossili. Questo sta inducendo governi e industrie automobilistiche a investire somme ingenti nei relativi progetti.

Si prevede che nel breve periodo il mercato legato all'EM sia destinato a crescere rapidamente come conseguenza dell'incremento della varietà di Veicoli Elettrici (EV) immessi sul mercato dalle Case Automobilistiche. Secondo recenti studi infatti il numero di EV venduti nel periodo tra il 2010 e il 2012 è aumentato del 200%.

Nonostante il crescente interesse nei confronti dell'EM, recenti analisi di mercato dimostrano che i benefici ad essa legati diverranno significativi soltanto nel lungo periodo, tesi confermata da una ricerca condotta dal U.S. National Energy Technology ([12]) secondo la quale il 70% dei potenziali consumatori non acquisterà un EV a causa dell'incertezza sulla disponibilità delle stazioni di ricarica. A questo si aggiungono le note problematiche riguardanti la capacità e la durata delle batterie nonché i significativi tempi di ricarica eccessivamente lunghi (nell'ordine delle decine di minuti) se comparati con quelli di rifornimento dei veicoli a combustibile fossile.

Da un lato la durata dei tempi di ricarica, la limitata capacità delle batterie e la disposizione territoriale degli Electric Vehicle Supply Element (colonnine di ricarica - EVSE) influisce direttamente sull'esperienza di guida di ogni autista e può avere un impatto decisivo sulla penetrazione di mercato dei veicoli elettrici. D'altro canto diversi studi hanno dimostrato che l'impatto critico sulla rete energetica causato dalla ricarica simultanea di un numero significativo di EV. Si è quindi delineata chiaramente la necessità di coordinare efficacemente le necessita di ricarica degli EV con la quantità e la dislocazione territoriale degli EVSE.

Molti progetti Europei sono stati avviati con lo scopo di limitare queste problematiche. Allo stesso tempo bisogna considerare che un uno scenario realistico di EM coinvolge diverse parti interessate (autisti, case automobilistiche, produttori di energia, traffico cittadino, fattori economici e psicologici ecc...). Uno scenario così complesso ha mobilitato la ricerca in direzione dell'Information and Communication Technology (ICT) per fornire servizi di supporto all'EM consentendo alle parti interessate di cooperare in modo intelligente e sostenibile. Sono state sviluppate finora diverse applicazioni relative a scenari in scala ridotta ma si è ancora lontani dall'ottenere una effettiva interoperabilità tra gli attori in gioco soprattutto per la mancanza di standardizzazione delle tecnologie e dei dispositivi utilizzati.

Stante l'elevato costo dei test su larga scala, la simulazione rappresenta lo strumento più adatto a testare l'efficacia delle soluzioni ICT prima che vengano realmente implementate ([9]). A tutt'oggi sono stati sviluppati sia alcuni simulatori veicolari che permettono un controllo molto fine a livello di singolo veicolo che modelli di batteria atti a simulare realisticamente le dinamiche di carica e scarica. Tuttavia nessuno di questo strumenti è risultato efficace nella soluzione delle complesse dinamiche derivanti dall'impatto degli EV sulla rete elettrica cittadina e dalle incertezze sull'effettiva utilità dell'uso di sistemi di prenotazione delle ricariche.

Il progetto Internet of Energy (IoE) for Electrical Mobility, avviato dall'Unione Europea e comprendente 40 partner da 10 nazioni Europee, intende

colmare queste lacuna tramite lo sviluppo di hardware, software e sistemi middleware che possano fornire un infrastruttura di comunicazione interoperabile tra le parti in gioco all'interno della cosiddetta grid ovvero il sistema formato dall'insieme delle stazioni di ricarica dislocate strategicamente sul territorio, dalle modalità di prenotazione programmata delle ricariche, dai dispositivi hardware atti a gestirle e dal software di controllo dell'intero sistema.

Lo scopo di questa tesi, frutto del lavoro congiunto tra UNIBO e ARCES, seguito della tesi di laurea di Federico Montori, è quello di fornire un contributo significativo in questa direzione.

## 1.2 Internet of Energy

Internet of Energy è un progetto del framework ARTEMIS che da tre anni si concentra sullo sviluppo di tecnologie atte a realizzare e supportare l'adozione su larga scala della EM in Europa. Riunisce 40 partner di 10 paesi europei con l'obiettivo di mobilitare le migliori capacità industriali e di ricerca nei settori di produzione e stoccaggio dell'energia, sistemi embedded e produzione di veicoli elettrici. Il budget totale del progetto IoE è di 45 milioni di Euro, di cui la metà finanziata da 40 industrie partner.

Gli elementi fondamentali del progetto sono:

- La cosiddetta *smart-grid* ([3]) ovvero, in sintesi, la connessione delle reti energetiche ad Internet per consentire il controllo intelligente dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, il suo stoccaggio e la sua distribuzione.
- La progettazione di veicoli elettrici che, mediante apposite tecnologie e dispositivi hardware e software, aumentino il rendimento dei motori elettrici minimizzando al contempo il consumo dell'energia immagazzinata nelle batterie.
- L'utilizzo di Internet per l'interconnessione tra la smart-grid, i veicoli elettrici e gli utenti al fine di ottimizzare le operazioni di ricarica delle

batterie compatibilmente con i vincoli imposti dal traffico cittadino e dal rapporto tra consumo e disponibilità globali di energia. In questo ambito si inserisce il progetto all'origine di questa tesi.

- La definizione di standard volti ad assicurare l'interoperabilità tra gli attori in gioco.

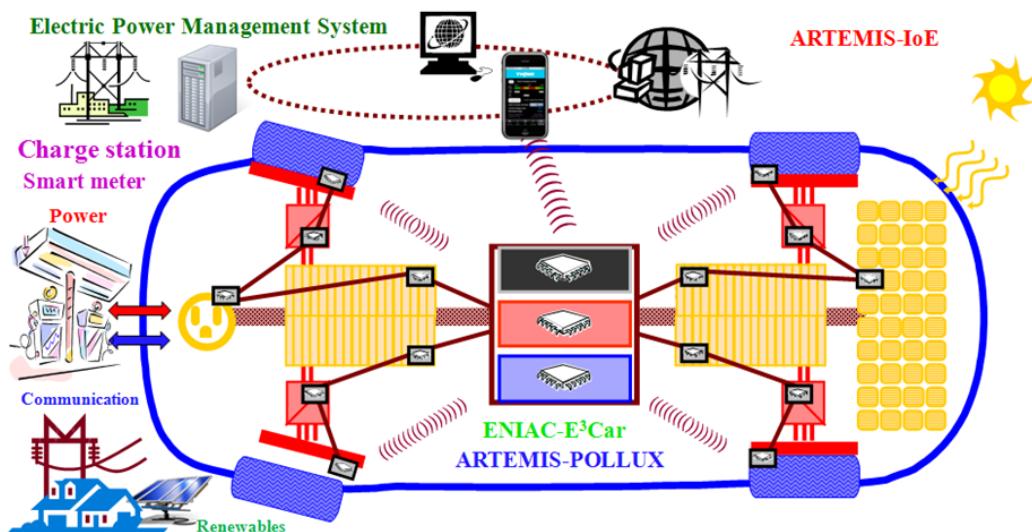


Figura 1.1: Overview del progetto Internet of Energy

### 1.3 Contributo al progetto IoE

L'Università di Bologna, congiuntamente ad ARCES, si propone di sviluppare una piattaforma software con l'obiettivo di fornire una prima valutazione della compatibilità delle specifiche del progetto IoE con la realtà dello scenario cittadino Bolognese ([2]).

Innanzitutto è stato sviluppata un architettura software volta a fornire i servizi per l'interazione tra gli utenti e la smart-grid mediante tecnologie mobile. La connessione tra l'utente e la smart-grid è assicurata dal City Service (CS) a cui giungono le richieste di prenotazione di ricarica provenienti dagli smartphone, fornendo la lista delle colonnine disponibili che meglio si adattano alle esigenze dell'utente. I dati sono rappresentati mediante un grafo

semantico e la loro definizione avviene tramite ontologia. Questo permette ai vari attori in gioco, di natura estremamente eterogenea, di comunicare e processare i dati in modo completamente trasparente. Attraverso l'ontologia vengono definite tutte le informazioni inerenti la smart-grid. La persistenza e la condivisione delle informazioni è assicurata da un repository semantico, il Semantic Information Broker (SIB), parte del progetto Smart-M3 ([6]).

In secondo luogo è stata creata un'applicazione mobile che permette all'utente di monitorare i parametri della batteria del veicolo e di prenotare slot di tempo presso gli EVSE grazie all'interazione con il CS mediante un SIB dedicato. Il servizio di prenotazione dà la possibilità all'utente di trovare l'opzione di ricarica più consona alle sue esigenze.

Infine è stata creata una piattaforma di simulazione integrata che permette di valutare su larga scala l'impatto dell'introduzione della mobilità elettrica veicolare nel contesto urbano bolognese. Diversamente da altri tool esistenti il framework proposto permette di studiare il comportamento degli EV, con relativo modello di carica e scarica della batteria unitamente all'interazione di essi con la smart-grid.

## 1.4 Un po di storia

L'applicazione mobile è stato il mezzo che mi ha permesso di avere il privilegio di partecipare a questo progetto. Era il 19/07/2012 quando ho inviato al Prof *Luciano Bononi* la richiesta di progetto per il corso di *Laboratorio di Applicazioni Mobili*. Non potevo immaginare che quella email mi avrebbe portato ad un lavoro durato oltre un anno e che dura tutt'ora. Al colloquio per l'assegnazione del progetto mi venne presentato l'opportunità di rendere più accattivante l'applicazione mobile creata da Federico Montori per il suo progetto di laurea. Questo perché, visto il poco tempo che egli aveva potuto dedicarci, era ancora in fase embrionale. Così, in seguito a qualche meeting, con i vari componenti del progetto e notevoli dosi di pazienza da parte di *Federico Montori*, che mi ha introdotto al progetto, sono riuscito a disporre un ambiente più o meno funzionante. La simulazione *crashava* dopo un secondo ma tanto bastava per introdurre un veicolo ed eseguire i test con la nuova applicazione mobile. Successivamente, capendo la vastità del progetto

che stava dietro all'applicazione, decisi di farlo diventare progetto di laurea poiché era evidente che c'era ancora molto lavoro da fare e la mia innata capacità di complicarmi la vita ha giocato un ruolo fondamentale in tutto questo. Nel resto di questa tesi verrà spiegato come si è evoluta questa storia. In genere i periodi di sviluppo più intensivi sono sta

# Capitolo 2

## Architettura

In questo capitolo verranno descritte le scelte architetturali e implementative che stanno alla base del contributo di questa tesi al progetto IoE.

Lo scenario legato alla mobilità elettrica veicolare è caratterizzato dalla presenza di diversi domini applicativi, piattaforme e parti interessate i quali necessitano di comunicare in modo unificato e trasparente. A tal fine è stato utilizzato il progetto Smart-M3 ([17]), cuore della nostra architettura. Appoggiandosi sulle tecnologie tipiche del *Semantic Web*, Smart-M3 assicura l'interoperabilità tra gli attori in gioco.

In particolare vedremo come possono coesistere elementi reali ed elementi simulati e come il passaggio dall'uno all'altro sia assolutamente trasparente a tutti i componenti del sistema grazie all'uso di tecnologie ontology-based.

### 2.1 Smart-M3

Prima di parlare dei componenti strettamente legati a questo progetto è doveroso fare un introduzione alla tecnologia che fa da collante tra di essi, ovvero Smart-M3. Capire come funziona Smart-M3 e quali sono i suoi principi è fondamentale per comprendere a fondo il seguito di questo documento.

M3 è un architettura middleware che realizza l'interoperabilità delle informazioni in maniera cross-domain, multi-vendor, multi-device, multi-piattaforma ([6]). Smart-M3 è la sua prima implementazione Open Source, proposta da SOFIA, un Progetto Europeo (2009-11) appartenente al framework ARTE-

MIS. La piattaforma implementa il disaccoppiamento tra produttori e consumatori di informazione. In questa architettura tutti gli attori (sensori, dispositivi, servizi, attuatori ecc..) cooperano attraverso un database RDF che è lo standard deciso dal World Wide Web Consortium per la descrizione di informazioni e concetti. L'interoperabilità è resa possibile da un modello di dati condiviso che si basa su tecnologie tipiche del Semantic Web.

Il Semantic Web è un framework sviluppato dal World Wide Web Consortium per consentire la condivisione e il riutilizzo dei dati attraverso applicazioni, aziende e comunità eterogenee.

La figura 2.1 mostra il funzionamento dell'architettura M3. Il “legacy gate” è un interfaccia con il mondo esterno e possono coesisterne molteplici istanze in un architettura M3.

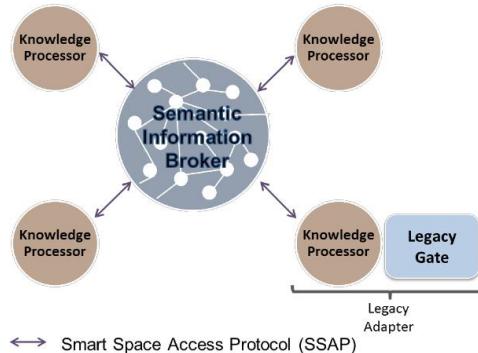


Figura 2.1: Architettura Smart-M3

### 2.1.1 Semantic Information Broker

Il *Semantic Information Broker* (SIB) è l'entità responsabile della conservazione e della gestione delle informazioni condivise nell'architettura M3. Gli agenti Software che si scambiano le informazioni vengono chiamati *Knowledge Processors* (KP). L'accesso alla SIB da parte dei KP avviene attraverso lo *Smart Space Access Protocol* (SSAP) basato su messaggi XML scambiati attraverso socket TCP/IP. Vengono fornite API che implementano il protocollo SSAP in diversi linguaggi.

Il SIB è un architettura a 5 livelli ([11]) come mostrato in figura 2.2a:

1. **Transport:** Gestisce una o più comunicazioni di rete a livello di trasporto, permettendo al SIB di comunicare con diverse reti e architetture. Il livello di trasporto è collegato a quello sottostante tramite il DBus, rendendo possibile l'aggiunta e la rimozione di connettori a runtime.
2. **Operation Handling:** Gestisce le diverse operazioni del protocollo SSAP ognuna delle quali viene eseguita in un thread dedicato. Malgrado l'uso intensivo di thread possa degradare le performance, è stata ritenuta determinante la chiarezza di codice che ne consegue.
3. **Graph Operations:** Gestisce le operazioni di inserimento, rimozione e query dal database RDF come richiesto dal livello 2. Viene eseguito all'interno di un singolo thread che schedula ed esegue le richieste provenienti dai thread che gestiscono le operazioni SSAP la cui comunicazione avviene tramite code asincrone.
4. **Triple Operations:** Gestisce le operazioni SPARQL, WQL e le query basate su pattern-matching di triple RDF. Attualmente è implementato tramite Piglet, un database RDF che si appoggia ad SQL lite per la persistenza delle informazioni. Lo strato può essere tranquillamente cambiato a patto che si scriva il codice necessario ad interfacciare le operazioni a livello di grafo (3) con l'interfaccia fornita dal nuovo store RDF.
5. **Persistent storage:** Assicura la persistenza dei dati.

### 2.1.2 I Knowledge Processor

I Knowledge Processor (KP) sono le parti attive dell'architettura Smart-M3. Un KP interagisce con il SIB non direttamente tramite il protocollo SSAP ma tramite le Knowledge Processor Interface (KPI) ovvero le librerie che lo implementano. Queste possono trovarsi a qualunque livello di astrazione ed essere scritte in qualunque linguaggio. Le funzioni messe a disposizione dal KPI in genere sono speculari alle operazioni del protocollo SSAP.

I KP sono le entità che forniscono, modificano e richiedono le informazioni le informazioni contenute nello smart-space. L'architettura dei KP è mostrata in figura 2.2b.

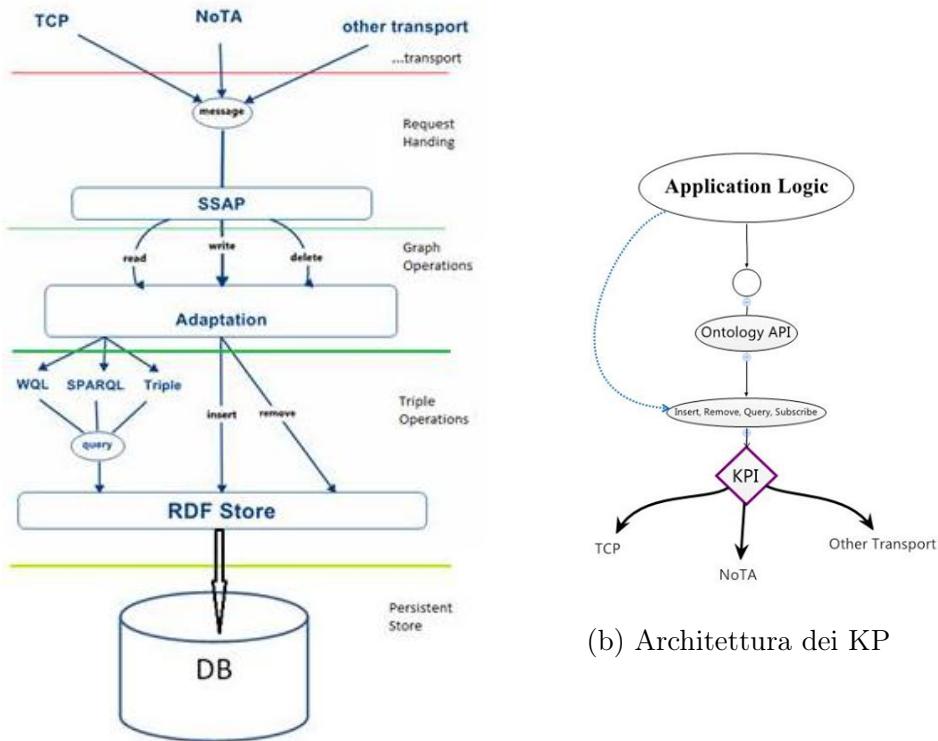


Figura 2.2: Architetture SIB e KP

### 2.1.3 Le triple RDF

Nell'architettura Smart-M3 le informazioni sono rappresentate in formato RDF (Resource Description Framework). In RDF le informazioni sono rappresentate in forma di triplete *soggetto, predicato, oggetto*. Le triple vengono memorizzate nel SIB e formano un grafo etichettato diretto che non necessariamente è un grafo connesso.

### 2.1.4 Ontologie

Mentre RDF fornisce il modello di dati standard per la rappresentazione delle informazioni, l'uso di un linguaggio ontologico è indispensabile per assegnare una semantica all'informazione. Linguaggi ontologici come RDFS e OWL forniscono un vocabolario comune. L'uso di una ontologia comune consente a tutti gli attori (uomini e macchine) di capire reciprocamente la semantica delle informazioni e di cooperare in simbiosi attraverso il SIB. Smart-M3 è agnostico rispetto all'ontologia e quindi consente agli sviluppatori di scegliere il modo migliore di modellare le informazioni per soddisfare le esigenze funzionali del dominio applicativo indirizzato.

### 2.1.5 Sottoscrizioni

Un aspetto fondamentale di questa tecnologia è il meccanismo delle sottoscrizioni grazie al quale è possibile ricevere notifiche al variare di set di triple. Le sottoscrizioni sono determinanti nella nostra architettura perché, come vedremo più avanti (Sez. 2.5.2), sono alla base dei protocolli di scambio dati tra i componenti del sistema.

### 2.1.6 SPARQL

*SPARQL* (pronuncia sparkle, acronimo ricorsivo di SPARQL Protocol and RDF Query Language) è il linguaggio standard de facto per interrogare dataset RDF. Come si può dedurre dal nome stesso, SPARQL non è semplicemente un linguaggio di interrogazione di dati RDF ma definisce anche il protocollo applicativo utilizzato per comunicare con le sorgenti RDF (si tratta di un binding su HTTP).

Così come SQL riflette nella rappresentazione della query il modello relazionale sottostante, allo stesso modo SPARQL basa la rappresentazione della query sul concetto di tripla e di grafo. Il meccanismo alla base della rappresentazione di una query e della ricerca della sua risposta è il graph matching. La query rappresenta un pattern di un grafo (RDF) e la risposta alla query sono tutte le triple (sotto-grafo) che *fanno match* con il pattern.

### 2.1.7 Il protocollo SSAP

L'SSAP (*Smart Space Access Protocol*) è il protocollo con cui si comunica con il SIB. Essendo un protocollo session-based, i KP che vogliono comunicare con lo smart-space dovranno prima aderirvi con un'operazione di Join prevista dall'SSAP. Il KP fornisce le sue credenziali nel messaggio di Join, il SIB esamina le credenziali e decide se accettare il KP o meno. Dopo l'operazione di Join, il KP può eseguire le altre operazioni. L'SSAP è il punto di integrazione principale dell'architettura Smart-M3. Le implementazioni di SIB e KP devono implementare tutte le operazioni del protocollo SSAP per garantire l'interoperabilità.

Le operazioni supportate dal protocollo SSAP sono:

- **JOIN:** Associa il KP allo smart-space solo se le credenziali vengono ritenute valide. Determina l'inizio della sessione.
- **LEAVE:** Determina il termine dell'associazione con lo smart-space e quindi la fine della sessione. Da questo momento in poi non potranno essere eseguite altre operazioni di associazione allo smart-space.
- **INSERT:** Operazione atomica di inserzione di un Grafo, formato da triple RDF, nel SIB.
- **REMOVE:** Operazione atomica di rimozione di un Grafo, formato da triple RDF, nel SIB.
- **UPDATE:** Operazione atomica di aggiornamento di un Grafo, formato da triple RDF, nel SIB. In realtà si tratta di una combinazione di DELETE e INSERT eseguita in modo atomico con precedenza dell'operazione di DELETE.
- **QUERY:** Richiesta di informazioni contenute nel SIB attraverso una delle modalità supportate.
- **SUBSCRIBE:** Sottoscrizione a un set di triple contenute nel SIB. Il KP riceve una notifica quando avviene un cambiamento su una di queste triple.
- **UNSUBSCRIBE:** Cancella una sottoscrizione.

## 2.2 Il Modello Ontologico

In questa sezione cercherò di illustrare come sono stati modellati i dati attraverso una ontologia. Ho ereditato dalla progetto di Tesi di *Federico Montori* ([15]). Io ho contribuito espandendolo per adattarlo ai nuovi requisiti funzionali sorti durante lo sviluppo del progetto. Verranno quindi mostrati gli aspetti dell'ontologia necessari per comprendere il resto della trattazione e verranno approfondite le modifiche da me apportate.

### 2.2.1 Introduzione

L'ontologia è definibile come una rappresentazione formale ed esplicita di una concettualizzazione condivisa di un dominio di interesse.

L'ontologia presenta le seguenti proprietà:

- **Rappresentazione Formale:** come tale usa un linguaggio logico processabile da elaboratori.
- **Esplicita:** cioè non ambigua e tale da chiarire ogni assunzione fatta.
- **Concettuale:** è una concettualizzazione cioè una vista astratta e semplificata del dominio di interesse.
- **Condivisa:** determinata dal consenso di una pluralità il più ampia possibile di soggetti.

Lo scopo delle ontologie è quindi descrivere delle basi di conoscenze, effettuare delle deduzioni su di esse e integrarle tra le varie applicazioni. Per descrivere le ontologie viene utilizzato il linguaggio OWL (*Ontology Web Language*), estensione di RDF. È un linguaggio di markup per rappresentare esplicitamente significato e semantica di termini con vocabolari e relazioni tra gli stessi.

I linguaggi della famiglia OWL sono in grado di creare *classi*, *proprietà*, *istanze* e le relative *operazioni*.

### 2.2.2 Classi di IoE

Una classe è una collezione di oggetti che corrisponde alla descrizione logica di un concetto. Da una classe si possono creare un numero arbitrario di istanze mentre ad un'istanza possono corrispondere una, nessuna o molteplici classi.

Una classe può essere sottoclasse di un'altra classe, ereditando le caratteristiche della super-classe. Tutte le classi sono sottoclassi di **owl:Thing**, rappresentazione concettuale di “cosa”.

Nel modello di dati utilizzato in questo progetto si è cercato di tenere disaccoppiato il concetto di dato dalle altre entità fisiche. Ne consegue che tutte le entità fisiche sono sottoclassi dirette di **owl:Thing**, mentre le classi destinate a rappresentare i dati sono sottoclassi di **ioe:Data** che a sua volta è sottoclasse di **owl:Thing**.

Nel resto di questo documento userò il prefisso **ioe:** come abbreviazione di *http://www.m3.com/2012/05/m3/ioe-ontology.owl#* il namespace scelto per l'ontologia. In generale userò questo prefisso per distinguere le classi dell'ontologia dalle classi Java che come vedremo nella sezione 2.4 hanno lo stesso nome essendo mapping diretto di quest'ultime.

### 2.2.3 Sottoclassi di owl:Thing

Come già accennato tutte le entità fisiche del nostro modello ontologico sono sottoclassi dirette di **owl:Thing**. Quella mostrata di seguito è una lista delle Classi usate in questo progetto omettendo quelle attualmente irrilevanti o inutilizzate.

**ioe:Person:** rappresenta il concetto di persona. Ad ogni persona possono essere associati diversi veicoli (**ioe:Vehicle**), diverse richieste di ricarica (**ioe:Reservation**) nonché la storia delle ricariche effettuate (**ioe:Recharge**). Il concetto di persona viene usato ai fini dell'autenticazione e in un futuro potrà essere determinante ai fini della fatturazione che il provider energetico eseguirà a fronte delle ricariche.

**ioe:Vehicle:** rappresenta il concetto di Veicolo Elettrico. I veicoli NON elettrici sono infatti irrilevanti al fine di questa trattazione. Ad ogni vei-

colo sono ovviamente associati i dati della batteria (**ioe:BatteryData**) che verranno trattati nella sezione relativa alle sottoclassi di **ioe:Data** (2.2.4);

**ioe:Zone**: rappresenta l'area di copertura del *City Service*. È definita da un rettangolo individuato dagli angoli nord-ovest e sud-est.

**ioe:GridConnectionPoint**: il *Grid Connection Pointer* (**ioe:GCP**) è la stazione di ricarica. Contiene almeno un EVSE, rappresentazione della colonnina dove avviene la ricarica effettiva. Il rapporto tra un GCP e gli EVSE è lo stesso che intercorre tra una stazione di rifornimento e le pompe di benzina.

**ioe:EVSE**: Il *Electrical Vehicle Supply Equipment* è il punto in cui il veicolo si connette alla rete elettrica. Una volta connesso può sia ricaricare la sua batteria che cedere energia alla Grid. Un EVSE ha diversi connettori (**ioe:Connector**) per adattarsi ai vari tipi di presa in dotazione ai veicoli elettrici. Inoltre ogni EVSE dispone di una lista di prenotazioni associate.

**ioe:ChargeProfile**: è l'insieme dei parametri che caratterizzano il profilo energetico di un EVSE in un determinato istante. I parametri attualmente sono: potenza, orario di validità del profilo stesso e prezzo per unità di energia (in genere 1 kWh). Può essere attivo un solo **ioe:ChargeProfile** alla volta, variabile optionalmente in base a fasce orarie analogamente a quanto avviene per l'energia elettrica casalinga.

**ioe:Connector**: è il connettore di ricarica ovvero il tramite tra l'EVSE e l'EV. Ogni EVSE può avere diversi connettori per la massima compatibilità col maggior numero di veicoli possibile. Malgrado negli USA si stia cercando di introdurre uno standard, esistono ormai diversi tipi di connettori.

**ioe:ChargeRequest**: Richiesta di ricarica. Viene istanziata quando un utente deve creare una prenotazione. Al suo interno sono contenuti tutti i parametri necessari a descriverla. Fa parte del protocollo di

richiesta di prenotazione discusso nella Sez. 2.5.2. Un approfondimento sulla sua struttura è trattato nella Sez. 2.2.5.

**ioe:ChargeResponse:** è la risposta fornita dal servizio cittadino a seguito della richiesta di prenotazione. Al suo interno contiene un riferimento alla richiesta (**ioe:ChargeRequest**) da cui è stata generata e una lista di opzioni di ricarica conformi alla richiesta dell'utente (**ioe:ChargeOption**).

**ioe:ChargeOption:** Fa parte della risposta(**ioe:ChargeResponse**) che il servizio cittadino fa all'utente in seguito a una richiesta di prenotazione (**ioe:ChargeRequest**). Contiene i parametri di ricarica quali EVSE, orario e prezzo.

**ioe:Currency:** rappresenta la divisa monetaria relativa a un prezzo. Alcune sue istanze sono state inserite direttamente nell'ontologia (**ioe:Euro**, **ioe:Dollar** ecc..);

**ioe:Reservation:** viene creata un'istanza di questa classe se il protocollo di richiesta di prenotazione va a buon fine. Indica che l'EVSE a cui è associata è impegnato per un certo lasso di tempo.

**ioe:ReservationList:** lista di prenotazioni associate ad un EVSE. Ogni EVSE può avere un'unica lista di prenotazioni associata.

**ioe:ReservationRetire:** classe che denota la volontà dell'utente di ritirare una prenotazione.

**ioe:Recharge:** quando un veicolo, in seguito a una prenotazione, termina di ricaricarsi, viene inserita questa entità ad esso associata. Sancisce l'avvenuta ricarica è può essere utile per tener traccia dell'attività dell'utente nonché per fare statistiche.

**ioe:UnityOfMeasure:** rappresenta l'unità di misura dei dati del progetto. Deve esserne associata una ad ogni sottoclassificazione di **ioe:Data**. Attualmente sono *hardcoded* all'interno dell'ontologia (**ioe:Watt**, **ioe:Volt** ecc..)

**ioe:Data:** rappresenta il concetto di dato misurabile e ogni sua sottoclasse è caratterizzata da un valore e da un'unità di misura.

#### 2.2.4 Sottoclassi di ioe:Data

La sezione descrive la lista delle tipologie di dati usate nel progetto. Sono tutte sottoclassi di **ioe:Data** caratterizzate da un valore e da un'unità di misura **ioe:UnityOfMeasure**. Le unità di misura associate ai dati mostrati nel seguito sono quelle utilizzate nell'ambito di questo progetto ma nulla vieta di cambiarle.

**ioe:BatteryData:** raggruppa i dati relativi allo stato della batteria di un veicolo (**ioe:ChargeData**, **ioe:VoltageData**, **ioe:PowerData**, **ioe:CurrentData**, **ioe:TempertureData**)

**ioe:ChargeData:** rappresenta la quantità di carica misurata in Kilowattora (kWh).

**ioe:VoltageData:** rappresenta la tensione elettrica misurata in Volt (V).

**ioe:PowerData:** rappresenta la potenza elettrica misurata in Kilowatt (kW).

**ioe:CurrentData:** rappresenta l'intensità di corrente misurata in Ampere (A). Indica sia la corrente in uscita che quella in entrata, come ad esempio i cicli di carica e scarica della batteria.

**ioe:TempertureData:** rappresenta la temperatura misurata in Gradi Celsius (°C). Attualmente non è considerata nei nostri modelli.

**ioe:LocationData:** rappresenta i dati geografici dell'entità a cui si riferisce (es: posizione del veicolo). In realtà nel progetto è sostituita dall'uso diretto della sua sottoclasse **ioe:GPSData**.

**ioe:GPSData:** rappresenta le coordinate GPS ovvero latitudine e longitudine misurate in Gradi Angolari.

**ioe:SpatialRangeData:** Rappresenta uno spazio geografico determinato da un punto GPS e da un raggio intorno ad esso. Si misura in Metri (m).

**ioe:PriceData:** Rappresenta le informazioni relative a un prezzo qui è associata una divisa monetaria (sezione 2.2.3)

**ioe:TimeIntervalData:** Rappresenta un intervallo che originariamente era compreso tra due date nella forma gg/mm/aaaa mentre attualmente si misura in Millisecondi (ms).

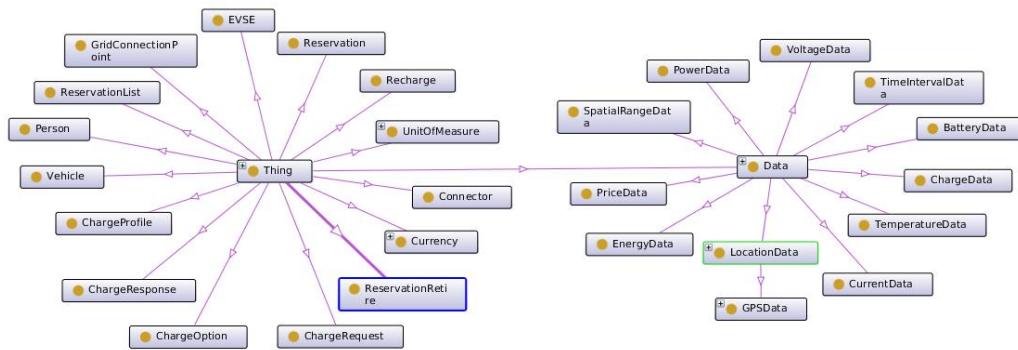


Figura 2.3: Rappresentazione grafica delle classi dell'ontologia

### 2.2.5 Modifiche apportate all'ontologia

La versione dell'ontologia su cui ho iniziato a lavorare era la 1.5.4 alla quale sono seguiti 10 successivi rilasci fino all'attuale release 1.6.2. Le modifiche più importanti hanno riguardato il supporto di un nuovo protocollo di prenotazione delle ricariche oltre a operazioni varie operazioni di refactoring e correzione di incongruenze.

#### Il concetto di Utente

Inizialmente il concetto di utente non era previsto nell'ontologia in quanto non trovava nessuna applicazione pratica. L'entità che interagiva con la Grid era il veicolo e non l'utente. Questo approccio evidenzia i suoi limiti nel

caso in cui un utente possiede più veicoli e voglia monitorarne contemporaneamente le ricariche effettuate o le prenotazioni pendenti. Inoltre anche dal punto di vista dei fornitori di corrente elettrica può essere utile una visione a livello di utente per semplificare le operazioni di fatturazione. Successivamente è stata introdotta la necessità di autenticare gli utenti per poter cifrare le comunicazioni con il SIB.

È stata quindi introdotta la classe **ioe:Person**. Seppur esistano già delle ontologie con classi che rappresentative di questo concetto, si è ritenuto più semplice crearne uno nostro. Sviluppi futuri potrebbero legare questo concetto ad uno già esistente per rendere più semplice l'interoperabilità tra sistemi diversi. La classe presenta le seguenti proprietà:

- **ioe:hasName**: Nome e Cognome dell'utente in formato stringa. Attualmente è irrilevante avere una separazione dei due.
- **ioe:hasUserIdentifer**: codice che identifica univocamente l'utente.
- **ioe:hasVehicle**: proprietà associa a un utente uno o più veicoli.

Come si può vedere attualmente l'utente è modellato in modo molto primitivo. Sono state infatti incluse solo le proprietà strettamente necessarie al nostro ambito di interesse.

### Il concetto di Veicolo

Nel vecchio modello ontologico il concetto di veicolo, in quanto non essenziale, non veniva particolarmente enfatizzato. Nella ultime versioni dell'ontologia ho aggiunto al veicolo alcune proprietà per soddisfare all'esigenza di distinguere le diverse possibili provenienze dei veicoli. Infatti i veicoli vengono inseriti nel SIB dal simulatore e possono anche essere reali come nel caso del Fiat Daily provato al CRF (App. B).

Il veicolo è attualmente definito dalle seguenti proprietà:

- **ioe:hasManufacturer**: Casa automobilistica che produce il veicolo.
- **ioe:hasModel**: modello del veicolo.

- **ioe:hasGPSData:** la proprietà punta ad un’istanza di **ioe:GPSData** che a sua volta contiene le informazioni di latitudine e longitudine.
- **ioe:hasBatteryData:** la proprietà punta ad un’istanza di **ioe:BatteryData** contenente i dati della batteria.
- **ioe:hasIdentificationData:** identificativo del veicolo attualmente non utilizzato a favore della più semplice proprietà **ioe:hasName**.

### Il concetto di Ricarica

Nella prime versioni dell’ontologia non esisteva nulla che indicasse il concetto di “ricarica avvenuta”, molto utile per le statistiche lato utente (es: quanto si è speso in un mese per ricaricare il veicolo) e lato Grid (es: quanta energia è stata erogata e quali sono stati gli introiti). Questo perché i tempi previsti dalla prenotazione possono differire sensibilmente da quelli reali: basti pensare a una persona che arriva in ritardo a ricaricare il veicolo o che lascia la colonnina in anticipo.

È stata quindi introdotta la classe **ioe:Recharge**. Si noti che le proprietà di seguito elencate sono state decise di comune accordo con un altro partner del progetto IoE, la spagnola AICIA, allo scopo di eseguire una demo congiunta in cui dimostrare l’interoperabilità tra la nostra piattaforma e quella sviluppata da loro.

- **ioe:hasDate:** data e ora in cui è avvenuta la ricarica.
- **ioe:hasUser:** utente che ha effettuato la ricarica, da cui si evidenzia la necessità di inserire la classe **ioe:Person** (2.2.5).
- **ioe:hasRechargeTime:** il tempo necessario ad effettuare la ricarica.
- **ioe:hasConsumption:** la quantità di corrente impiegata per effettuare la ricarica.

### Il Vecchio Protocollo di Prenotazione

Il protocollo di prenotazione iniziale era in stato embrionale e serviva a scopo esemplificativo per dimostrare la fattibilità del progetto. I para-

metri previsti per la richiesta di ricarica, ovvero le proprietà della classe **ioe:ChargeRequest** erano:

- **ioe:hasPreferredTime**: la data in cui l'utente desidera effettuare la ricarica.
- **ioe:hasPosition**: la posizione da cui si sta eseguendo la richiesta.
- **ioe:hasRequestedEnergy**: la quantità di carica richiesta.
- **ioe:hasRequestingVehicle**: il veicolo che richiede la ricarica.
- **ioe:hasChargeResponse**: la risposta fornita dal sistema.

In seguito ad alcune problematiche verificatesi durante le simulazioni è stato necessario aggiornare il protocollo, all'epoca ancora in fase embrionale. Al di là della mancanza del concetto di utente, l'assenza di range nei campi **ioe:hasPreferredTime** e **ioe:hasPosition** poteva portare ad un'eccessiva ridondanza delle risposte con conseguenti insostenibilità nei tempi e nelle entità del traffico di dati particolarmente in caso di utilizzo di smartphone agganciati alla rete tramite connettività mobile.

### Il nuovo Protocollo di prenotazione

In seguito ai problemi messi in luce nel paragrafo precedente (2.2.5) si è deciso di sviluppare un nuovo protocollo di prenotazione che prendesse in considerazione i nuovi requisiti funzionali (Fig. 2.4).

La classe è **ioe:ChargeRequest** è stata quindi ridefinita con le seguenti proprietà:

- **ioe:hasRequestingUser**: utente che richiede la ricarica. Malgrado si possa risalire all'utente tramite il veicolo è stato comunque inserita la proprietà al fine di semplificare le query SPARQL.
- **ioe:hasSpatialRange**: area nella quale si vuole eseguire la ricarica. Il punto centrale di quest'area non corrisponde necessariamente con la posizione dell'utente. Come vedremo nella sezione relativa all'applicazione mobile (3) l'area di prenotazione può essere scelta arbitrariamente sulla mappa.

- **ioe:hasTimeInterval**: il range temporale all'interno del quale si è disposti ad eseguire la ricarica. Può anche essere molto superiore al tempo necessario per la ricarica nel caso in cui non ci siano particolari requisiti di tempo.
- **ioe:hasRequestingVehicle**: il veicolo per cui si richiede la ricarica. Non differisce rispetto al vecchio protocollo.
- **ioe:hasRequestedEnergy**: la quantità di carica richiesta. Non differisce rispetto al vecchio protocollo.

Per quanto migliorato il protocollo è ancora incompleto ed in quanto tale è ancora suscettibile di ulteriori significative migliorie. Ora ad es. non è possibile specificare la volontà dell'utente di essere più flessibile riguardo alla quantità di carica richiesta e nemmeno, nel caso sia richiesto dalla Grid, se fosse disposto a cedere parte della sua carica.

Oltre alla richiesta è stata modificata anche la risposta. Alla classe **ioe:ChargeResponse** è stata aggiunta la proprietà **ioe:hasRelatedRequest** per semplificare le query SPARQL. Anche le opzioni di ricarica contenute nella risposta sono state modificate non solo per farle aderire ai nuovi requisiti funzionali ma anche per semplificare le query SPARQL.

Di seguito verranno esposte le proprietà della classe **ioe:ChargeOption**. Dalla vecchia definizione è stata rimossa la proprietà **ioe:hasChargeProfile**. Le proprietà ereditate dalla vecchia ontologia verranno opportunamente segnalate.

- **ioe:optionHasEVSE**: EVSE presso il quale avverrà la ricarica (ereditata).
- **ioe:hasTimeInterval**: è un'istanza della classe **ioe:TimeIntervalData**. Specifica il tempo necessario a ricaricarsi calcolato sulla base di energia richiesta e di potenza della colonnina. La proprietà era presente anche nella vecchia definizione con i tempi indicati con le date in formato gg/mm/aaaa sostituita con gli attuali millisecondi (passati dalla mezzanotte del 1 Gennaio 1970 UTC) con le proprietà **ioe:hasFromTimeMillisec** e **ioe:hasToTimeMillisec**.

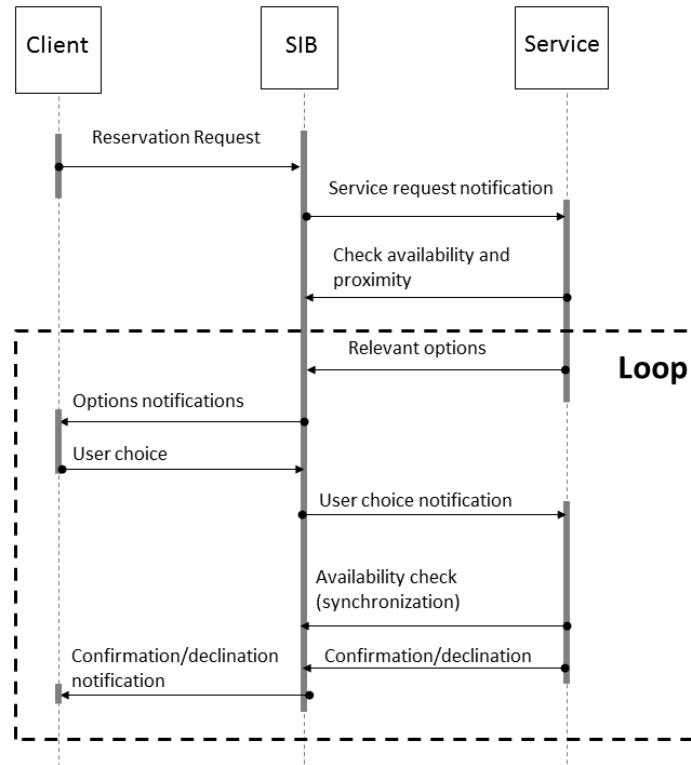


Figura 2.4: Sequence diagram che schematizza il protocollo di richiesta

- **ioe:hasRequestingVehicle**: il veicolo per cui è stata effettuata la richiesta. (ereditata)
- **ioe:hasRequestingUser**: l'utente che ha effettuato la richiesta.
- **ioe:hasGridConnectionPoint**: il GCP presso cui avverrà la ricarica. Malgrado vi si possa accedere tramite l'EVSE è stato inserito per semplificare le query SPARQL.
- **ioe:hasTotalPrice**: prezzo totale della ricarica.
- **ioe:hasGcpPosition**: posizione del GCP. Anche questa proprietà è stata aggiunta per semplificare le query SPARQL.

### Rimozione informazioni Hardcoded

Fino alla versione 1.5.11 dell'ontologia le informazioni relative ai GCP erano hardcoded nell'ontologia, scelta che all'inizio del progetto è stata dettata del poco tempo. Successivamente questo approccio si è rivelato fortemente limitante poiché la modifica dell'ontologia è un'operazione abbastanza tediosa e soprattutto poco flessibile.

Per di risolvere questo problema ho deciso di rimuovere questi dati dall'ontologia e inserirli all'interno di un file XML che viene caricato dal *City Service* (Sez. 2.5.4) e dal simulatore (Sez. 4) in fase di inizializzazione.

Grazie a questo approccio è diventato relativamente semplice impostare uno scenario del tutto diverso da quello previsto inizialmente dal progetto.

## 2.3 I Semantic Information Broker

I SIB sono alla base dell'infrastruttura semantica che caratterizza il progetto. I componenti del sistema (dal servizio cittadino, allo smartphone, all'EVSE ecc...) comunicano e rendono permanenti le informazioni grazie ad essi. L'architettura rimane sostanzialmente invariata da quella presentata da Federico Montori ([15]) nel suo progetto di tesi. Verrà comunque esposta al fine di comprendere il resto della trattazione e verranno evidenziate le variazioni apportate alla soluzione iniziale.

L'architettura proposta prevede 2 SIB: il *City SIB* e il *Dash SIB* e una sua schematizzazione è rappresentata in Fig. 2.5.

### 2.3.1 City SIB

Il *City SIB* è il SIB cittadino. Al suo interno vengono immagazzinate tutte le informazioni utili a caratterizzare uno scenario di mobilità elettrica veicolare. Si usa inoltre come interfaccia di scambio dati tra il *City Service* e gli agenti esterni. È infatti nel *emphCity SIB* che vengono scritti i messaggi che compongono i protocolli i quali vengono cancellati una volta terminati. L'area di copertura di tale SIB e di conseguenza del *City Service* è definita dalla classe dell'ontologia **ioe:Zone** anche se attualmente non viene utiliz-

zata poiché gli scenari proposti prendono in considerazione una città alla volta.

Per di poter rispondere alle richieste di prenotazione degli utenti il *City Service* contiene le informazioni relative a tutte le colonnine della zona che ricopre. Possiede inoltre le informazioni relative agli utenti e ai veicoli di competenza. Non contiene le informazioni relative alla batteria, contenute nel *Dash SIB* (2.3.2). Nell'architettura proposta nel progetto precedente gli utenti non erano previsti (2.2.5) per cui le informazioni relative ai veicoli si trovavano esclusivamente nella *Dash SIB*.

L'inizializzazione del *City SIB*, contrariamente a quanto avveniva in precedenza, viene eseguita dal servizio cittadino che inoltre il servizio cittadino si occupa di caricare le informazioni dei GCP da un file XML e di inserirle nel SIB (Sez. 2.5.4).

### 2.3.2 Dash SIB

Il *Dash SIB* è un SIB che dovrebbe essere integrato a bordo di ogni veicolo. Il suo scopo è tenere costantemente traccia dei parametri che caratterizzano posizione, stato della batteria e tutti gli altri parametri variabili che caratterizzano un veicolo. Per collegare questi dati a un veicolo la tripla che descrive un'istanza di **ioe:Vehicle** viene ripetuta anche su questo SIB.

Inizialmente si pensava che questo SIB sarebbe stato eliminato in un contesto reale in quanto i dati in esso contenuti sarebbero stati letti direttamente dal veicolo. Si è invece deciso di mantenerlo con la funzione di interfaccia comune per l'interrogazione dei dati. Ovvero le applicazioni che utilizzano i dati del veicolo, come ad esempio l'applicazione mobile, dovrebbero essere indifferenti alla sorgente dei dati (es: Veicolo Reale, Veicolo Simulato). Compito del programmatore è implementare un adattatore che scrive i dati in provenienti dalle varie fonti sul *Dash SIB*. Come vedremo più avanti (Cap. 3 e 4) grazie a questa tecnica si può controllare dallo smartphone un veicolo presente nel simulatore tenendone monitorati tutti i parametri. I veicoli del simulatore scrivono tutti sullo stesso *Dash SIB* in quanto sarebbe computazionalmente proibitivo e del tutto inutile fare altrimenti.

Poiché attualmente non esistono veicoli dotati di un SIB, in fase di test su veicolo reale (App. B) è stato necessario dotarsi di un computer a bordo che contenesse il *Dash SIB* dal quale l'applicazione mobile prelevava i dati.

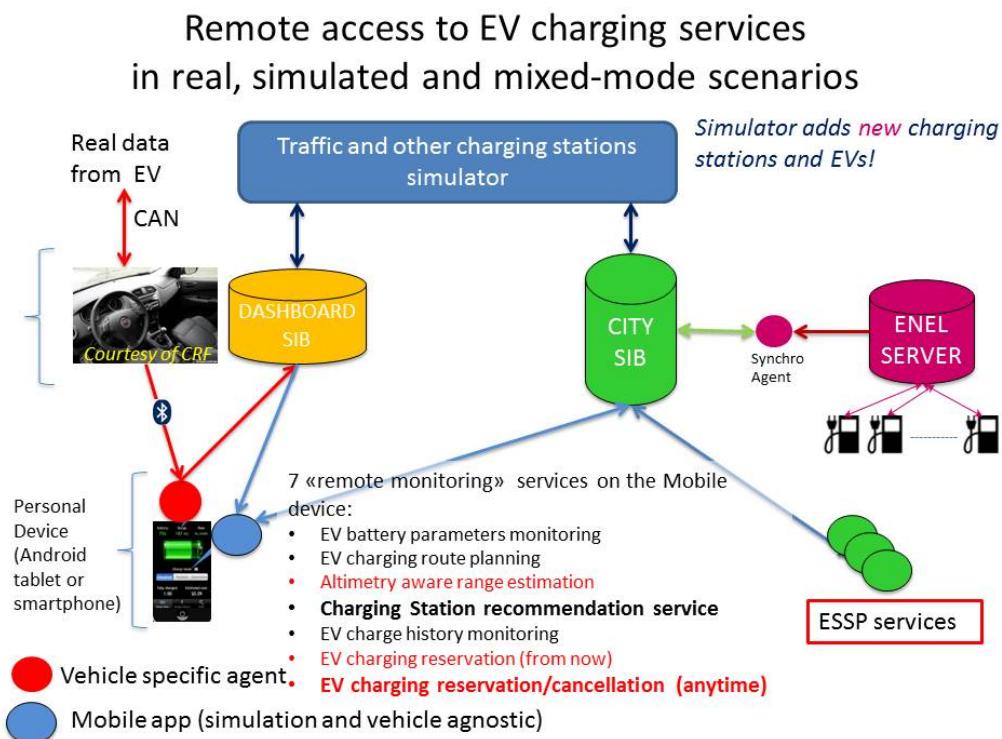


Figura 2.5: Architettura proposta per il progetto

## 2.4 La libreria IoE

Implementa la logica applicativa ovvero il nucleo operativo del nostro strato di servizi. È la base per qualunque applicazione che intenda interfacciarsi con il sistema in modo semplice ed efficace. Viene infatti sfruttata sia dal *City Service* che dall'applicazione mobile, da me sviluppati. Viene inoltre utilizzata da un visualizzatore di ricariche, nato da un progetto parallelo a questo, del cui sviluppo si è occupata una studentessa di Ingegneria.

### 2.4.1 Connessione al SIB

La connessione al *SIB* è implementata da una libreria Java (*JavaKPI*), sviluppata da ARCES, che fa uso del protocollo SSAP. Ho creato un wrapper di questa libreria che ne semplifica l'utilizzo e aggiunge alcune funzionalità: si trova nel package `it.unibo.ioe.sib`.

#### RdfTriple

La libreria *JavaKPI* rappresenta le triple RDF come vettore di Stringhe di 5 elementi (`Vector<String>`): soggetto, predicato, oggetto, tipo soggetto, tipo oggetto (dove con tipo si intende o un URI, ovvero un'altra istanza di classe dell'ontologia, oppure un letterale ovvero un dato diretto). Per semplificare la gestione delle triple RDF, che sono l'entità di base del *SIB*, ho creato la classe `RdfTriple` che possiede gli attributi `subject`, `predicate`, `object`, `subjectType`, `objectType` e i corrispettivi `getter` e `setter`.

#### KpConnector

La maggior parte delle operazioni che si possono eseguire con la libreria *JavaKPI* richiedono due passaggi: l'invio del comando e il parsing della risposta. Questo perché ogni operazione di interazione con il *SIB* avviene tramite messaggi XML conformi al protocollo SSAP. La libreria genera automaticamente il messaggio da inviare alla *SIB* ma lascia al programmatore l'onere di effettuare il parsing della risposta. Ho quindi mappato tutte le operazioni di interazione con la *SIB* all'interno della classe `KpConnector`.

La classe `KpConnector` svolge le operazioni di parsing anche sui messaggi di risposta. Anzichè i vettori di stringhe ho utilizzato istanze della classe `RdfTriple`. Inoltre ho sostituito le liste di triple (es: inserimento multiplo di triple, risultati di query SPARQL implementati con `Vector<Vector<String>`) con liste di oggetti di tipo `RdfTriple` (`List<RdfTriple>`). `RdfParser` è la classe che converte i tipi di dato usati dalla libreria *JavaKPI* nei tipi usati dal wrapper che ho implementato.

## KpFactory

La classe `KpConnector` necessita di indirizzo, porta e nome del SIB a cui ci si vuole connettere ai fini dell'utilizzo più generico possibile. Nel nostro caso però le connessioni avvengono sempre verso gli stessi due SIB (*City* e *Dash*), quindi ho creato una classe factory (`KpFactory`) che, noti i parametri di connessione necessari, crea due istanze di `KpConnector`, una per il *City SIB* e una per il *Dash SIB*. Quando è necessario connettersi ai SIB il factory restituisce gli oggetti precedentemente creati evitando quindi la creazione di istanze di oggetti inutili. Non essendo la libreria JavaKPI *thread-safe* viene comunque data la possibilità di creare nuove istanze nel caso si lavori in ambienti multi-thread. Questo aspetto verrà approfondito più avanti dove vedremo come, tramite la tecnica dei pool di oggetti, si può risparmiare il tempo necessario a creare nuove istanze.

### 2.4.2 Entities

Ogni classe dell'ontologia è stata mappata con una rispettiva classe Java (Entity) nel package `it.unibo.ioe.entity`. Per questa scelta architettonale mi sono ispirato all'ORM (Object Relational Mapping), tecnica di programmazione che favorisce l'integrazione di sistemi software aderenti al paradigma della programmazione orientata agli oggetti con sistemi RDBMS (Relational Database Management System).

#### Mapping

Ho realizzato un mapping molto semplice che tiene conto delle sole proprietà necessarie nello strato di servizi tralasciando alcuni dettagli, come l'unità di misura, che attualmente, malgrado siano previsti nell'ontologia, vengono dati per scontati a livello applicativo. Le proprietà delle classi che hanno come oggetto un letterale sono state mappate con tipi primitivi Java (`int`, `double`, `String` ecc..). Le proprietà che invece come oggetto hanno un'altra classe sono rappresentate come attributo avente come tipo l'Entity che corrisponde alla classe.

## Serializzazione

Alcune Entity sono state opportunamente annotate per poterle serializzate in XML tramite la tecnologia **JAXB**. Questo è risultato necessario nel caso dei GCP che vengono caricati da un file XML dal *City Service* che poi li inserisce nel SIB. Ogni classe inoltre implementa l'interfaccia **java.io.Serializable** per consentire il passaggio delle Entity tra le varie **Activity** dell'applicazione mobile.

**Esempio** La proprietà dell'ontologia **ioe:hasEVSE** ha come dominio **ioe:GridConnectionPoint** e come codominio **ioe:EVSE**. Inoltre tutte le classi dell'ontologia hanno al proprietà **ioe:hasName**.

Questo si traduce nell'Entity mostrato nel Lst. 2.1

```

1 @XmlRootElement(name = "GCP")
2 @XmlAccessorType(XmlAccessType.FIELD)
3 public class GCP implements Serializable {
4     @XmlTransient
5     private String URI;
6     private String gcpName;
7     @XmlElement(name = "EVSE")
8     private List<EVSE> evseList;
9     /* other properties*/
10    /* getter & setter*/
11 }
```

Listato 2.1: Entity di esempio

### 2.4.3 Controller

I **Controller** sono le classi delegate ad eseguire le operazioni **CRUD** (create, read, delete, update) con il SIB e si trovano nel package **it.unibo.ioe.controller**. Ne esiste uno per ogni Entity. Ogni **Controller** possiede un'istanza di **KpConnector** che realizza la comunicazione con il SIB.

**Lettura** Le operazioni di lettura si eseguono con una query SPARQL che preleva dal SIB le informazioni necessarie per poi inserirle in una nuova istanza di Entity la quale viene restituita all'utente.

**Scrittura** Le operazioni di scrittura ricavano una lista di triple RDF a partire da un'istanza di Entity. La lista di triple viene poi convertita in

una *SPARQL insert* per ridurre i dati inviati al SIB. L'operazione di conversione è eseguita da una funzione della classe **SibUtil**. Questa tecnica si rivela particolarmente utile quando si usa la libreria da un dispositivo mobile connesso a internet tramite rete cellulare (es: EDGE, GPRS, HSDPA ecc...). Si noti che tutte le Entity possiedono un campo **URI** che viene valorizzato nell'operazione di inserzione con l'URI assegnato all'istanza che si sta per scrivere sul SIB.

**Aggiornamento** Le operazioni di aggiornamento ricavano i dati aggiornati tramite una query SPARQL e andranno a sostituire quelli obsoleti all'interno di un istanza di Entity

**Rimozione** Le operazioni di rimozione lato *City Service* sono eseguite direttamente tramite *SPARQL delete*. Le operazioni di rimozione all'esterno (es. applicazione mobile) per motivi di sicurezza sono invece eseguite tramite richiesta al servizio cittadino il quale si occupa di effettuare la rimozione vera e propria.

## 2.5 Servizio Cittadino

Il servizio cittadino (*City Service* o CS) è il cuore dell'architettura software e supporta le interazioni tra gli EV e la Smart Grid. Lo scambio di informazioni avviene tramite il *City SIB* con la struttura dei messaggi definita all'interno dell'Ontologia.

### 2.5.1 Architettura

Il CS era già stato implementato da Federico Montori nel progetto precedente. Ho deciso di riscriverlo puntando ad una maggiore modularità e riusabilità. Ho quindi creato libreria di cui ho già trattato in Sez. 2.4 condivisa tra il servizio cittadino e l'applicazione mobile. La libreria fornisce i servizi di base per l'accesso al SIB con un approccio *Object Oriented* ai dati in essa contenuti. Questa scelta progettuale si rifà ai principi di Ingegneria del Software *High Cohesion* e *Low Coupling* [5]

### 2.5.2 La comunicazione con il City Service

In questa sezione si analizzano in dettaglio le modalità di comunicazione da e verso il servizio cittadino. Per ogni operazione esiste un protocollo basato su scambio di messaggi la cui struttura è definita mediante classi dell'ontologia. Attualmente le uniche operazioni supportate sono la richiesta di prenotazione e la richiesta di ritiro di prenotazione.

Lo scambio dei messaggi è implementato tramite il meccanismo delle Subscription messo a disposizione dal SIB. Questo comporta che i messaggi si scrivano sul SIB cittadino che manda una notifica al KP sottoscritto a quella particolare modifica. Ne consegue un protocollo di comunicazione asincrono.

#### Protocollo di richiesta di prenotazione

Descriverò i passaggi necessari al completamento del protocollo di richiesta di prenotazione con particolare attenzione ai messaggi vengono scambiati. Il fine della prenotazione è la certezza di trovare l'EVSE libero quando andremo a caricarci. Come già detto in precedenza, i tempi di ricarica per i veicoli elettrici possono essere molto lunghi. È quindi necessario dare all'utente la certezza che potrà ricaricare il suo veicolo senza il rischio di terminare la carica della batteria.

- 1 Richiesta di Prenotazione:** quando l'utente necessita di fare una ricarica inserisce una richiesta nel SIB. La richiesta è descritta dalla classe dell'ontologia **ioe:ChargeRequest**.
- 2 Risposta da parte del City Service:** il servizio cittadino è sottoscritto all'inserimento di nuove istanze di **ioe:ChargeRequest**. Quindi quando si inserisce la richiesta, il CS riceve una notifica che ne contiene l'URI dal quale può ricavare i parametri che la compongono. A questo punto viene creata una lista di opzioni di ricarica conformi alla richiesta dell'utente compatibilmente con la disponibilità degli EVSE. Le opzioni di ricarica sono classi di tipo **ioe:ChargeOption** e vengono inserite dentro a una classe di tipo **ioe:ChargeResponse**.
- 3 Conferma da parte dell'utente:** L'utente che è sottoscritto all'inserimento di nuove istanze della classe **ioe:ChargeResponse** viene av-

visato dal SIB quando il CS inserisce la risposta. Le opzioni di ricarica vengono analizzate dall'utente che sceglierà quella più consona alle sue esigenze. La scelta viene notificata al sistema tramite inserimento di una tripla così formata: `[ioe:chargeOptURI ioe:confirmByUser true]` presupponendo che `ioe:chargeOptURI` sia un'istanza di `ioe:ChargeOption`.

- 4 **Conferma da parte del City Service:** Il servizio cittadino, iscritto all'inserimento di triple aventi come predicato `ioe:confirmByUser`, verifica se l'opzione selezionata è ancora disponibile e in tal caso inserisce la tripla: `[ioe:chargeOptURI ioe:confirmBySystem true]`.
- 5 **Acknowledgment da parte dell'utente:** L'utente riceve la notifica della conferma da parte di CS. Se l'opzione è confermata il CS invia una tripla di Acknowledgment `[ioe:userURI ioe:ackByUser true]`. Altrimenti può provare con un'altra opzione e il protocollo riprende dal punto 3.
- 6 **Creazione Prenotazione:** Il CS, ricevuto l'acknowledgment dall'utente, "blocca" l'EVSE nella finestra di tempo richiesta creando un'istanza della classe `ioe:Reservation`. Inoltre cancella dal SIB tutte le triple necessarie allo svolgimento del protocollo che, una volta terminato, diventano inutili.

### 2.5.3 Il Protocollo di rimozione di una prenotazione

Una volta completata la procedura di prenotazione l'EVSE diventa inagibile nella finestra di tempo richiesta dall'utente. Per ritirare la prenotazione l'utente deve inviare una richiesta al CS. Attualmente il servizio cittadino rimuove semplicemente dal SIB i dati relativi alla prenotazione rendendo nuovamente disponibile la ricarica. In futuro il servizio potrà stabilire, in base a regole dettate dai gestori della rete elettrica, se accettare o meno la richiesta ed eventualmente accreditare una penale all'utente.

Come nel caso precedente il protocollo si basa su cambio di messaggi.

1. **Richiesta ritiro Prenotazione:** l'utente inserisce nel SIB cittadino un'istanza della classe `ioe:ReservationRetire`

2. **Ritiro della Prenotazione:** il CS, ovviamente era sottoscritto alla creazione di nuove istanze di `ioe:ReservationRetire`, provvede a rimuovere dal SIB le triple relative alla Prenotazione.
3. **Notifica avvenuta cancellazione:** attualmente l'utente per accertarsi dell'avvenuta cancellazione deve sottoscriversi ai cambiamenti relativi all'URI della prenotazione che sta cancellando.

#### 2.5.4 Implementazione

In questa sezione discuteremo i dettagli implementativi del *City Service*, dalle tecnologie usate alle scelte architettoniche. Principalmente il servizio cittadino deve essere altamente performante in quanto, una vota a regime, deve essere in grado di soddisfare le richieste di centinaia se non migliaia di utenti. Contemporaneamente bisogna controllare che l'elevato parallelismo di thread gestiti dal CS non intacchi l'integrità dei dati residenti sul SIB cittadino per evitare ad esempio che due persone che prenotano nello stesso momento e nello stesso EVSE riescano entrambe a completare la procedura di prenotazione.

Il servizio è scritto interamente in Java. Questo lo rende multi piattaforma, facile da *debuggare* e soprattutto consente l'uso di utilità estremamente versatili riguardo al multi-threading rese disponibili dal linguaggio. Inoltre permette di accedere alla moltitudine di librerie scritte per le più disparate necessità. Tra queste troviamo *log4j*, un robusto quanto versatile sistema di logging che permette di tenere costantemente sotto controllo l'esecuzione del servizio con vari gradi di granularità del log.

Per rendere il servizio più performante possibile si sono adottate tecniche di programmazione quali: pool di oggetti, pool di thread, e caching delle risorse.

#### Pool Di Oggetti

Per effettuare le connessioni al SIB cittadino è necessario istanziare oggetti di tipo **KpConnector**. Inoltre per effettuare il parsing delle risposte alle sottoscrizioni sono necessari oggetti di tipo **SSAP\_XMLTools** forniti dal-

la libreria JavaKPI. Come anticipato nella Sez. 2.5.4 il CS deve supportare connessioni multiple simultanee, ognuna delle quali dialogante con il SIB. Dal momento che ne la libreria JavaKPI ne wrapper da me creato sono thread-safe, è necessario istanziare un oggetto **KpConnector** per ogni connessione insieme a uno di tipo **SSAP\_XMLTools** per *parsare* i risultati delle sottoscrizioni.

Per evitare che all'avvio di ogni connessione venisse creato un oggetto **KpConnector**, operazione assai onerosa, ho optato per la tecnica dei pool di oggetti. Questa consiste nel creare un numero sufficiente di istanziare oggetti all'inizio dell'applicazione e quando ne serve uno lo si chiede al pool che lo fornisce nel tempo di una *chiamata a metodo*. Terminato l'uso dell'oggetto lo si restituisce al pool che lo renderà disponibile ad un altro richiedente. Così si evita il delay necessario a instanziare una connessione con il SIB ogni volta che si esegue una richiesta al CS.

Aggiungo che, viste le ottimizzazioni delle moderne *Java Virtual Machine* e dei *Garbage Collector* per quanto riguarda gli oggetti con breve durata, questa tecnica può rischiare di abbassare le performance anziché aumentarle [20]. Resta comunque vantaggiosa nel caso di oggetti la cui creazione potrebbe risultare abbastanza onerosa come nel caso delle connessioni ai database o alla rete.

Il cuore di questo sistema è la classe **ObjectPool<T>** ([21]) che troviamo nel package **it.unibo.cityservice.pool** che rappresenta un pool di oggetti di tipo **T**. Questa classe contiene un metodo astratto, **createObject()**, che va implementato nelle sottoclassi con la logica di creazione dell'oggetto di cui vogliamo creare il pool.

Nel mio caso ho creato **XmlToolsPool** e **CitySibPool** e a titolo esemplificativo mostrerò l'implementazione del primo nel List. 2.2:

```
1 public class XmlToolsPool extends ObjectPool<SSAP_XMLTools>{
2
3     public XmlToolsPool(final int minIdle) {
4         super(minIdle);
5     }
6
7     @Override
8     protected SSAP_XMLTools createObject() {
9         return new SSAP_XMLTools();
10    }
11 }
```

Listato 2.2: Implementazione di ObjectPool

Evidenzio la semplicità di creazione di un pool per un determinato tipo di dato. Creato il pool, per interagire con esso, si usano i seguenti metodi:

- **public T borrowObject():** preleva un oggetto dal pool.
- **public void returnObject(T object):** restituisce un oggetto al pool.

## Pool Di Thread

Analizzeremo ora più in dettaglio i pool di thread e le problematiche che questi risolvere. L'uso di thread può creare problemi in termini di performance in quanto la creazione e distruzione di questo oggetti è abbastanza onerosa. Risulta inoltre critico il controllo del numero dei thread creati ai fini della scalabilità ([19]).

È quindi necessario ricorrere alle classi del package **java.util.concurrent** che implementano l'interfaccia **Executor**. In questo caso sono state utilizzate istanze dell'interfaccia **ExecutorService** che mette a disposizione metodi volti a controllare il ciclo di vita del pool.

L'inizializzazione degli **ExecutorService** avviene tramite l'invocazione di un metodo statico della classe **Executors** che specifica la dimensione del pool che si vuole creare. Quando invece si vuole assegnare un compito ad uno dei thread del pool si usa il metodo **execute** che prende in ingresso un'istanza dell'interfaccia **Runnable** (List. 2.3).

```

1 ExecutorService pool = Executors.newFixedThreadPool(30);
2 pool.execute(new Runnable() {
3     @Override
4     public void run() {
5         System.out.println("hello world");
6     }
7 });

```

Listato 2.3: Creazione Pool di Thread

### Il funzionamento del City Service

Come visto nella sezione 2.5.2 il servizio cittadino deve gestire un gran numero di messaggi ad ogni tipologia dei quali corrisponde una sottoscrizione al SIB cittadino. Inoltre per poter rispondere alle richieste degli utenti il CS deve disporre delle informazioni relative a tutti gli EVSE.

**Inizializzazione** Il CS all'avvio compie innumerevoli compiti. Contrariamente a quanto avveniva in precedenza, dove i GCP erano codificati nell'ontologia e l'ontologia stessa veniva caricata da un programma esterno, ho scelto di delegare le inizializzazioni al CS col fine di semplificarne lo sviluppo. Infatti in precedenza ad ogni riavvio del servizio era necessario “killare” manualmente il SIB e riavviarlo per ottenere una situazione di partenza pulita. Il caricamento dell'ontologia avviene tramite una libreria da me sviluppata, *OntologyLoader*, che a sua volta si appoggia alle librerie Apache Jena ([10]). In ambito di produzione, ovviamente, il servizio cittadino non eliminerebbe i dati e nemmeno ricaricherebbe quelli già presenti.

Di seguito una lista dettagliata delle operazioni eseguite dal CS in fase di inizializzazione:

- **Lettura file di configurazione:** cerca il file di configurazione `cityservice.properties` dal quale carica le informazioni del SIB cittadino, il nome dell'ontologia, il nome del file contenente i GCP.
- **Scrittura Ontologia:** l'ontologia viene scritta nel SIB cittadino.
- **Caricamento Informazioni GCP:** le informazioni di tutte le stazioni di ricarica presenti in città vengono estratte da un file XML. Le stesse

informazioni vengono inserite nel SIB per di poterle condividere con le altre entità del sistema.

- **Creazione Pool:** vengono creati i pool di thread e di oggetti.
- **Sottoscrizioni:** il CS si sottoscrive alle informazioni deve rimanere aggiornato. Sostanzialmente ci si assicura che arrivino le notifiche per i messaggi descritti nella sezione 2.5.2:
  1. Creazione di nuove istanze di `ioe:ChargeRequest`
  2. Inserimento di triple contenenti il predicato `ioe:confirmByUser`
  3. Inserimento di triple contenenti il predicato `ioe:ackByUser`
  4. Creazione di nuove istanze di `ioe:ReservationRetire`

**Gestione delle richieste** Quando il CS effettua una sottoscrizione nel SIB, oltre a definire l'oggetto della sottoscrizione, deve definire un *handler* che verrà eseguito all'occorrenza del cambiamento di interesse. Come visto nella sezione 2.5.2 vengono effettuate 4 sottoscrizioni per ognuna delle quali si definisce lo stesso *handler* che lancia un thread istanza della classe **RequestDispatcher**. Questo si occupa semplicemente di gestire la richiesta e di eseguire un altro thread, anch'esso contenuto in un pool, che la soddisfi.

**Sessioni** Per ottenere un ulteriore incremento di performance ho introdotto il concetto di sessione. La sessione inizia quando il CS riceve la richiesta e termina quando riceve l'acknowledgment. Scopo della sessione è il mantenimento di una cache dei dati che vengono scambiati per risparmiare query SPARQL, molto onerose in termini di performance, e di dare un limite temporale alle sessioni stesse. La classe che si occupa di gestire le sessioni è **SessionManager** mentre la sessione è rappresentata dalla classe **Session**.

All'interno della sessione vengono salvate le seguenti informazioni:

- **chargeRequest:** un'istanza dell'entity `ChargeRequest` ricevuta all'utente.
- **chargeResponse:** un'istanza dell'entity `ChargeResponse` inviata all'utente.

- **reservation:** Un’istanza dell’entity **Reservation** creata in seguito alla conferma dell’utente.
- **startTime:** il momento in cui inizia la sessione.
- **endTime:** il momento in cui termina la sessione che corrisponde all’arrivo dell’acknowledgment dell’utente.

La classe **SessionManager** possiede un timer che a tempo prefissato lancia un thread di controllo delle sessioni attive. Una sessione attiva da un tempo eccessivo indica che probabilmente c’è stato un problema: vengono quindi rimossi dal SIB tutti i dati relativi alla sessione, compresa la prenotazione.

**Prenotazioni** La gestione delle prenotazioni, una volta che sono state create e confermate dall’utente, è delegata alla classe **ReservationManager**. Al suo interno vengono salvate in una cache le istanze di **Reservation** create. All’arrivo di una nuova richiesta di prenotazione la verifica della disponibilità viene fatta su questa cache anziché sul SIB per ridurre gli accessi al database e il successivo parsing delle risposte. Poiché l’uso di questa classe è altamente concorrente, in quanto possono accedervi molti thread contemporaneamente, viene utilizzata una mappa thread-safe resa disponibile da java **ConcurrentHashMap**. Inoltre le operazioni di verifica di disponibilità delle prenotazioni sono atomiche a livello di EVSE grazie a un lock per ognuna di esse.

**Thread** Cinque classi diverse implementano l’interfaccia **Runnable**. Ognuna delle quali ha il compito di gestire un preciso aspetto dei protocolli di richiesta. Ovviamente c’è un pool di esecuzione per ognuna di esse.

- **RequestDispatcher:** è il thread che si occupa di smistare le richieste agli altri esecutori. Viene eseguito ogni volta che arriva una notifica da una sottoscrizione. La decisione avviene in base all’ID della sottoscrizione assegnato in fase di inizializzazione ed salvato all’interno di variabili globali. Il codice del corpo di questo thread è mostrato nel listato 2.4 dove si nota chiaramente l’utilizzo del pool di oggetti e dei pool di thread nonché del **logger**. Questo approccio viene usato anche

per gli altri thread con l'aggiunta del reperimento dei **KpConnector** dal relativo pool.

- **ChargeRequestHandler:** viene eseguito quando un utente inserisce un istanza di **ioe:ChargeRequest** nel SIB. ricava l'URI dalla sottoscrizione e con l'apposito controller **ChargeRequestController** la trasforma in un Entity Java istanza della classe **ChargeRequest**. I passaggi che dalla richiesta elaborano una risposta sono i seguenti:
  1. Controllo di coerenza della richiesta. Se non è valida viene inviata una risposta vuota, altrimenti si procede con il resto delle operazioni.
  2. Viene creata un istanza di **Session** gestita dalla classe **Session Manager**.
  3. Scelta dei GCP che si trovano nell'area scelta dall'utente tramite la libreria **UniboGeoTools**.
  4. Vengono ciclati tutti gli EVSE appartenenti ai GCP selezionati.
  5. Per ogni EVSE si ricavano gli slot di tempo compatibili con la fascia oraria e la quantità di carica richieste dall'utente.
  6. Viene generata la risposta istanza dell'Entity **ChargeResponse**. Per minimizzare lo scambio di dati attraverso la rete, soprattutto per non penalizzare i dispositivi mobili, le risposte vengono filtrate. Vengono inviate le opzioni di ricarica provenienti dai 5 GCP più vicini e ne vengono scelte al massimo 2 per ogni EVSE.
  7. La risposta viene trasformata in triple e inserita nel SIB tramite la classe **ChargeResponseController**.
- **ConfirmByUserHandler:** il thread viene invocato quando l'utente sceglie un'opzione di ricarica e semplicemente controlla che sia ancora disponibile. In tal caso crea la prenotazione affinché che nessun altro utente possa usare la colonnina nell'orario richiesto. Si noti che l'istanza di **ChargeOption** viene reperita dalla cache contenuta nella sessione anziché tramite query SPARQL e che l'istanza di **Reservation** viene salvata nel gestore di prenotazioni **ReservationManager**.

- **AckByUserHandler:** il thread viene invocato quando l'utente conferma l'opzione di ricarica. A questo punto il protocollo può considerarsi terminato e quindi vengono eliminate dal SIB tutte le informazioni che lo riguardano. L'unica informazione che rimane è un'istanza di **ioe:Reservation** nel SIB.
- **RetireReservationHandler:** si occupa semplicemente di eliminare le istanze di **ioe:Reservation** dal SIB e le corrispondenti informazioni dalla cache contenuta in **ReservationManager**.

```

1 SSAP_XMLTools xmlTools = xmlToolsPool.borrowObject();
2 String subscriptionID = xmlTools.getSubscriptionID(subscribeResult);
3
4 if (chargeRequestSubId.equals(subscriptionID)) {
5     chargeRequestExecutor.execute(new ChargeRequestHandler(subscribeResult));
6 } else if (confirmByUserSubId.equals(subscriptionID)) {
7     confirmByUserExecutor.execute(new ConfirmByUserHandler(subscribeResult));
8 } else if (ackByUserSubId.equals(subscriptionID)) {
9     ackByUserExecutor.execute(new AckByUserHandler(subscribeResult));
10 } else if (retireReservationSubId.equals(subscriptionID)) {
11     retireReservationExecutor.execute(new RetireReservationHandler(subscribeResult));
12 } else {
13     logger.error("Unexpected subscription id: " + subscriptionID);
14 }
15
16 xmlToolsPool.returnObject(xmlTools);

```

Listato 2.4: Corpo di RequestDispatcher

### 2.5.5 Testing

Un aspetto fondamentale nello sviluppo del *City Service* è stato l'integrazione con test di unità che ne hanno assicurato la continuità di funzionamento durante le fasi di modifica e sviluppo.

Il framework utilizzato per eseguire il testing è **junit4**, un ottima libreria Java che tramite il meccanismo delle annotazioni permette di scrivere ed eseguire i test in maniera semplice ed efficace.

I test sono stati determinanti non solo per assicurare la stabilità del codice ma anche per testare le performance del sistema, soprattutto del SIB.

## Test Protocolli

Per testare i protocolli ho implementato un thread che svolgesse tutte le operazioni necessarie per completare una richiesta di prenotazione e il suo ritiro. L'incapsulamento della logica del protocollo di richiesta all'interno di un thread permette di fatto l'esecuzione multipla delle sue istanze simulando quindi l'interazione di molteplici utenti. La classe delegata a svolgere questo compito è **ChargeProtocolTest** nel packacge **it.unibo.ioe.cityservice.chargeprotocol** situato nella cartella di test. All'interno di questa classe si trova una inner-class, **ReservationProtocol**, che implementa **Runnable** rendendo quindi possibile la sua esecuzione all'interno di un thread separato.

Per simulare le attese dell'utente ho usato il meccanismo dei lock. Ogni fase del protocollo ha un lock dedicato acquisito subito dopo l'invio del messaggio (List. 2.5) che viene rilasciato al momento dell'esecuzione dell'handler associato alla sottoscrizione della risposta (List. 2.6).

```

1 chargeRequestController.insertChargeRequest(request);
2 synchronized (chargeResponseLock) {
3     try {
4         chargeResponseLock.wait();
5     } catch (InterruptedException ex) {
6         logger.error(ex.getMessage(), ex);
7     }
8 }
```

Listato 2.5: Inserimento della **ChargeRequest** e attesa della risposta

```

1 String subscriptionID = xmlTools.getSubscriptionID(xml);
2 if (chargeResponseSubId.equals(subscriptionID)) {
3     [...]
4     chargeResponsesUri = subscriptionResult.get(0);
5     synchronized (chargeResponseLock) {
6         chargeResponseLock.notify();
7     }
8 }
```

Listato 2.6: Handler associato al messaggio di risposta

L'opzione di ricarica viene scelta in modo casuale tra quelle fornite. Se viene confermata dal sistema il thread ne preleva la corrispondente istanza di **Reservation** creata e controlla che i parametri in essa contenuti siano coerenti con quelli dell'opzione scelta.

Tutti i dati scambiati dal protocollo vengono testati. Se uno di essi fallisse causerebbe l'interruzione del protocollo. A tal fine **junit** rende disponibili una serie di funzioni che permettono di fare asserzioni di ogni tipo per la validazione dei dati. Queste funzioni iniziano con il prefisso **assert** di cui si vede un esempio nel listato 2.7.

```
1 response = chargeResponseController.findChargeResponse(chargeResponsesUri);
2 assertEquals(request.getUri(), response.getChargeRequestUri());
```

Listato 2.7: Risposta ricavata a partire dall'uri, test del risultato

## Valutazione Performance

L'esecuzione di molteplici istanze del protocollo di richiesta è stato determinante per testare le performance del sistema. Ha permesso infatti di capire quante richieste contemporanee potessero essere servite e quali fossero i colli di bottiglia. Ho infatti rilevato che, raggiunto un certo numero di connessioni simultanee, il SIB allungava i tempi di risposta fino a far scattare il **socket-timeout** della libreria JavaKPI in quanto, come indicato nella Sez. 2.1.1, il SIB comunica con l'esterno tramite protocollo TCP/IP. Questo ha portato a trovare un bug che affliggeva il SIB stesso il quale, una volta interrotta brutalmente la connessione con il socket di JavaKPI, dava seri problemi di memory-leak come si può ben vedere in Fig. 2.6. Ho preso l'immagine dal mio computer e l'ho inviata agli sviluppatori di Smart-M3-B per evidenziare il problema. Si nota chiaramente che nel momento che precedeva *l'uccisione* del SIB erano allocati circa 8GB di Ram e 3Gb di Swap. Il problema è stato risolto e la versione attuale (0.901) ne è esente.

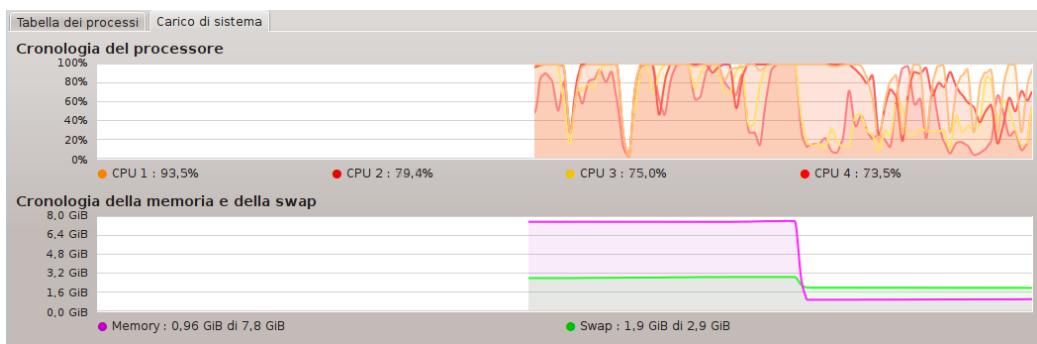


Figura 2.6: Memory Leak del SIB che avveniva quando la connessione viene interrotta da un socket-timeout

L’insorgere del problema ha richiesto l’ottimizzazione delle performance e ho quindi deciso di limitare il numero di risposte fornite dal servizio cittadino (Par. 2.5.4) poiché causava un ingente traffico di dati da e verso il SIB. Un’altra ottimizzazione apportata in seguito al problema è stata la trasformazione di INSERT di triple in query SPARQL: grazie all’uso dei prefissi al posto degli URL interi, si è ottimizzato notevolmente il volume di dati scambiato, con notevoli vantaggi durante l’uso nell’applicazione mobile.



# Capitolo 3

## Applicazione Mobile

In questo capitolo verrà presentato un esempio di applicazione mobile in grado di connettersi al CS e di eseguire le operazione di prenotazione e ritiro delle ricariche. Scopo dell'applicazione è permettere all'utente di interagire con la smart-city per ridurre le problematiche derivanti dall'utilizzo di veicoli elettrici. La comunicazione avviene mediante i protocolli visti nella Sez. 2.5.2.

Inizialmente era possibile eseguire solo operazioni di prenotazione e cancellazione di ricariche e il funzionamento era subordinato alla presenza del simulatore. Il funzionamento è stato ampliato con la possibilità di connettersi tramite Bluetooth a un veicolo reale, opportunità concessa dal *Centro Ricerche Fiat* (CRF).

A questo ho aggiunto la possibilità di analizzare il profilo altimetrico che separa il dispositivo mobile da un determinato EVSE per consentire previsioni più accurate sui consumi necessari a raggiungerlo.

### 3.1 Architettura

La piattaforma scelta per lo sviluppo è Android, versione 4.0.3 o superiori, in quanto vantano maggiori performance e un interfaccia utente più gradevole e facile da programmare. La libreria di base per interfacciarsi con il SIB è quella esposta nella sezione 2.4.

La comunicazione con il CS avviene tramite scambio di messaggi con il *City SIB*, mentre le informazioni relative al veicolo, in particolar modo se quest'ultimo è simulato, giungono dal *Dash SIB*. È possibile collegare l'applicazione ad un veicolo reale che sia provvisto della tecnologia Blue&Me di Fiat. I dati del profilo altimetrico sono ottenuti tramite una libreria, UniboGeoTools (App. C), che ho sviluppato appositamente per l'occasione.

### 3.1.1 Android

Malgrado Android sia ampiamente conosciuto penso sia necessario spendere qualche parola per introdurre i concetti che stanno alla base della programmazione di applicazioni basate su questo sistema operativo per una maggiore comprensione del resto della trattazione.

Android è un sistema operativo Linux-based, Open Source, orientato all'utilizzo su dispositivi mobili anche se negli ultimi anni sta prendendo sempre più piede all'interno di smart-tv, dispositivi embedded, mini computer ecc...

La programmazione di applicazioni avviene attraverso una versione ad-hoc del linguaggio Java che, seppur eseguita su una virtual machine diversa dalla JVM (Dalvik), ne mantiene quasi tutte le caratteristiche e la libreria di base. Naturalmente oltre alla libreria standard vengono fornite le API che permettono l'interfacciamento con le funzionalità di Android.

#### Activity

Le Activity sono uno degli elementi centrali della programmazione di applicazioni Android ([14]). In genere un Activity rappresenta una singola schermata della nostra applicazione. Le applicazioni possono definire una o più Activity per trattare diverse fasi del software, e generalmente ognuna di esse corrisponde ad un'azione specifica che può essere eseguita dall'utente.

In un determinato istante ci può essere una sola Activity attiva. Mentre quelle non attive possono essere terminate in qualunque momento dal sistema operativo per recuperare memoria. Il programmatore deve quindi prevedere per ogni Activity il codice necessario a salvarne lo stato per consentirne il ripristino in caso di necessità. Come si può vedere in figura 3.1a le Activity di Android hanno un ciclo di vita abbastanza complesso.

## Service

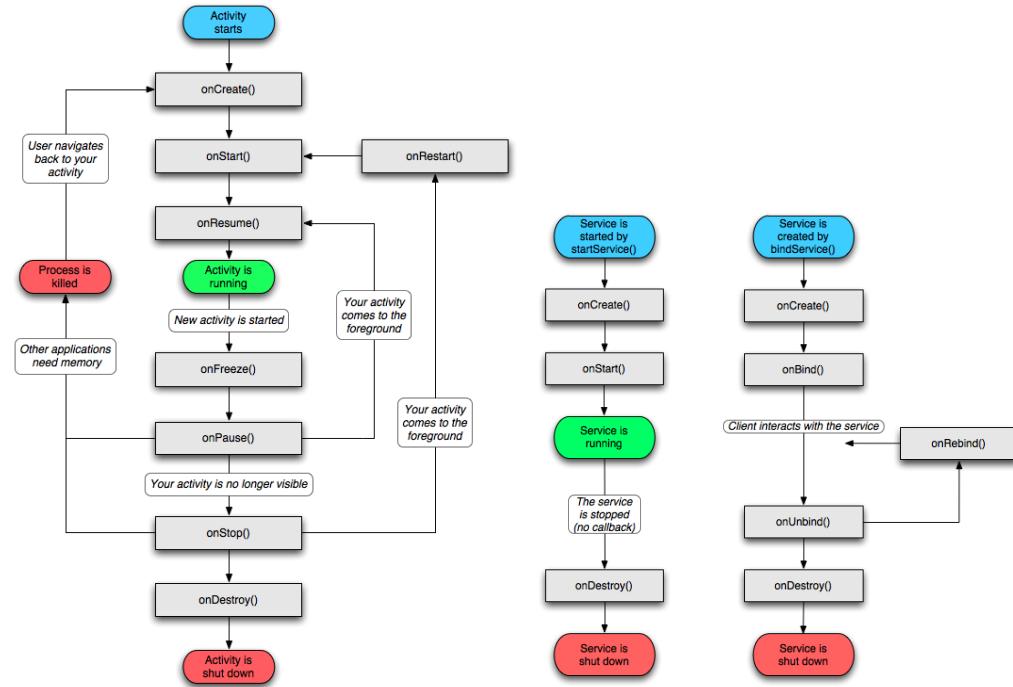
Un Service è un processo che gira in background (concetto molto simile al daemon in ambiente Unix) e può essere avviato e comandato da Activity o altri Service. La classe Service viene utilizzata per creare componenti software che possono svolgere attività in modo “invisibile”, senza interfaccia utente.

Un Service può trovarsi in due stati([8]):

- **Started:** un servizio si trova in questo stato quando viene invocato il metodo startService() e gira in background per un tempo indefinito o finché il componente che lo ha invocato non viene distrutto (Fig. 3.1b sinistra).
- **Bounded:** un servizio si trova in questo stato quando si invoca il metodo bindService(). I servizi di questo tipo offrono un’interfaccia per la comunicazione client-server, affinché le componenti che invocano il servizio possono interagire con esso. In questo caso il servizio è attivo solo finché le componenti sono associate con esso (Fig. 3.1b destra).

Un Servizio avviato ha una priorità più alta rispetto ad Activity in stato di inattività. Un Service ha quindi minore probabilità di essere terminato dal gestore delle risorse di Android. L’unica ragione per cui Android potrebbe fermare un Service prematuramente è per fornire risorse addizionali al componente software in primo piano (normalmente una Activity).

I servizi vengono avviati nel thread principale del processo. Ne consegue che se eseguissero operazioni bloccanti o ad alto consumo di risorse potrebbero portare al blocco dell’intero processo facendo generare ad Android un errore del tipo: “Application Not Responding”. Per evitare questo è bene far gestire il servizio in un thread separato.



(a) Ciclo di vita di un Activity Android (b) Ciclo di vita di un Service Android

Figura 3.1: Ciclo di vita Activity e Service Android

### 3.1.2 Blue&Me

Il Blue&Me è il risultato di un accordo tra Fiat Auto e Microsoft con l'obiettivo di progettare sistemi telematici innovativi per l'automotive, presentato nel 2006 ([1]). Basato sulla piattaforma Windows Embedded Automotive (connubio del sistema operativo Windows CE con il middleware Microsoft Auto) è sviluppato da Magneti Marelli, azienda del gruppo FIAT, in collaborazione con Microsoft ([24]).

Blue&Me è un sistema viva voce con tecnologia Bluetooth, riconoscimento vocale, lettore multimediale con presa USB e comandi al volante. Fiat Auto e Microsoft, con il supporto di Magneti Marelli, offrono una piattaforma adattabile alla maggior parte dei telefoni cellulari e lettori musicali. Il sistema si interfaccia con il cellulare mediante la tecnologia Bluetooth e permette al guidatore di rispondere al telefono senza tenerlo in mano.

La funzionalità del Blue&Me più appetibile per i nostri scopi è il monitoraggio dei parametri del veicolo. Nel progetto ho lavorato con un prototipo di Fiat Daily elettrico opportunamente modificato per trasmettere i dati della batteria tramite tecnologia Bluetooth. La connessione è stata possibile grazie alle librerie rese disponibili dal CRF unitamente ad un efficace esempio applicativo. Fiat è infatti uno dei partner del progetto IoE.

L'interazione con il Blue&Me è di tipo push: ogniqualvolta la centralina della macchina rileva che un dato è variato (in base ad una determinata soglia) allora “scrive” invia tramite interfaccia Bluetooth. Questo implica dall'altro lato dell'interfaccia deve esserci un processo dedicato alla lettura delle informazioni che arrivano dal Blue&Me. Nella libreria fornita da Fiat è disponibile un Service Android adatto allo scopo.

### 3.1.3 Profilo Altimetrico e Consumo Energetico

Grazie allo sviluppo di un apposita libreria, UniboGeoTools (App. C), l'applicazione preleva i dati relativi al profilo altimetrico dell'utente rispetto ad una determinata destinazione ed esegue una valutazione del consumo energetico necessario a superare il relativo dislivello. Le informazioni relative al consumo energetico sono approssimative ma forniscono comunque un'indicazione valida all'utente che, se rileva che l'energia necessaria a superare il dislivello, è maggiore di quella disponibile nella batteria, sa con certezza che non potrà raggiungere la destinazione desiderata.

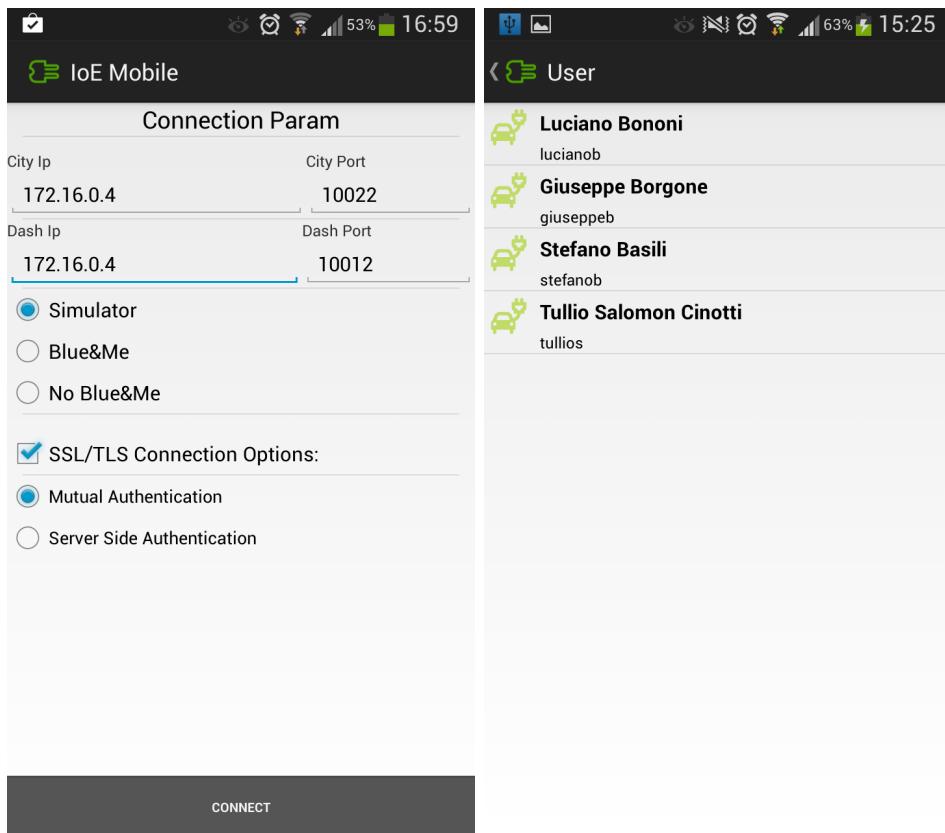
La libreria UniboGeoTools possiede anche funzioni utili per determinare il percorso stradale tra due punti. Si sono rivelate particolarmente utili per mostrare i percorsi sulla mappa e la distanza precisa che separa l'utente, ad esempio, da una colonnina di ricarica.

## 3.2 Modalità di esecuzione

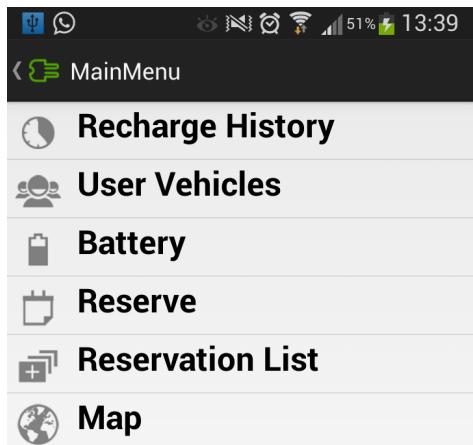
Per adattarsi a tutti gli scenari possibili l'applicazione offre molteplici modalità di esecuzione selezionabili nella schermata iniziale come esposto nella figura 3.2a

### 3.2 Modalità di esecuzione

### 3. Applicazione Mobile



(a) Schermata Principale



(b) Selezione Utente



(c) Menu Principale

(d) Selezione Veicolo

### 3.2.1 Simulazione

Questa modalità permette di assumere il controllo di un veicolo contenuto nel simulatore. Questo deve essere avviato specificando un parametro che genera la scrittura dei dati relativi ai veicoli sul *Dash SIB*. Ciò implica che, premuto il pulsante *Connect*, (Fig. 3.2a), bisogna selezionare “Luciano Bononi” ovvero l’utente di default usato dai veicoli del simulatore (Fig. 3.2b). Da questo momento l’applicazione non diverge molto dalla modalità di esecuzione con Blue&Me salvo il fatto che le azioni intraprese avranno ripercussioni sul simulatore e non sul mondo reale.

### 3.2.2 Con Blue&Me

Questa modalità viene usata in un contesto reale e richiede la presenza di un veicolo equipaggiato la tecnologia Blue&Me di Fiat. Le informazioni relative alla batteria vengono prelevate tramite Bluetooth e scritte nel *Dash SIB* per i motivi di interoperabilità spiegati nella Sez. 2.3.2. Le informazioni relative al GPS, non fornite dal veicolo, vengono prelevate dal GPS (o altre fonti) fornito dallo smartphone.

### 3.2.3 Senza Blue&Me

Questa modalità d’uso è rivolta principalmente a chi vuole svolgere le attività di interazione con il CS senza essere a bordo del proprio veicolo. Questo comporta l’assenza della *Dash SIB*: se invocata viene infatti inibita la scelta dei suoi parametri con conseguente inibizione del monitoraggio dei parametri del veicolo e relativa disabilitazione nel menu principale. Anche se la *Dash SIB* fosse situata sul cellulare anziché sul veicolo risulterebbe comunque inservibile poiché il veicolo risulterebbe fuori portata o spento. Si possono comunque svolgere le operazioni di prenotazione e ritiro delle ricariche mantenendo monitorato lo stato di quelle già effettuate nonché la disponibilità di consultazione della mappa indicante le colonnine.

### 3.3 Funzionalità

In questa sezione eseguirò un analisi dettagliata delle funzionalità dell'applicazione. La descrizione cercherà di essere il più possibile funzionalità-centrica e non activity-centrica anche se spesso i due aspetti coincidono.

#### 3.3.1 Il menu principale

La prima schermata dell'applicazione consente di scegliere i parametri di connessione ai SIB (Fig. 3.2a) e la modalità di esecuzione. Una volta premuto il tasto *connect* si dovrà selezionare l'utente (Fig. 3.2b) per accedere al menu principale (Fig. 3.2c).

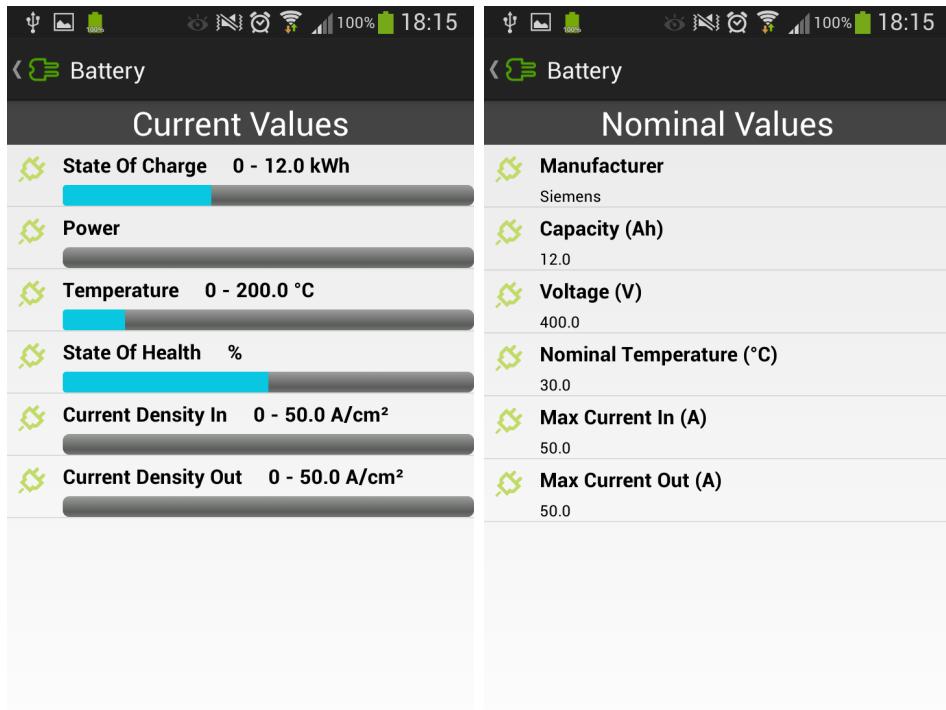
Questo apparirà con due sole opzioni, *Recharge History* e *Select Vehicle*, poiché tutte le altre opzioni dipendono dal veicolo che si sta utilizzando e quindi non vengono mostrate finché non se ne sceglie uno mediante l'apposito menu (Fig. 3.2d).

#### 3.3.2 Storia delle ricariche effettuate

In questa schermata (Fig. 3.3c) possiamo monitorare la storia delle ricariche effettuate. Questa parte è stata introdotta anche per dimostrare l'interooperabilità del nostro sistema con uno SIB-based sviluppato dalla spagnola AICIA.

#### 3.3.3 Monitoraggio Parametri Batteria

Dal menu principale si può accedere al monitoraggio dei parametri della batteria attraverso l'opzione *Battery*. Vengono visualizzati sia i parametri variabili (Fig. 3.3a) che quelli nominali (Fig. 3.3b). I dati relativi all'intensità di corrente e al voltaggio sono visibili solo se si è connessi a un veicolo reale tramite Blue&Me in quanto il nostro modello di simulazione non li implementa. I dati nominali sono disponibili nella modalità di simulazione ma non in quella reale poiché queste informazioni non vengono fornite dalla centralina del veicolo.



CURRENT VALUES

NOMINAL VALUES

(a) Dati variabili della batteria

Recharge History	
Date:	2013-09-29 13:44:30
Vehicle:	Vehicle_192
Recharge Time Length:	1 h
Energy Recharged:	10 kWh
Date:	2013-09-30 13:48:39
Vehicle:	Vehicle_224
Recharge Time Length:	16 m
Energy Recharged:	3 kWh
Date:	2013-10-01 08:01:31
Vehicle:	Vehicle_368
Recharge Time Length:	19 m
Energy Recharged:	3 kWh
Date:	2013-10-02 11:16:38
Vehicle:	Vehicle_400
Recharge Time Length:	16 m
Energy Recharged:	3 kWh
Date:	2013-10-03 13:38:49
Vehicle:	Vehicle_576
Recharge Time Length:	30 m
Energy Recharged:	5 kWh
Date:	2013-10-04 12:11:03

(b) Dati fissi della batteria

Reservation List	
Boldrini	From: 10:22am To:10:46am
Piazza dei Martiri	From: 10:39am To:11:21am
Porta Mascarella	From: 10:37am To:11:19am

Porta Mascarella

---

Retire

---

Map

---

Details

(c) Storia Ricariche

(d) Selezione Veicolo

### 3.3.4 Effettuare una richiesta di prenotazione

Per accedere a questa funzionalità si seleziona *Reserve* dal menu principale. Appare la schermata che consente di impostare i parametri necessari per inoltrare una richiesta di prenotazione al CS. Come si può vedere in figura 3.4a il servizio rende disponibili diverse opzioni per personalizzare il processo di prenotazione. Essenzialmente la schermata consente di dare una veste grafica al protocollo di richiesta descritto nella sezione 2.5.2.

#### Creazione della richiesta

La scelta dell'area entro la quale verificare la disponibilità di colonnine assume di default la posizione del veicolo come punto centrale. Se questa non è disponibile (modalità *Senza Blue&Me*, Sez. 3.2.3) l'utente è costretto a selezionarne una dalla mappa. Per accedere alla funzione di selezione del punto si clicca sul pulsante *Map* che mostra la mappa centrata sulla città in cui ci si trova e tramite un tocco sullo schermo si sceglie il punto di interesse (Fig 3.4b).

Selezionata l'area di interesse si procede alla selezione del raggio di ricerca impostato di default è impostato a 6 km con un massimo di 15 km: oltre non avrebbe senso in quanto sarebbe più idoneo spostare il punto di interesse.

La barra di selezione della quantità di energia ha come dimensione massima la capacità della batteria. L'immagine in Fig. 3.4a è relativa a una batteria con capacità 40 kWh e una quantità di energia residua di 12 kWh indicato dal colore rosso dei numeri a destra della barra. Lo spostamento del cursore verso destra è proporzionale alla quantità di energia che si intende acquistare: conseguentemente il numero a destra indica gradualmente la quantità che dovrà avere la batteria al termine della carica rapportata a quella massima raggiungibile: l'effettiva quantità di carica richiesta sarà determinata dalla differenza tra il valore selezionato e la quantità di carica iniziale. A questo punto il cursore assume colore nero indicando che si può procedere con la richiesta. Il procedimento è inibito finché non si acquista almeno 1 kWh.

Nel caso in cui la capacità della batteria e la quantità di carica non siano disponibili (modalità *Senza Blue&Me*) viene data la possibilità di scegliere-

re qualunque quantità di energia e l'utente viene allertato dell'eventualità di poter acquistare più energia di quella quella massima supportabile dalla batteria del veicolo.

L'ultimo parametro da impostare è l'intervallo di tempo massimo entro il quale l'utente eseguire la ricarica con un lasso temporale di default di 3 ore variabile grazie agli appositi pulsanti di selezione di data/ora con relativi controlli di congruenza.

A questo l'apposito pulsante in alto a destra consente l'invio della richiesta.

### Scelta della risposta

In seguito all'invio della richiesta viene mostrato all'utente un messaggio che invita ad attendere la risposta. In caso di fallimento della richiesta l'utente viene allertato e rimandato nella schermata di richiesta con l'invito di cambiare i parametri. In caso di successo appare una schermata con le opzioni di ricarica restituite dal servizio cittadino. La Fig. 3.4c indica le relative informazioni:

- Nome del GCP presso cui avverrà la ricarica.
- Distanza reale dal GCP calcolata grazie alla libreria UniboGeoTools.
- Orario e prezzo della ricarica.
- Energia stimata per raggiungere la colonnina.
- Dislivello in salita e in discesa.

Le informazioni sul profilo altimetrico ed il contributo energetico vengono mostrate in una schermata a parte accessibile tramite un apposito menu visualizzabile tenendo premuta a lungo un'opzione di ricarica (Fig. 3.4d), aspetto approfondito nella sezione (3.3.6).

Viene data inoltre la possibilità di eseguire operazioni di ordinamento delle varie ricariche in base ai parametri sopra elencati ovvero: distanza, prezzo, orario, contributo energetico ecc.. Infine, volendo, si possono visualizzare le opzioni di ricarica sulla mappa. Premendo su una di esse viene disegnato il

percorso fino alla relativa colonnina. I tratti in salita sono colorati di rosso, quelli in discesa di verde e quelli in pianura di grigio. Le caratteristiche della mappa sono comunque approfondite nella Sez. 3.3.7.

Scegliendo l'opzione di ricarica viene eseguita la parte restante del protocollo e nel caso in cui sia ancora valida allora verrà mostrata la schermata indicante le prenotazioni attive per l'utente (Fig. 3.3d).

### 3.3.5 Visualizzazione e Ritiro delle Prenotazioni

In questa schermata vengono visualizzate le prenotazioni pendenti per l'utente (Fig. 3.3d). È accessibile tramite il menu principale *Reservation List* o raggiunta automaticamente se viene confermata dal sistema l'opzione di ricarica selezionata durante il processo di prenotazione.

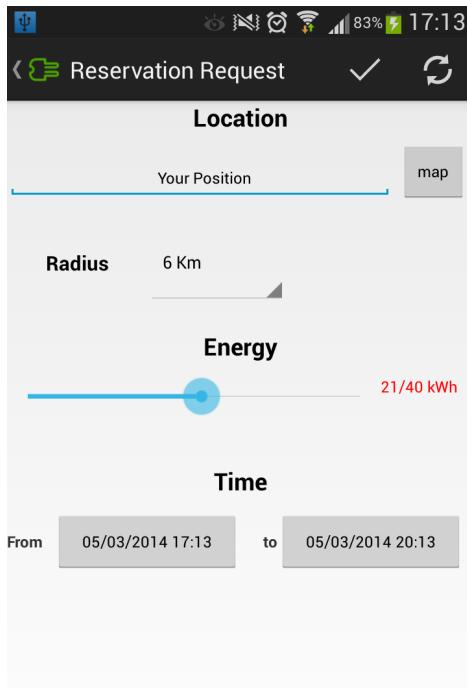
Selezionando una prenotazione apparirà un menu che permette di mostrarla sulla mappa oppure di ritirarla.

### 3.3.6 Profilo Altimetrico e Consumo Energetico

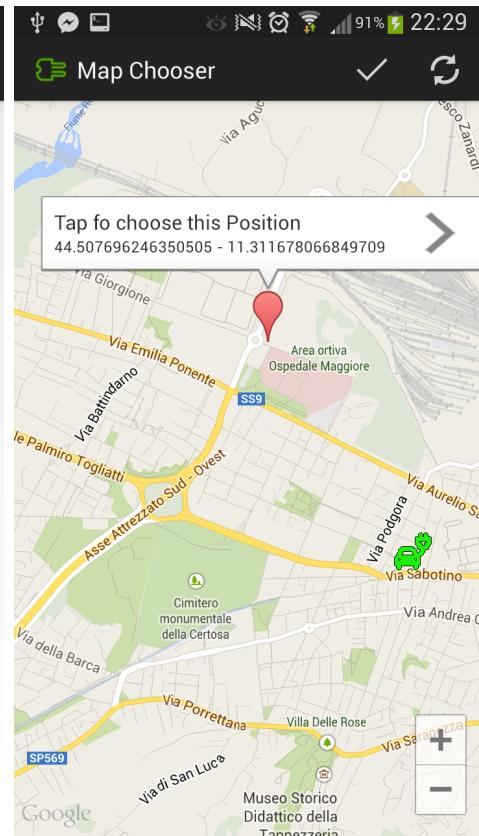
Il profilo altimetrico è una delle feature più innovative introdotte nell'applicazione. Può rivelarsi di fondamentale importanza per l'utente che, grazie ad essa, può scegliere il percorso migliore per raggiungere la sua destinazione. Come vedremo nella sezione relativa al modello della batteria (4.2.4), i veicoli elettrici possono recuperare energia grazie alla frenata rigenerativa e allo sfruttamento delle discese. Strade con molti tratti in discesa possono portare a un recupero di energia non indifferente.

La libreria UniboGeoTools, usata a questo scopo, permette inoltre di eseguire stime dell'energia necessaria a percorrere un determinato tratto di strada. Queste informazioni sono mostrate nella schermata *Elevation Profile*:

- **Path Altimetry Summary:** informazioni riassuntive sul viaggio che l'utente sta per intraprendere. Come mostrato in Fig. 3.5b, oltre alle informazioni di destinazione, distanza e peso viene fornita una stima sull'energia totale che impiegherà il veicolo per raggiungere la destinazione oltre alle informazioni su quanta discesa, salita e pianura caratterizzano il percorso.



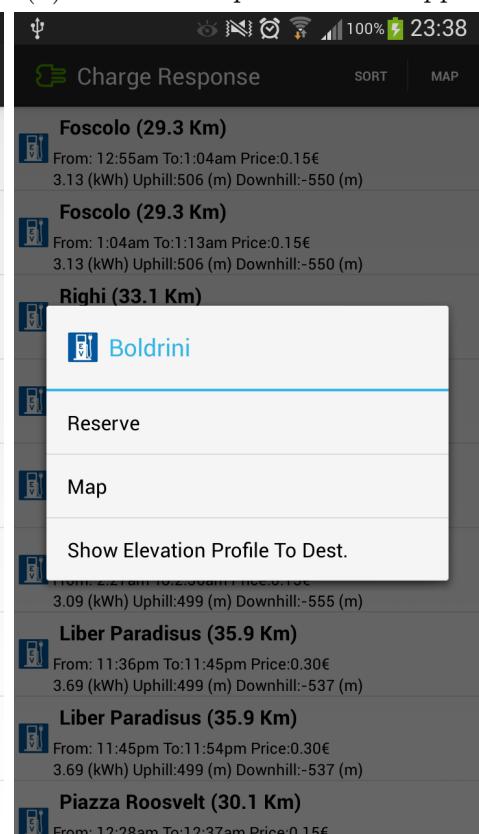
(a) Inserimento Prenotazione



(b) Scelta di un punto nella mappa

Charge Response	
<b>Foscolo (4.3 Km)</b>	From: 6:47am To: 7:26am Price: 0.65€ 0.67 (kWh) Uphill: 28 (m) Downhill: -16 (m)
<b>Foscolo (4.3 Km)</b>	From: 7:26am To: 8:05am Price: 0.65€ 0.67 (kWh) Uphill: 28 (m) Downhill: -16 (m)
<b>Piazza dei Martiri (4.1 Km)</b>	From: 6:55am To: 7:34am Price: 4.55€ 0.47 (kWh) Uphill: 10 (m) Downhill: -14 (m)
<b>Piazza dei Martiri (4.1 Km)</b>	From: 7:34am To: 8:13am Price: 4.55€ 0.47 (kWh) Uphill: 10 (m) Downhill: -14 (m)
<b>Piazza Roosevelt (4.3 Km)</b>	From: 6:36am To: 7:15am Price: 0.65€ 0.73 (kWh) Uphill: 26 (m) Downhill: -9 (m)
<b>Piazza Roosevelt (4.3 Km)</b>	From: 7:15am To: 7:54am Price: 0.65€ 0.73 (kWh) Uphill: 26 (m) Downhill: -9 (m)
<b>Vascelli (4.1 Km)</b>	From: 6:34am To: 7:13am Price: 0.65€ 0.71 (kWh) Uphill: 25 (m) Downhill: -7 (m)
<b>Vascelli (4.1 Km)</b>	From: 7:13am To: 7:52am Price: 0.65€ 0.71 (kWh) Uphill: 25 (m) Downhill: -7 (m)
<b>San Francesco (4.6 Km)</b>	From: 6:31am To: 7:10am Price: 4.55€

(c) Visualizzazione opzioni di ricarica



(d) Menu opzioni di ricarica

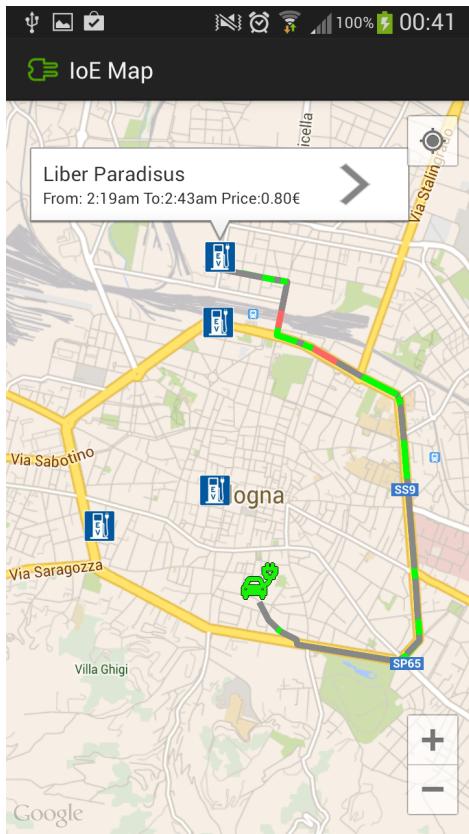
- **Cumulative Altimetry Offset:** il riquadro fornisce informazioni sul dislivello che caratterizza il percorso (Fig 3.5b).
- **Average Slope:** fornisce informazioni sulla pendenza media che caratterizza il percorso. Importante in quanto, come detto prima, una pendenza significativa può portare ad elevati consumi oppure a un ricavo di energia (Fig 3.5b).
- **Max Slope:** fornisce informazioni di massima sulla pendenza del percorso, ovvero la pendenza massima che troveremo in salita e in discesa (Fig 3.5c).
- **Elevation Dependent Energy Ref:** informazioni sul contributo energetico necessario per vincere il dislivello. A tal scopo viene utilizzata l'energia potenziale gravitazionale (Fig 3.5c).
- **Energy Profile for Path Length:** energia impiegata per percorrere il tragitto. Nel caso precedente veniva preso in considerazione unicamente il dislivello; qui viene invece considerata anche la distanza che separa l'utente dalla destinazione (Fig 3.5c).
- **Altitude Graph:** grafico che mostra il profilo altimetrico che ci separa dalla destinazione. Sono indicati in verde i tratti in discesa e in rosso quelli in salita (Fig 3.5d).

Ulteriori informazioni sul profilo altimetrico vengono fornite sulla mappa, come approfondito nella Sez. 3.3.7.

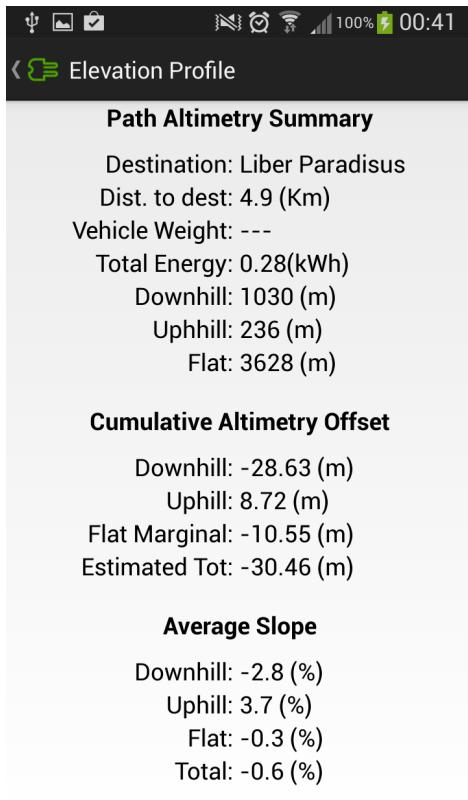
### 3.3.7 Mappa

La mappa viene centrata sulla città di riferimento. Su di essa si può vedere il veicolo in movimento, sia simulato che reale. Premendo il pulsante di localizzazione in alto a destra si effettua lo zoom sul veicolo. Alla mappa si può accedere in diverse occasioni:

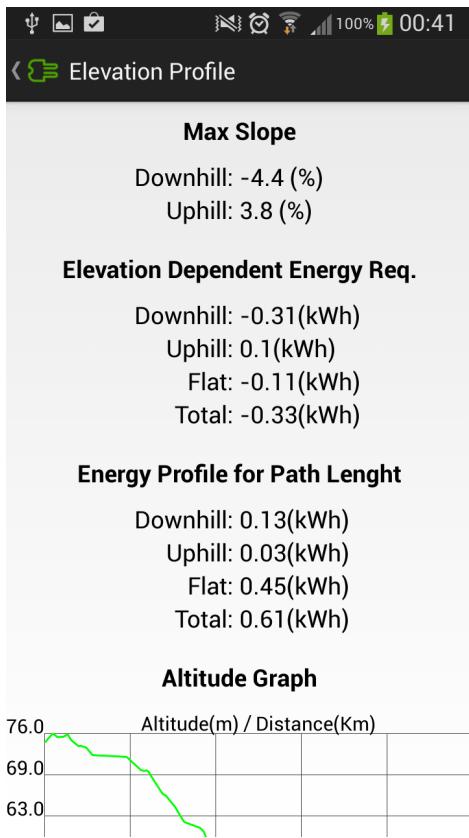
- **Dal menu principale:** selezionando *Map* si accede alla mappa che mostrerà i GCP della città con possibilità di effettuare una prenotazione cliccando su quello di interesse (Fig. 3.6d).



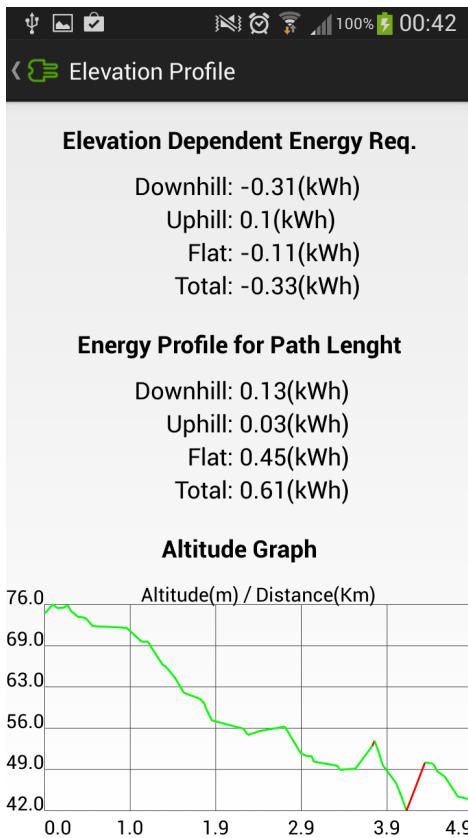
(a) Mappa con Profilo Altimetrico



(b) Scelta di un punto nella mappa



(c) Visualizzazione opzioni di ricarica



(d) Menu opzioni di ricarica

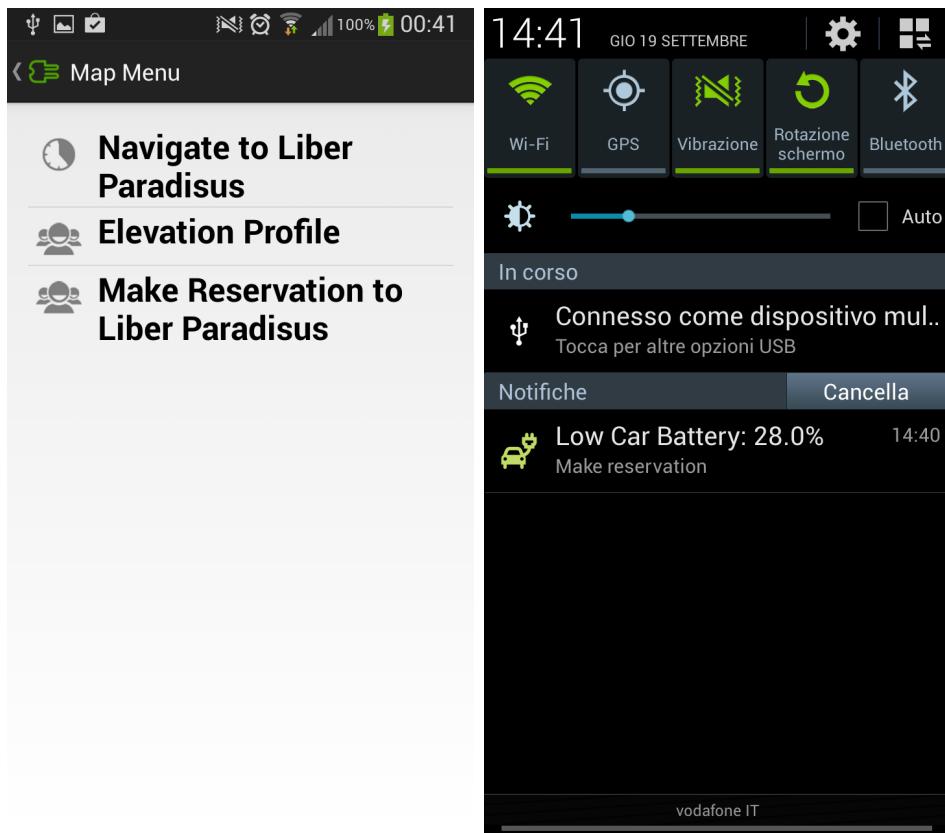
- **Scelta delle Opzioni Ricarica:** le opzioni di carica restituite dal CS possono essere visualizzate sulla mappa. Se scegliamo di visualizzare la mappa a partire da un'opzione di ricarica, verrà anche disegnato il percorso che ci separa dalla colonnina. Viceversa verranno visualizzate tutte le colonnine e per evidenziare il percorso si dovrà selezionare quella di interesse (Fig. 3.5a).
- **Prenotazioni:** dalla schermata delle prenotazioni pendenti possiamo visualizzarle sulla mappa con possibilità di effettuare il ritiro dell'operazione di ritiro semplicemente selezionando la colonnina associata.

Come mostrato in Fig. 3.5a viene disegnato il percorso che ci separa dalla destinazione evidenziando in verde i tratti in discesa, in rosso quelli in salita e in grigio quelli.

Premendo su una delle colonnine visualizzate nella mappa viene aperto un popup che mostra informazioni sommarie sul GCP. Una freccia che permette di accedere a un menu con altre opzioni (Fig. 3.6a). Dal quale si può eseguire una prenotazione, consultare i dettagli sul profilo altimetrico o aprire il navigatore reso disponibile dal Sistema Operativo usando come punto di partenza quello dove ci si trova e come punto di destinazione quello selezionato sulla mappa (Fig. 3.6c).

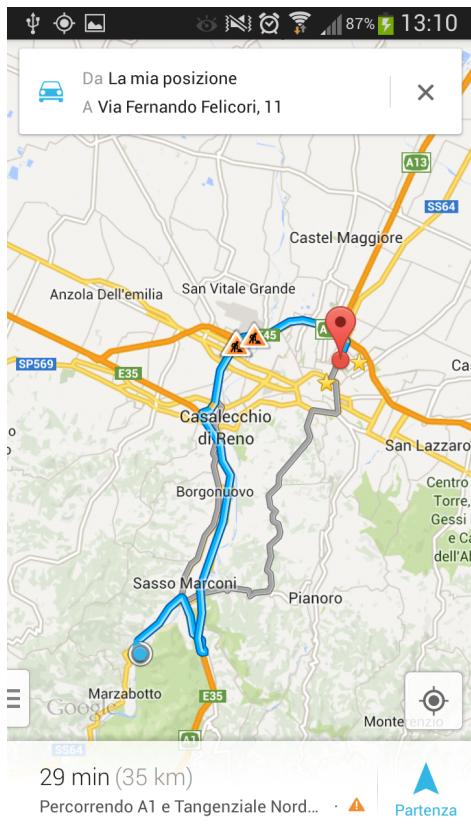
## 3.4 Notifica batteria Scarica

Quando la carica della batteria scende al di sotto di una certa soglia, attualmente impostata al 30% della carica nominale, viene inviata all'utente una notifica che appare nell'omonima area resa disponibile dai Sistemi Operativi Android (Fig. 3.6b). La notifica viene reiterata a salti di 5% di scarica della batteria. Premendo sulla notifica si apre la schermata destinata alle prenotazioni.

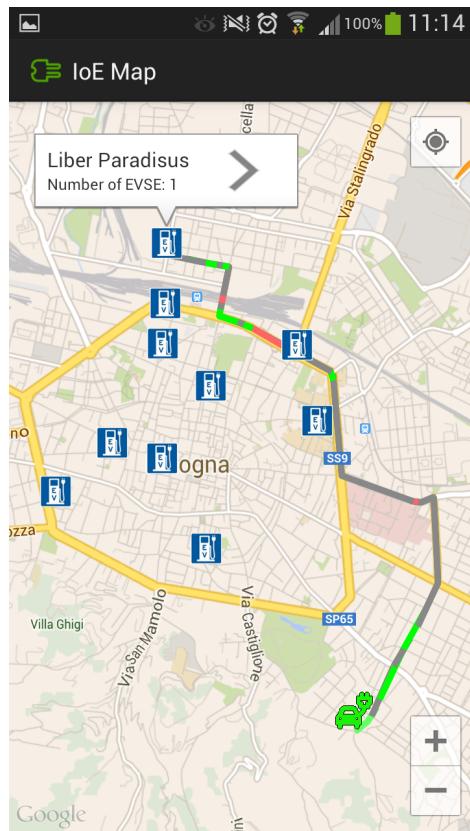


(a) Menu Mappa

(b) Notifica batteria scarica



(c) Navigatore Satellitare



(d) Visione di tutti i GCP della città

## 3.5 Implementazione

### 3.5.1 Implementazione

### 3.5.2 Operazioni Asincrone

Tutte le operazioni che prevedono l'utilizzo della rete, quindi potenzialmente lunghe, sono eseguite all'interno di un **AsyncTask** ovvero una classe messa a disposizione dalla libreria di base di Android che permette di eseguire operazioni asincrone e contemporaneamente aggiornare l'interfaccia grafica. Questo da un lato permette di avere un'applicazione fluida in quanto l'interfaccia non rimane bloccata in attesa dei risultati e dall'altro evita il verificarsi di errori dovuti al fatto che Android non permette di modificare l'interfaccia da un thread diverso da quello destinato al disegno di quest'ultima.

La maggior parte delle operazioni effettuate tramite rete, quindi nel nostro caso scambio di dati con i SIB, reperisce liste di elementi (veicoli, utenti, prenotazioni ecc..) che vengono mostrate all'interno di un'apposita tipologia di Activity di Android le **ListActivity**.

Al fine di semplificare la programmazione delle Activity che contengono liste i quali elementi sono reperiti tramite la rete, ho creato la classe **ListLoaderTask<T>** che ne facilita il caricamento asincrono.

### 3.5.3 Activities

### 3.5.4 Servizi

# Capitolo 4

## Piattaforma di Simulazione

La piattaforma di simulazione è uno strumento di fondamentale importanza al fine di validare l’infrastruttura software proposta. È inoltre un valido strumento per valutare l’impatto dell’introduzione della mobilità elettrica veicolare all’interno di un determinato contesto. Grazie ad esso si può prevedere il numero di veicoli che la grid potrà supportare, quante colonnine saranno necessarie e che potenza dovranno avere. Risulta quindi uno strumento fondamentale sia dal punto di vista dell’amministrazione pubblica/cittadina, per prevedere un piano urbanistico sostenibile, che dal punto di vista dei gestori della rete elettrica, i quali potranno valutare la richiesta energetica di tale scenario ed eventualmente prevedere investimenti in quella direzione.

### 4.1 Architettura

Per simulare gli innumerevoli aspetti legati all’Electrical Mobility sono stati usati diversi simulatori/tecniche in symbiosi. In questa sezione verranno analizzate sommariamente per introdurre il resto della trattazione. Esisteva già una versione del simulatore, ma era a puro titolo dimostrativo e di demo.

### 4.1.1 SUMO

SUMO (Simulator of Urban Mobility) è un simulatore Open Source e multi-piattaforma di traffico urbano progettato per simulare reti stradali di grandi dimensioni ([4]). Sviluppato in C++ è supportato principalmente dall’Institute of Transportation Systems at the German Aerospace Center. La simulazione è di tipo microscopico ovvero ogni veicolo è modellato in modo esplicito, ha un proprio itinerario e si muove individualmente attraverso la rete. Ogni aspetto relativo alla simulazione viene configurato attraverso file XML di descrizione della rete stradale, dei parametri e percorsi di ogni singolo veicolo ed eventualmente di altri aspetti legati alla simulazione come i flussi di traffico e la descrizione degli edifici.

SUMO permette di avviare la simulazione in due modalità:

- **Visuale:** rende disponibile un riscontro visuale dell’andamento della simulazione tramite un’interfaccia che mostra la mappa della rete/città con vista dall’alto (Fig. 4.1). Vengono mostrati tutti i veicoli ed è possibile accedere a tutti i parametri della simulazione. Vengono mostrati inoltre i semafori agli incroci, la segnaletica delle strade e, nel caso siano stati caricati, gli edifici della città. Tutto questo ovviamente impatta notevolmente sulle performance ma, al di là del gradevole ed efficace effetto visivo, è utile per monitorare come evolve la simulazione. L’abbiamo usato ad esempio per assicurarsi che i veicoli si fermassero alle colonnine, oppure per valutare la quantità di traffico generata in seguito all’inserimento di un determinato numero di veicoli. È stato molto utile e anche in fase di Demo per mostrare il funzionamento del simulatore.
- **Testuale:** vengono stampati nel terminale i messaggi di Warning ed Error e optionalmente qualche messaggio integrativo di debug per indicare gli step di avanzamento della simulazione. Una volta constatato, tramite la modalità visuale, che la simulazione si comporta come previsto si passa a questa modalità che offre performance maggiori. È quindi particolarmente indicata per le simulazioni di lunga durata.

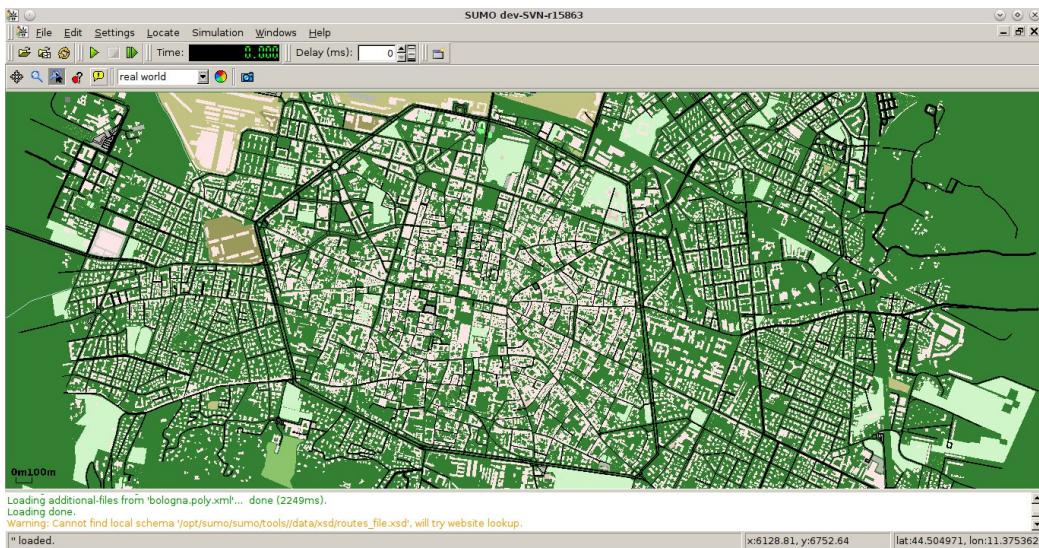


Figura 4.1: Simulazione di bologna in SUMO

## Tools

I file XML che descrivono le simulazioni possono diventare molto complessi qualora si decida di simulare scenari realistici (come Bologna). SUMO rende disponibili innumerevoli tool automatici per la generazione dei file di configurazione. In questa tesi prenderò in esame solo quelli che si sono rivelati utili:

- **netconvert**: genera file con estensione .net.xml di mappatura della rete stradale. La generazione avviene in modo pseudo-casuale, tramite la definizione dei nodi e degli archi che definiscono il grafo della rete stradale oppure, come nel nostro caso, attraverso la conversione da formati esterni(OpenStreetMap, VISUM, VISSIM, OpenDRIVE, MATsim ecc..)
- **polyconvert**: Genera file con estensione .poly.xml contenenti le informazioni relative agli edifici, zone di verde, fiumi laghi ecc.. Anch'esse vengono importate dai file delle mappe in altri formati.
- **duarouter**: Genera file con estensione .rou.xml descrittivi del percorso di ogni veicolo, compresi tutti gli step intermedi. La generazione dei

percorsi avviene applicando un algoritmo di cammino su grafi a scelta tra *Dijkistra* o *A\**. I punti di partenza e arrivo vengono generati casualmente da uno script in python reso disponibile tra i tool di SUMO (`randomTrips.py`).

## TRaCI

TraCI (Traffic Controller Interface) è un modulo, reso disponibile da SUMO, che permette di interagire con la simulazione in tempo reale tramite un protocollo Client/Server basato su TCP/IP ([23]). All'avvio della simulazione SUMO si mette in ascolto su una porta in attesa di messaggi. Qualunque linguaggio che supporti il protocollo TCP/IP può dunque modificare lo stato della simulazione oppure ricevere notifiche sul cambiamento di variabili alle quali ci si può sottoscrivere. È proprio TraCI che farà da ponte tra SUMO e l'altro simulatore usato all'interno della nostra piattaforma.

### 4.1.2 OMNeT++

OMNeT++ è un ambiente OpenSource di simulazione a eventi discreti ([22]). È principalmente usato per la simulazione di reti di comunicazione ma, grazie alla sua architettura modulare ed estremamente flessibile, è possibile utilizzarlo negli ambiti più disparati come la simulazione di sistemi informatici complessi, architetture hardware o, come nel nostro caso, per supporto alla simulazione veicolare.

Le simulazioni vengono modellate tramite l'impiego di componenti riutilizzabili chiamati *moduli* combinabili tra di loro come blocchi LEGO.

I moduli possono essere connessi tra di loro attraverso i *gates* e combinati insieme per formare dei moduli composti (compound modules). La comunicazione tra moduli normalmente avviene tramite message passing e i messaggi possono contenere strutture dati arbitrarie (assieme informazioni definite tipo i *timestamp*). Questi messaggi possono viaggiare attraverso percorsi predefiniti dai *gates* e dalle *connections* oppure essere inviati direttamente alla loro destinazione, scelta molto utile nel caso delle comunicazioni wireless.

I moduli, i relativi parametri e i collegamenti fra di essi vengono definiti tramite un linguaggio di alto livello (NED) in appositi file con estensione .ned, mentre la logica viene implementata in una corrispondente classe C++.

OMNeT++ viene distribuito con un IDE basato su Eclipse grazie al quale si possono eseguire molteplici operazioni in modo visuale, come ad esempio la creazione e aggregazione di moduli.

Anche OMNeT++ mette a disposizione due modalità di esecuzione della simulazione: una visuale (*Tkenv*) e una testuale (*Cmdenv*). La modalità visuale che permette di vedere i moduli con i relativi messaggi scambiati viene usata in fase di debug o in fase di Demo. La modalità testuale, ovviamente più performante e adatta alle simulazioni batch, mostra solo i messaggi di debug della simulazione insieme allo *standard output* dei moduli. Per i nostri scopi abbiamo usato solo la modalità testuale.

Un punto di forza di OMNeT++ è costituito dagli strumenti resi disponibili per l'analisi dei dati generati dalle simulazioni. Questo permette di applicare in tempo reale trasformazioni e aggregazioni tra i set di dati e infine di visualizzare i risultati con varie tipologie di grafici: a barre, a linee, istogrammi ecc...

In OMNeT++ si possono registrare due tipi di dato: i vettori e gli scalari. Nel caso dei vettori i dati sono rappresentati nel piano cartesiano con il tempo come ascissa e il dato come ordinata. Nel caso degli scalari si registra solamente il dato.

#### 4.1.3 Veins

Veins è un framework OpenSource per la simulazione di reti veicolari IVC (Inter-Vehicular Communication) ([18]). Utilizza OMNeT++ e SUMO in simbiosi (Fig. 4.2). Si appoggia su MiXiM([13]), un framework per OMNeT++ che implementa modelli per reti wireless fisse e mobili (reti di sensori wireless, reti ad hoc, reti veicolari ecc...) ([7]). La comunicazione con SUMO avviene tramite TRACI. Ogni volta che nella simulazione in SUMO viene aggiunto un veicolo, Veins crea dinamicamente un corrispondente modulo OMNeT++ che permette di controllarlo sotto ogni aspetto (percorso, colore, velocità, accelerazione, parcheggio ecc...).

Il simulatore consiste in un modulo di Veins opportunamente modificato per disporre di un ambiente contenente solo i componenti indispensabili allo scopo. Le performance sono infatti determinanti per ottenere risultati in tempi utili. Infatti sono stati rimossi da Veins i moduli necessari alla comunicazione wireless (nic80211 e ARP) e il modulo per la gestione degli ostacoli (obstacles) che era utilizzato per la gestione dello shadowing delle reti wireless.

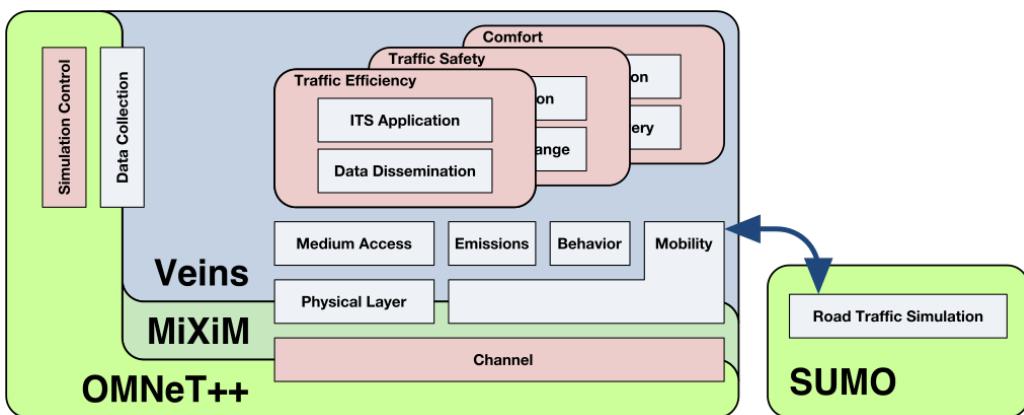
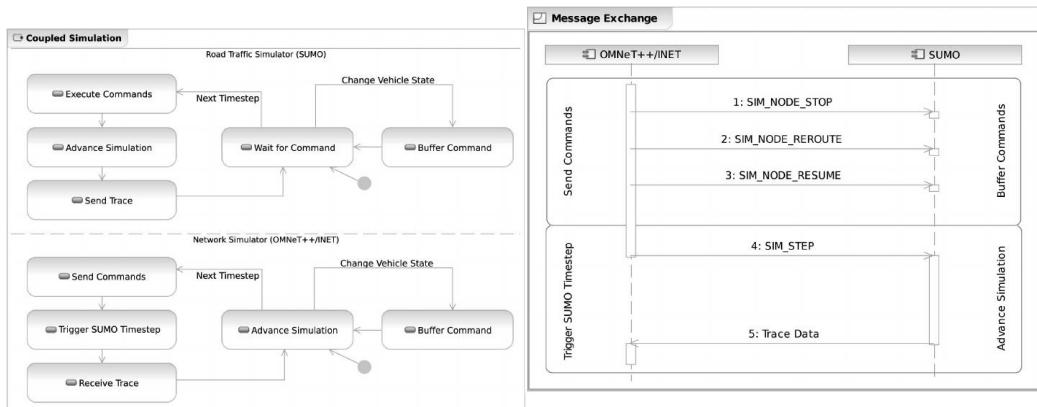


Figura 4.2: Architettura Veins

### Il funzionamento di Veins

Veins è il ponte tra OMNeT++ e SUMO e la comunicazione tra i due avviene tramite TraCI. In realtà “in mezzo” ai due simulatori si trova uno script python, *sumo-launchd.py*, in ascolto sulla prima porta libera che trova, in attesa che venga avviato Veins. Veins appena avviato si connette a questo script che a sua volta lancia SUMO. A questo punto inizia la sincronizzazione tra i due simulatori che avviene tramite “staffetta” come mostrato in Fig. 4.3a. Per garantire l’esecuzione sincrona a intervalli definiti Veins inserisce in un buffer tutti i comandi da inviare a SUMO (Fig. 4.3b). Ad ogni passo temporale i comandi contenuti nel buffer vengono inviati. Questo innesca l’avanzamento del corrispondente passo temporale nella simulazione del traffico stradale. Al termine dello step temporale di simulazione del traffico stradale, SUMO invia in risposta a Veins una serie di comandi con lo stato e la posizione di tutti i veicoli istanziati. Dopo l’elaborazione di tutti i comandi

ricevuti, Veins aggiunge i corrispettivi nodi per ogni nuovo veicolo introdotto nella simulazione e rimuove i nodi relativi ai veicoli giunti a destinazione. A questo punto la simulazione può avanzare al prossimo step temporale.



(a) Panoramica dei due simulatori abbinati. Macchina a stati di SUMO e i moduli di Veins.

(b) Diagramma di sequenza dei messaggi scambiati tra SUMO e Veins. L'esecuzione dei comandi è ritardata fino al successivo passo temporale in SUMO.

Figura 4.3: Architettura Veins

## 4.2 Modellazione della Simulazione

Esisteva già una versione del simulatore ma essendo sviluppato da più persone (me compreso) in tempi brevi, con deadline corrispondenti a demo internazionali il codice era diventato irrimediabilmente farraginoso e pieno di memory leak. Basti pensare che la prima versione allocava RAM esponenzialmente e già dopo 2000 secondi si poteva arrivare ad un'occupazione della memoria RAM di 4GB. Dopo varie modifiche apportate al fine di ottimizzarlo e rifattorizzarlo (il tool Valgrind si è rivelato molto utile allo scopo) ho deciso di riscriverlo da zero. L'intera simulazione viene incapsulata all'interno di una Network. Il Network è lo scenario da simulare al cui interno si definiscono i moduli che compongono la simulazione. Come mostrato in Fig 4.4b sono sostanzialmente quattro i moduli che compongono la nostra simulazione:

- **world**: è un modulo di tipo `BaseWorldUtility`, fornito da MiXiM, che rappresenta l'area di circoscrizione dello scenario simulato. Come parametri di ingresso richiede la definizione della grandezza dello scenario in metri. La mappa usata in SUMO non può essere più grande delle dimensioni definite in questo modulo.
- **traciManager**: è un modulo di tipo `TraCIScenarioManagerLaunchd`, fornito da Veins, che mette in comunicazione OMNeT++ con SUMO. Tutti i messaggi inviati a TraCI passano da questo modulo (l'implementazione vera e propria della comunicazione con TraCI avviene nel modulo padre `TraCIScenarioManager`), fondamentale in quanto crea un modulo OMNeT++ per ogni veicolo di SUMO.
- **cityService**: rappresenta la grid. Contiene infatti i GCP e gli EVSE. Ricopre anche la funzione di raccoglitore delle statistiche globali su colonnine e veicoli (Sez: 4.2.2).
- **connectionManager**: si occupa della comunicazione tra moduli ma è inutilizzato. Non l'ho rimosso per garantire la compatibilità con Veins.

Ogni volta che SUMO crea un veicolo, Veins provvede a creare il corrispondente modulo `Car` in OMNeT++ (Fig. 4.4a). `Car` in realtà è un modulo composto, ovvero un contenitore, privo di implementazione che contiene altri moduli. Di default conterrebbe tutti i componenti relativi alle comunicazioni wireless in quanto sarebbe il target di Veins, ma li ho rimossi in quanto non utili, per ora, nello scenario attualmente simulato.

Per rendere la simulazione il più possibile attinente alla realtà risulta necessario implementare i modelli di carica e scarica dei veicoli e i modelli comportamentali degli utenti oltre l'implementazione dei moduli di comunicazione con il servizio cittadino. Per svolgere questi compiti è stato necessario arricchire la definizione di Car con 3 nuovi moduli:

- **TraciMobility**: è un modulo fornito da Veins che mette in comunicazione il veicolo con SUMO tramite TRaciI.
- **CarLogic**: il modulo principale in cui è implementata la logica del veicolo.

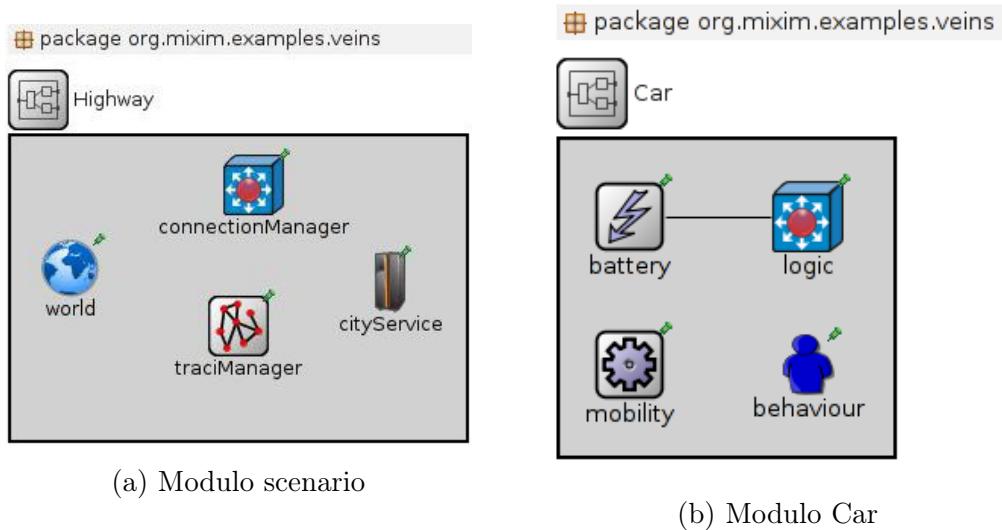


Figura 4.4: Moduli OMNeT++

- **Battery**: implementa il modello di carica e scarica del veicolo.
- **DriverBehaviour**: implementa i comportamenti che l'utente assume in occasione a determinate scelte.

Ogni modulo contiene parametri che permettono di cambiarne il comportamento. Grazie a OMNeT++ diventa semplice lanciare molteplici simulazioni con diversi set di dati. Particolarmenete interessante è la possibilità di eseguire la simulazione senza prenotazione per confrontare le differenze di occupazione delle colonnine rispetto allo scenario con prenotazione.

### 4.2.1 Ciclo di Vita dei moduli

Essendo OMNeT++ un simulatore a eventi discreti, i moduli in esso implementati non fanno nulla finché non viene schedulato un evento. Gli eventi vengono schedulati attraverso messaggi inviati dai moduli stessi. Sostanzialmente si tratta di decidere quando, a chi e cosa mandare.

*Chi* è il modulo destinatario del messaggio, come vedremo più avanti può coincidere con il mittente.

*Quando* è l’istante di simulazione in cui il messaggio verrà ricevuto dal modulo destinatario. In quanto tale deve essere schedulato nel futuro o tutt’alpiù nell’istante corrente di simulazione.

*Cosa* è il messaggio da inviare. OMNeT++ fornisce un messaggio di base, **cSimpleMessage**, ma, come vedremo più avanti, è possibile definirsi messaggi propri più complessi.

All’interno di questa simulazione non c’è uno scambio di messaggi tra i diversi moduli, per cui risulta necessario auto-inviarsi i messaggi per mantenere *vivo* il modulo.

Quando Veins crea un modulo il corrispondente veicolo in SUMO viene aggiornato ogni 0.1 secondi, step temporale di default. In OMNeT++, invece, è il programmatore a decidere ogni quanto tempo aggiornare un modulo mediante il meccanismo degli auto-messaggi. Schedulando i messaggi in modo intelligente si può guadagnare in performance poiché ci si può inviare il messaggio solo quando è realmente necessario.

Quando un modulo **Car** viene creato, OMNeT++ invoca la funzione **initialize()** di cui il programmatore può eseguire l’override e nella quale, dopo le opportune inizializzazioni, è necessario auto-schedularsi un messaggio. I messaggi vengono ricevuti dalla funzione **handleMessage()**. Dall’interno di questa funzione si può implementare la logica del modulo che continua a *vivere* finché il corrispondente veicolo in SUMO giunge a destinazione. In questo istante Veins, tramite la classe **TraCIScenarioManager**, rileva che il veicolo è uscito dalla simulazione e quindi lo elimina anche da OMNeT++ che invoca la funzione di terminazione **finish()**.

### 4.2.2 CityService

Il modulo simula la grid e al suo avvio carica le informazioni relative ai GCP presenti nello scenario simulato da un file XML. Il file utilizzato è lo stesso del servizio cittadino (Sez. 2.5.4). Le colonnine caricate vengono trasformate in oggetti C++ fruibili dai veicoli virtuali.

Per chiarezza è necessario distinguere tra il modulo **CityService** di OMNeT++ e il CS visto in precedenza. Nel seguito mi riferirò al primo con il nome intero e al secondo con l’abbreviazione.

Mediante il settaggio di parametri esterni, **CityService**, abilita/disabilita le prenotazioni, e decide il tasso di penetrazione di veicoli elettrici nello scenario.

Di seguito i parametri del modulo:

- **gcpList**: percorso del file XML contenente la definizione dei GCP. Deve essere lo stesso utilizzato dal servizio cittadino reale.
- **electricalVehicleFreq**: stabilisce la frequenza di immissione di veicoli elettrici nella simulazione. Variabile da 0 a 100 indica la probabilità che il veicolo immesso nella simulazione sia elettrico. Occorre ricordare che il numero e la frequenza con cui i veicoli vengono immessi nella simulazione è determinato dai file di configurazione di SUMO.
- **maxElectricalVeh**: impone un limite superiore al numero di veicoli che possono essere presenti nella simulazione in un determinato istante. Questo significa che, raggiunto il massimo numero di veicoli, e uno di essi lascia la simulazione per qualunque motivo, allora verrà sostituito da uno nuovo, ammesso che SUMO generi altri veicoli e che la statistica sia favorevole. Se impostato a -1 non vi sarà nessun limite al numero di veicoli.
- **reservationEnabled**: abilita/disabilita il protocollo di prenotazione delle ricariche. Quando le prenotazioni non sono attive, lo scambio di dati con il SIB, viene disabilitato per ottimizzare le performance.

Altra importante funzione svolta da questo modulo è la raccolta di statistiche globali sui veicoli elettrici. I dati raccolti sono tutti in formato vettoriale:

- **chargingVehicles**: in questo vettore viene salvato lo stato di occupazione degli EVSE della città. Ogni volta che un veicolo inizia la ricarica viene aggiunta al vettore un unità che viene rimossa al termine. Questo comporta che in ordinata avremo al più il numero totale di EVSE presenti nello scenario.
- **electricalVehicles**: numero di veicoli elettrici presenti nella simulazione. Si incrementa di un unità ogni volta che viene aggiunto un veicolo elettrico alla simulazione.

- **vaporizedVehicles**: si indicano come *vaporizzati* i veicoli che, esaurita la carica della batteria, vengono letteralmente *vaporizzati*. Il termine *vaporizzati* deriva dall'analogo comando di TRaci che permette di rimuovere un veicolo dalla simulazione.
- **leavingVehicles**: tiene traccia dei veicoli che riescono a lasciare normalmente la simulazione ovvero arrivano a destinazione, evento che ne causa la rimozione da parte di SUMO. In realtà uno degli obiettivi raggiunti è stato proprio quello di dirottare verso una strada casuale i veicoli giunti a destinazione. Non essendo possibile intercettare con certezza l'arrivo del veicolo in una determinata strada a volte qualcuno di essi *sfugga* con conseguente rimozione dalla simulazione.

### 4.2.3 CarLogic

Definisce il comportamento del veicolo mediante implementazione della logica relativa alla guida del veicolo. Contiene infatti le informazioni che ne descrivono la tipologia, l'appartenenza, e alcuni comportamenti di base. I comportamenti più complessi sono delegati al modulo **DriverBehaviour** più orientato all'utente.

#### I parametri

- **userName**: nome dell'utente che possiede il veicolo.
- **userId**: identificativo dell'utente che possiede il veicolo.
- **manufacturer**: casa produttrice del veicolo.
- **model**: modello del veicolo.
- **cRoll**: coefficiente di resistenza da attrito delle gomme su asfalto.
- **cDrag**: coefficiente di forma indicativo della levigatezza del veicolo.
- **rhoAir**: coefficiente di resistenza dell'aria.
- **across**: sezione frontale del veicolo in  $m^2$ .

- **weight**: peso del veicolo.
- **threshold**: soglia sotto la quale il veicolo considera scarica la batteria rendendo necessaria la ricarica. Varia da 0 a 1 dove 1 è la capacità nominale della batteria.
- **minRequestedEnergyKwh**: quantità minima di energia richiedibile in una prenotazione. Il valore è utilizzato nei casi in cui una richiesta non viene accettata dal CS. In tal caso viene diminuita gradualmente la quantità di energia richiesta fino al raggiungimento di questa soglia.
- **writeCarStatusOnSib**: se *true* indica di scrivere le informazioni di stato del veicoli sul *Dash SIB* consentendo il monitoraggio dello stato dei veicoli dall'applicazione mobile. Essendo la scrittura sul SIB un'operazione abbastanza onerosa è meglio tenere disattivata l'opzione salvo non ci si trovi in fase di demo.

## Inizializzazione

In fase di inizializzazione il primo provvedimento è quello di chiedere al modulo **CityService** quale sarà la natura del veicolo: elettrica o a combustibile fossile. Nel caso in cui sia elettrica si procede alla valorizzazione tutti i parametri e, se è abilitata la prenotazione, si scrivono le informazioni del veicolo sul *Dash SIB*. Si invia quindi un comando a SUMO che colora il veicolo di verde, attributo visivo molto utile sia in fase di debug che in fase di demo (Fig. 4.5).

Qualora il veicolo non sia elettrico si provvede a colorarlo di rosso e vengono eliminati i relativi moduli da OMNeT++ ferma restando la permanenza del veicolo in SUMO. Questa funzionalità non era prevista da Veins che è stato necessario modificare opportunamente per poterla introdurla. Poiché un modulo di Veins non può eliminare se stesso, l'eliminazione avviene indirettamente tramite l'invio di un messaggio al **CityService** con la richiesta di eliminazione.



Figura 4.5: Veicolo elettrico: verde, Veicolo in carica: giallo, Veicolo a combustibile fossile: rosso

Un problema di SUMO, quantomeno nell'ambito dei nostri obiettivi, è rappresentato dal fatto che i veicoli giunti a destinazione vengono eliminati dalla simulazione. Questo influisce negativamente sulla simulazione in quanto ci interessa simulare un periodo di vita dei veicoli abbastanza lungo da poterne studiare diversi cicli di carica e scarica. Ho risolto così il problema: ottenuto tramite TraCI gli ID di tutte le strade componenti il percorso del veicolo, considero l'ultima al fine di intercettarne l'arrivo del veicolo e quindi dirottarlo verso un'altra destinazione (ultima strada del percorso) scelta casualmente. Le altre destinazioni si selezionano da una lista globale popolata con gli ID delle strade di destinazione, prelevate da ogni veicolo stesso, più lunghe di 50 metri. Il controllo sulla lunghezza è necessario in quanto più lunga è la strada più probabile è che un messaggio venga schedulato nell'intervallo di tempo in cui il veicolo la percorre.

Come ultima operazione viene istanziato un messaggio di tipo **CarMessage** che contiene lo stato corrente del veicolo per l'utilizzo durante il suo ciclo di vita. Il messaggio viene inizializzato e schedulato all'istante corrente di simulazione. Come si vede nel List. 4.1 si crea il messaggio, si impostato lo stato del veicolo (Sez. 4.2.3), e infine si schedula il messaggio tramite la funzione **scheduleAt()** all'istante corrente di simulazione che viene fornito dalla funzione **simTime()**. Per schedulare, ad esempio, il messaggio dopo 25 secondi sarebbe stato necessario usare **simTime() + 25**.

```

1 carMessage = new CarMessage("CarMessage");
2 carMessage->setCarState(CarState::DRIVING);
3 [...]
4 scheduleAt(simTime(), carMessage);

```

Listato 4.1: Autoschedulazione Messaggio

### Gli stati del veicolo

Lo stato del veicolo è definito da un automa a stati finiti come mostrato in Fig. 4.6. Le transazioni tra gli stati avvengono l'invio del messaggio creato in fase di inizializzazione. La funzione `handleMessage` riceve i messaggi e controlla se giungono dall'esterno oppure se sono auto-inviati (`msg->isSelfMessage()`). Nel secondo caso il messaggio viene inoltrato alla funzione `handleSelfMessage()` che sceglie l'handler da eseguire in base allo stato definito nel messaggio (List. 4.2).

```

1 void CarLogic::handleSelfMessage(cMessage *msg) {
2     CarMessage* carMsg = check_and_cast<CarMessage *>(msg);
3
4     switch (carMsg->getCarState()) {
5         case CarState::DRIVING:
6             handleDriving(carMsg);
7             break;
8         [...]
9         case CarState::CHARGING:
10            handleCharging(carMsg);
11            break;
12        default:
13            error("Unknown Car State!");
14            break;
15    }
16}

```

Listato 4.2: Funzione di scelta dello stato

Ad ogni stato del veicolo corrisponde una funzione2 *handler* che ne determina il comportamento. Alla funzione viene passato un riferimento al messaggio contenente le informazioni sullo stato del veicolo. L'handler prima di terminare rischedula il messaggio con un nuovo stato o in alcuni casi con lo stesso stato. La Fig. 4.6 mostra l'automa a stati finiti che descrive il veicolo.

I possibili stati del veicolo sono definiti nell'enumerazione **CarState**. Sarà quindi presente, ad esempio, la funzione **handleDriving()** associata allo stato **CarState::DRIVING**, e così via per tutti gli stati del veicolo.

Dal momento che l'implementazione C delle KPI (le librerie che si interfacciano con il SIB tramite il protocollo SSAP descritto nella Sez. 2.1) non supporta le sottoscrizioni alla base della comunicazione con il CS, per ricavare le risposte risulta necessario eseguire il “polling” a intervalli regolari. A questo compito sono dedicati due stati del veicolo: **WAITING\_RESPONSE** e **WAITING\_CONFIRM**.

Di seguito l'elenco dei diversi stati del veicolo:

**DRIVING**: indica che il veicolo si sta dirigendo verso la sua destinazione.

La corrispondente funzione **handleDriving()** ad ogni sua esecuzione controlla lo stato di carica della batteria: se questa è inferiore alla soglia stabilita dal parametro **threshold** il veicolo si considera scarico e quindi risulta necessario dirigesi a una colonnina. A questo punto si presentano due casistiche:

- Con Prenotazione: se la simulazione è stata eseguita con le prenotazioni attive, il veicolo deve eseguire il protocollo di prenotazione. Si creano le triple necessarie a istanziare una richiesta di prenotazione e si inseriscono nel SIB. Se la richiesta va a buon fine si imposta come stato successivo **WAITING\_RESPONSE** altrimenti si rischedula lo stato corrente con conseguente reiterazione della richiesta.
- Senza Prenotazione: Se la simulazione è stata eseguita senza prenotazione viene scelto casualmente un GCP tra i 3 più vicini e il veicolo si dirige direttamente verso di esso passando allo stato **GO\_TO\_RECHARGE**.

**WAITING\_RESPONSE**: il veicolo interroga il SIB in cerca della risposta da parte del CS. La ricerca è eseguita tramite query SPARQL. Se fallisce o restituisce un risultato vuoto (non sono disponibili opzioni di ricarica conformi alla richiesta), il veicolo torna allo stato **DRIVING** con reiterazione della richiesta e conseguente diminuzione l'energia richiesta e

aumentando del lasso di tempo entro il quale si è disposti a caricarsi. Se la query restituisce una risposta, vengono analizzate le opzioni di ricarica in essa contenute e, in base al comportamento definito in **DriverBehaviour**, ne viene scelta una. Lo stato successivo sarà **WAITING\_CONFIRM**.

**WAITING\_CONFIRM**: il veicolo interroga il SIB in cerca della conferma da parte del CS. Analogamente a quanto succede nello stato precedente, se la ricerca fallisce si torna in stato **DRIVING**. In caso di successo si imposta come destinazione la strada contenente la colonnina in cui avverrà. Se il tempo mancante alla ricarica supera il quarto d'ora, il veicolo passa in stato **PARKING** in attesa dell'orario della ricarica. Questo comportamento evidenzia il fatto che gli utenti che dispongono della prenotazione sono meno ansiosi rispetto a quelli che, in mancanza di prenotazione, sono costretti a provare tutti i GCP della città fino a trovare un EVSE libero. Se il tempo che manca alla ricarica è minore di un quarto d'ora il veicolo si dirige verso al GCP corrispondente passando allo stato **GO\_TO\_RECHARGE**

**PARKING**: il veicolo si parcheggia nella prima strada disponibile in attesa dell'ora di inizio della ricarica. Al *risveglio* lo stato successivo diviene **GO\_TO\_RECHARGE**.

**GO\_TO\_RECHARGE**: il veicolo si dirige verso il GCP controllando ad ogni iterazione se è contenuto nella strada corrente. Giunto nella strada in cui si trova il GCP il veicolo si parcheggia nel primo punto disponibile (risulta difficile fermare il veicolo nel punto esatto in cui si trova il GCP). A questo punto si presentano due casistiche:

- Con Prenotazione: se la colonnina è occupata, il veicolo evidentemente giunto in anticipo, si mette in coda in attesa del suo turno passando allo stato **WAITING\_EVSE** altrimenti inizia la ricarica passando allo stato **CHARGING**.
- Senza Prenotazione: si controlla la disponibilità di EVSE liberi e in caso affermativo inizia la ricarica con passaggio allo stato

**CHARGING.** In assenza di EVSE disponibili si interroga il modulo **DriverBehaviour** che stabilisce se attendere la fine della ricarica del veicolo che occupa correntemente l'EVSE selezionato con passaggio allo stato **WAITING\_EVSE**. In caso contrario si sceglie casualmente un GCP tra i tre più vicini che non siano già stati visitati e ci si dirige verso di esso con passaggio allo stato **GO\_TO\_RECHARGE**.

**WAITING\_EVSE:** rappresenta l'attesa presso un EVSE. Non viene schedulato nessun messaggio poiché è compito del veicolo attualmente in carica "risvegliare" il veicolo in attesa. Lo stato successivo al "risveglio" è **CHARGING**

**CHARGING:** Rappresenta lo stato in cui il veicolo si sta caricando. Si rimane in questo stato finché la carica non è completa oppure, nel caso di prenotazione attiva, fino al raggiungimento dell'ora di fine ricarica. Se raggiunto il termine dell'intervallo di ricarica il veicolo non ha raggiunto la ricarica completa può permanere presso l'EVSE nel caso in cui il veicolo con la prenotazione successiva sia in ritardo. Il veicolo in questo stato viene colorato di giallo per distinguerlo dai veicoli parcheggiati (Fig. 4.5).

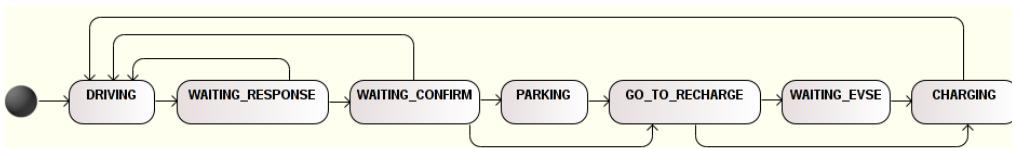


Figura 4.6: Automa a stati finiti di descrizione del veicolo.

Al termine del ciclo di vita del modulo si provvede all'eliminazione dei dati relativi al veicolo dal SIB.

### Sincronizzazione tra tempo simulato e tempo reale

Per permettere una corretta gestione delle prenotazioni è stato necessario sincronizzare il tempo reale con quello simulato. Per ottenere questo risultato viene ottenuto il tempo reale all'inizio della simulazione e ad esso viene

sommato il tempo di simulazione. Il tempo simulato rapportato a quello reale si ottiene con la funzione `getRelativeRealTime()` contenuta nel modulo `CarLogic`. Questa funzionalità non influisce con il CS dal momento che lavora solo con lavora solo con le date che arrivano all'interno delle richieste senza far riferimento al tempo reale.

#### 4.2.4 Battery

Il modulo fornisce il modello di consumo energetico del veicolo. Non è esatto parlare di modello della batteria dal momento che le equazioni usate sono relative al lavoro e non strettamente legate all'elettrotecnica poiché troppo complesse da simulare (Fig. 4.7). Il modello implementato rimane abbastanza fedele alla realtà in virtù del fatto che è stato validato con dati sperimentali raccolti durante la visita al CRF.

Determinante al fine di modellare e validare il consumo è stato il lavoro di Alfredo D'Elia prima e Marco di Nicola ([16]) dopo. Il modello attualmente tiene conto della pendenza della strada grazie alla quale si può calcolare l'energia richiesta in salita e quella guadagnata in discesa. A questo si aggiunge la ricarica dovuta alla frenata rigenerativa.

Il ciclo di vita del modulo batteria è determinato dall'auto-invio di messaggi la cui schedulazione è indipendente da quella del modulo `CarLogic`.

Il modulo `Battery` può assumere due stati: `CHARGING` e `DISCHARGING`, definiti nell'enumerazione `BatteryState`. Le relative funzioni handler sono `handleDischarge` e `handleCharge`. Lo stato della batteria viene modificato da `CarLogic`. Giunti a una colonnina viene impostato lo stato `CHARGING`. Si passa inoltre a `Battery` un riferimento all'EVSE corrispondente il quale fornisce le informazioni sulla potenza della colonnina e quindi il tempo necessario alla ricarica, terminata la quale `CarLogic` imposta lo stato del modulo batteria in `DISCHARGING` e dirige il veicolo verso una destinazione casuale.

Il modulo `Battery` ha anche la funzione di eliminare il veicolo dalla simulazione quando termina la carica della batteria.

## I parametri

Elenco nel seguito i parametri che caratterizzano il modulo batteria. I valori di default sono relativi al Fiat Daily fornito dal CRF in quanto disponendo dei dati sperimentali abbiamo potuto validare al meglio per confronto quelli generati dalle simulazioni.

- **manufacturer:** costruttore della batteria impostato di default a “Siemens” in quanto partner del progetto IoE;
- **engineEfficense:** efficienza della gestione energetica del motore. Varia tra 0 e 1.
- **socPerc:** carica iniziale del veicolo (State Of Charge). Varia da 0 a 1, dove 1 indica una quantità di carica pari alla capacità della batteria;
- **capacity:** capacità della batteria misurata in Kilowattora (kWh);
- **maxVoltage:** voltaggio massimo erogato misurato in Volt (V);
- **voltage:** voltaggio corrente di erogazione in Volt (V);
- **stateOfHealth:** stato di vita della batteria. Varia tra 0 e 1. Attualmente non è considerato nel modello;
- **maxCurrentIn:** massima intensità di corrente in entrata misurata in Ampere (A);
- **maxCurrentOut:** massima intensità di corrente in uscita misurata in Ampere (A);
- **nominalTempearture:** massima temperatura a cui può lavorare il motore misurata in Gradi Celsius (°C). Attualmente non è considerata nel modello.
- **recordVectors:** indica se registrare o meno le statistiche sulla batteria. Questi dati tendono a far crescere molto la dimensione dei file che li contengono;
- **regenerativeBrakingEfficiency:** efficienza della frenata rigenerativa;

## Consumo del veicolo

Il modello di consumo è implementato nella funzione `handleDischarge()`.

I dati necessari al calcolo sono:

- **Velocità attuale:** fornita da Veins che ne tiene bufferizzato il valore senza eseguire comandi tramite TraCI. A volte, a veicolo fermo, Veins ricorda erroneamente il valore della velocità precedente la fermata provocando un consumo della batteria anche a veicolo parcheggiato. Risulta quindi necessario verificare manualmente che il veicolo non sia parcheggiato.
- **Accelerazione:** poiché non è fornita da TraCI occorre calcolarla come differenza tra la velocità attuale e quella registrata nell'ultima chiamata a `handleDischarge()` rapportata al tempo simulato trascorso.
- **Angolo di inclinazione stradale:** indicato con  $\alpha$  è fornito dalla funzione `getInclinationRad()` che lo ricava a partire da 2 punti nel piano tridimensionale determinata dalla funzione `getLatLonAlt()` di `CarLogic` mediante una doppia chiamata a SUMO. La prima necessaria ad ottenere la posizione sulla strada corrente, la seconda per effettuare la sua conversione in latitudine, longitudine, altitudine. Fortuna vuole che questa feature sia stata recentemente introdotta in SUMO.
- **La quantità di carica:** poiché i calcoli successivi restituiscono valori in kWh occorre convertire la quantità di carica espressa in percentuale (`socPerc`) in kWh con la formula:  $soc_{kWh} = soc\% \cdot capacity$ .

Le funzioni necessarie a calcolare distanza e inclinazione a partire da punti in 3 dimensioni sono state parzialmente ereditate dalla libreria Unibo-GeoTools e si trovano nel file `Util.cc`. Si noti che la distanza viene calcolata attraverso applicazione di proiezione ortogonale (`getEquiRectangularApproximationDistance()`) che non è la formula più precisa per la distanza tra due punti espressi in coordinate latitudine/longitudine a causa della curvatura terrestre. Ma viste le brevi distanze in gioco quindi ridotto l'errore che ne deriva, la maggiore velocità di esecuzione ha determinato la scelta del

suo utilizzo al posto di formule più precise come la formula dell'emisenverso, più onerosa in termini di performance.

Nello spostamento del veicolo sono considerate tre forme diverse di dispendio energetico :

- $L_m$ : lavoro compiuto dal motore per far muovere il veicolo.
- $L_g$ : lavoro necessario a superare l'attrito delle gomme sull'asfalto.
- $L_a$ : lavoro necessario a superare la resistenza dell'aria.

Considerando:

$$m \cdot a = F - m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

La forza necessaria a spostare il veicolo tenendo conto della pendenza è:

$$F = m \cdot (a + g) \cdot \sin \alpha$$

Ne segue che il lavoro necessario a spostare il veicolo è:

$$L_m = \frac{1}{engineEfficiency} \cdot \Delta t \cdot F \cdot \frac{V + V_{old}}{2}$$

La massa del veicolo ( $m$ ) è fornita dai parametri del modulo **CarLogic** precedentemente introdotti. L'efficienza del motore è definita tra i parametri del modulo **Battery**.

Il lavoro  $L_g$  per vincere l'attrito delle gomme sull'asfalto è dato da:

$$L_g = \frac{1}{engineEfficiency} \cdot \Delta t \cdot (m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot cRoll) \cdot \frac{V + V_{old}}{2}$$

dove  $cRoll$ , introdotto in **CarLogic**, è l'attrito delle gomme sull'asfalto.

Infine il lavoro necessario a vincere la resistenza dell'aria è:

$$L_a = \frac{1}{engineEfficiency} \cdot \Delta t \cdot \frac{(\rho_{air} \cdot cDrag \cdot across)}{2} \cdot \left( \frac{V + V_{old}}{2} \right)^3$$

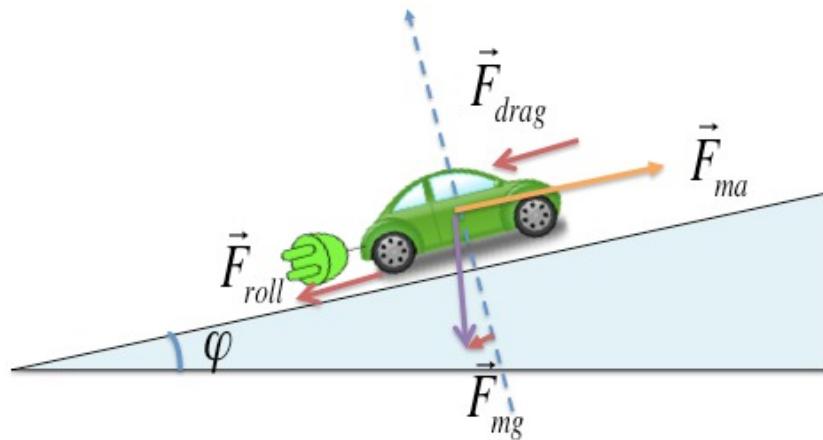


Figura 4.7: Schematizzazione del modello di consumo del veicolo

Ne consegue che il consumo energetico totale, espresso in kWh è dato da:

$$\boxed{energyConsumption = \frac{L_m + L_g + L_a}{3600000}}$$

che viene sottratto alla quantità di carica in kWh precedentemente calcolata che viene ritrasformata in percentuale.

### Frenata Rigenerativa

Il freno rigenerativo è un particolare tipo di freno che recupera energia utile estraendola da una quota di quella che normalmente si dissipa in aria sotto forma di calore durante il rallentamento del veicolo (diminuzione di energia cinetica). Nel nostro sistema la frenata è determinata da accelerazione negativa. In questo caso  $L_m$ , che contribuirebbe all'energia consumata dal veicolo, non viene considerato e al suo posto viene considerata l'energia cinetica prodotta nella decelerazione del veicolo in Joule (J):

$$\boxed{E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V^2 - V_{old}^2) \cdot \eta_{rig}}$$

Dove  $\eta_{rig}$  è la percentuale di energia recuperabile da quella prodotta rappresentata con il parametro di **Battery: regenerativeBrakingEfficiency**. Questo dipende dall'efficienza del meccanismo di frenata/rigenerazione che

ha un limite teorico del 30% (valore di default) prodotto da recenti studi del IDSC (Institute for Dynamic Systems and Control) svizzero.

Determinante per il raggiungimento di questo risultato è stato il contributo di Marco Di Nicola.

### Ricarica del veicolo

Il modello di ricarica è implementato nella funzione `handleCharge()`. Per determinare la carica è necessario disporre delle informazioni sull'EVSE al quale si è allacciati. Un'istanza di un oggetto che rappresenta l'EVSE viene passata al modulo `Battery` dal modulo `CarLogic`.

Viene presa la potenza della colonnina espressa in kW ( $power_{kW}$ ) e a ogni iterazione il guadagno energetico viene così calcolato:

$$soc_{kWh} = soc_{kWh} + (power_{kW} \cdot \Delta t) \cdot 3600$$

Quando la carica raggiunge la capacità della batteria il processo viene interrotto e il veicolo lascia la colonnina.

#### 4.2.5 Driver Behaviour

Il modulo realizza la modellazione di alcuni comportamenti dell'autista del veicolo. Attualmente non è particolarmente evoluto in quanto, essendo stato introdotto successivamente a `CarLogic`, parte della logica è implementata in quest'ultimo.

### I parametri

I parametri di questo modulo sono rappresentati da coefficienti statistici che determinano la propensione dell'autista nei confronti di un certo comportamento.

- `parkingProbabilityWaitingNoRes`: indica la propensione a fermarsi presso una colonnina in attesa che termini il veicolo attualmente in carica. Usato in modalità senza prenotazione.

- **parkingProbabilityWaitingRes**: indica la propensione a parcheggiare il veicolo in attesa dell'arrivo dell'ora di ricarica. Unsato in modalità con prenotazione.
- **maxWaitingTime**: indica il tempo massimo che l'utente, senza prenotazione, è disposto a fermarsi presso la colonnina in attesa che questa si liberi.
- **minWaitingTime**: indica il tempo minimo che l'utente, senza prenotazione, è disposto a fermarsi presso la colonnina in attesa che questa si liberi.
- **chooseTheNearest**: indica la propensione dell'utente, con prenotazione, a scegliere la stazione di ricarica più vicina geograficamente rispetto a quella più prossima temporalmente (ovvero in termini di attesa di inizio della ricarica)

### Attesa presso l'EVSE

In assenza di prenotazione l'utente che deve effettuare la ricarica presso un EVSE occupato interroga questo modulo richiedendo se deve fermarsi ad attendere oppure no tramite la funzione `waitForEVSE()`. Questa funzione genera un valore random compreso tra `maxWaitingTime` e `minWaitingTime` che se maggiore del tempo di attesa presso la colonnina induce l'utente ad attendere il suo turno.

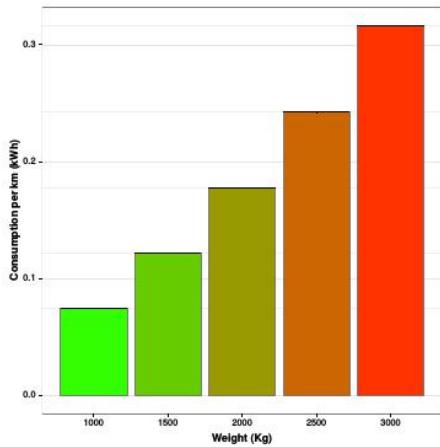
## 4.3 Risultati Simulazioni

In questa sezione verranno esposti i risultati di alcune simulazioni.

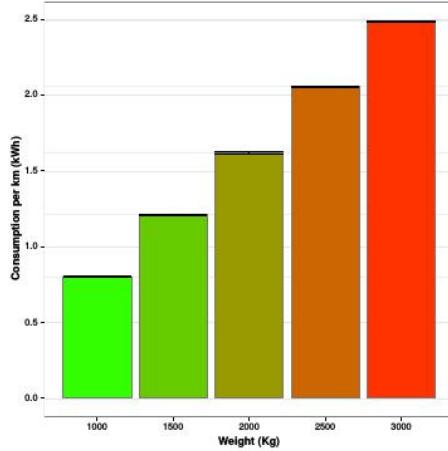
### 4.3.1 Consumo del veicolo

I grafici sottostanti mostrano come al variare di peso del veicolo e pendenza della strada il consumo varia sensibilmente.

Nel primo grafico (Fig. 4.8a) si può vedere in ordinata il consumo del veicolo per ogni km espresso in kWh. Il percorso ha una pendenza di 0°. Si



(a) Consumo del veicolo al variare del peso. Pendenza  $0^\circ$



(b) Consumo del veicolo al variare del peso. Pendenza  $23^\circ$

Figura 4.8: Modello di consumo del veicolo elettrico

noti che al variare del peso il consumo aumenta sensibilmente passando da un minimo di 0.08 kWh con un veicolo di 1000 kg a un massimo di 0.32 kWh nel caso di 4000 kg.

Nel secondo grafico (Fig. 4.8b) si può vedere in ordinata il consumo del veicolo per ogni km espresso in kWh. Il percorso ha una pendenza di  $23^\circ$ . Si noti che il consumo è quasi 10 volte maggiore rispetto al grafico precedente. Si passa da un minimo di 0.8 kWh (10 volte il consumo rispetto a pendenza  $0^\circ$ ) con un veicolo di 1000 kg a un massimo di 2.5 kWh (circa 7.5 volte rispetto a pendenza  $0^\circ$ ) nel caso di 4000 kg.

### 4.3.2 Occupazione delle colonnine

I grafici esposti in questa sezione mostrano l'occupazione delle colonnine al variare del numero di veicoli sia con la prenotazione attiva che con la prenotazione non attiva. Guardando il grafico 4.9a può sembrare che senza prenotazione l'occupazione delle colonnine sia maggiore rispetto alla modalità con prenotazione. Questo è vero ma solo in parte in quanto il grafico va rapportato a quello di fianco 4.9b che indica il numero di tentativi di ricarica falliti. La maggior occupazione inoltre è dovuta all'assenza di traffico intenso

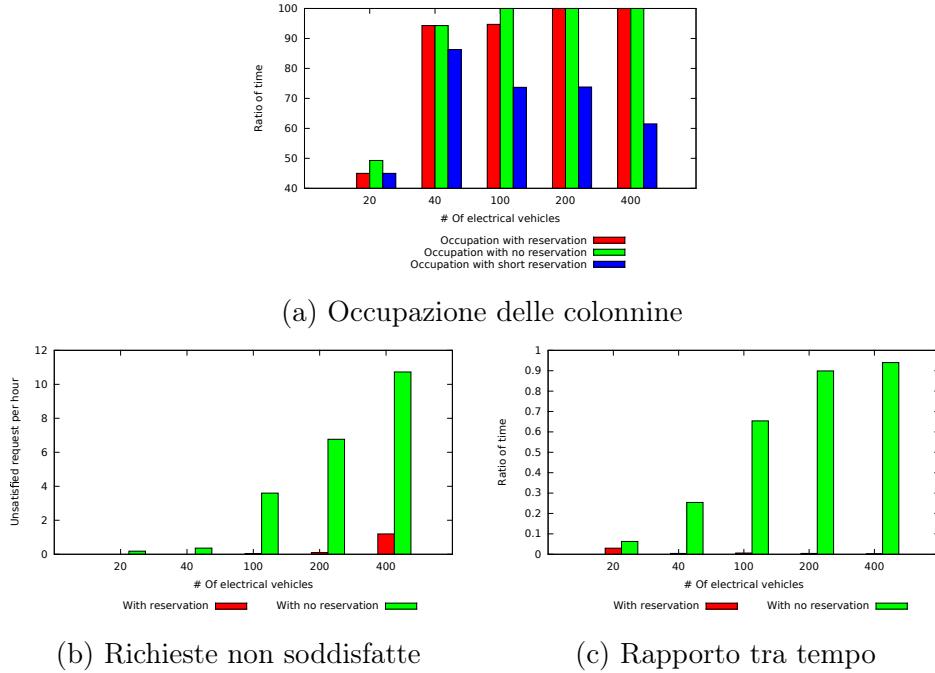


Figura 4.9

che avrebbe richiesto un tempo di computazione eccessivo per le nostre disponibilità. Infatti, in mancanza di traffico, i veicoli senza prenotazione iniziano a girare tra le colonnine finché non ne trovano una libera determinando che le colonnine siano visitate con elevata frequenza. Questo non accade con la prenotazione poiché i veicoli si parcheggiano in attesa dell'ora di ricarica che può essere considerato un notevole vantaggio per l'utente che impiega il suo tempo come meglio crede piuttosto che facendo il *polling* tra le colonnine.

In Fig. 4.9c viene mostrato il rapporto fra il tempo perso per andare a ricaricarsi e il tempo in cui si guida normalmente. È chiaramente vantaggioso nel caso delle prenotazioni. Il che indica che gli utenti possono essere più rilassati.



# Capitolo 5

## Conclusioni

Al termine di questa esperienza durata oltre un anno posso asserire di aver portato un grande contributo al progetto Internet of Energy su diversi fronti. Partendo da un progetto già esistente, ma in fase estremamente embrionale, ho creato una piattaforma solida e modulare.

L'applicazione mobile è passata da essere uno strumento puramente dimostrativo a fornire la possibilità di interfacciarsi con veicoli reali.

Il Servizio Cittadino è stato ulteriormente migliorato ed ora è anche accessibile dall'esterno senza piattaforma simulativa in esecuzione.

Infine la piattaforma di simulazione ha raggiunto un notevole grado di realismo e stabilità che hanno portato ad aderire appieno ai requisiti del progetto IoE.

Ritengo pertanto di aver contribuito al progetto e di aver svolto un lavoro che, spero, possa vedere la luce ed essere utilizzato nei prossimi anni all'interno di questi contesti.

## **5. Conclusioni**

---

# Capitolo 6

## Ringraziamenti

Desidero ringraziare il professori Luciano Bononi e Tullio Salomon Cinotti per aver creduto in me e avermi dato la possibilità di partecipare a questo progetto. È stata un esperienza lunga e impegnativa ma estremamente formante e per certi versi dipendente. Indimenticabili saranno gli innumerevoli meeting (brain-storming) che hanno determinato l'evoluzione del progetto.

Un grande ringraziamento va a Federico Montori, il *papà* di questo progetto. In brevissimo tempo ha gettato le basi che hanno permesso a questo progetto crescere fino all'attuale stato di maturità.

Come non ringraziare Luca Bedogni e Marco Di Felice che sono stati sempre presenti. Grazie a loro ho imparato cosa significa fare simulazioni, le giornate passate nel Laboratorio di Reti Wireless sono state al contempo frustranti ed eccitanti. Innumerevoli le ore passate a tentare di raffinare i modelli di simulazione al fine di avvicinarli alla realtà.

Alfredo D'Elia come si farebbe senza di lui? È stato la *spina d'orsale* del progetto, l'interfaccia tra le idee, a volte eccessivamente visionarie, dei professori ed il sottoscritto che le doveva implementare. La sua capacità di problem solving, anche su problemi che non gli competono direttamente, mi ha sempre sbalordito.

Ringrazio la mia ragazza per avermi incentivato a iniziare a scrivere questa tesi, se non fosse stato per lei non avrei scritto nemmeno una pagina ma avrei continuato a *giocare* con il simulatore.

Infine ringrazio la mia famiglia che mi ha supportato e ha creduto in

## **6. Ringraziamenti**

---

me, chiudendo spesso un occhio sulla mia assenza in casa. E nondimeno ha pagato un anno in più di retta per permettermi di seguire i miei interessi.

# Appendice A

## Installazione Ambiente

### A.1 Installazione

Per far interagire tutti gli elementi necessari alla simulazione è necessario installare numerosi framework e librerie. In questa sezione verrà data una guida il più esaustiva possibile per installare e configurare un ambiente funzionante. Verranno inoltre forniti i link specifici per l'installazione di ogni componente qualora insorgano delle problematiche.

Il procedimento di installazione è testato e funzionante su Debian 7 Wheezy (con versioni precedenti potrebbero esserci problemi con le versioni delle librerie) e Ubuntu dalla versione *12.10* alla *13.10*. È stato anche possibile completare l'installazione su MacOSX ma non essendomene occupato personalmente non posso assicurare nulla al riguardo.

#### A.1.1 Installazioni preliminari

Questi sono i pacchetti che vanno installati su Debian 7 al fine di installare tutti i componenti successivi. Non è sicuro che siano gli unici necessari. È probabile che lo stesso comando vada bene anche per Ubuntu.

```
1 sudo apt-get install bison flex build-essential zlib1g-dev tk8.4-dev blt-dev libxml2-dev  
libpcap0.8-dev autoconf automake libtool libxerces-c2-dev libproj-dev libproj0  
libfox-1.6-dev libgdal1h libboost-dev
```

### A.1.2 OMNeT++

Al momento di scrivere questo documento la versione usata per il progetto è la 4.4 ma in generale le versioni dalla 4.2 in su dovrebbero andare bene. Questo è il link per la versione 4.4 [http://www.omnetpp.org/omnetpp/cat\\_view/17-downloads/1-omnet-releases](http://www.omnetpp.org/omnetpp/cat_view/17-downloads/1-omnet-releases). Dopo aver scaricato il tar.gz lo si estragga e si proceda con l'installazione:

```
1 ./configure
2 make
3 bin/omnetpp
```

Durante l'installazione verrà detto di inserire alcune variabili d'ambiente nel file .bashrc non dimenticarsi di eseguire queste direttive.

In Ubuntu 13.10 si può assistere a un bug che determina la sparizione dei menu di OMNeT++, per risolverlo è necessario impostare la seguente variabile d'ambiente nel file `~/.basrc`:

```
1 export UBUNTU_MENUPROXY=0
```

per maggiori informazioni guardare questa discussione su StackOverflow <http://stackoverflow.com/questions/19452390/eclipse-menus-dont-show-up-after-upgrading-to-ubuntu-13-10>

### A.1.3 SUMO

Seppur SUMO sia disponibile tra i pacchetti di Debian/Ubuntu è necessario comunque scaricare i sorgenti tramite SVN di una versione successiva alla 15340 e compilarli. Questo perchè la versione attualmente disponibile tramite il gestore di pacchetti, ovvero la 0.19.0, non supporta l'importazione nelle mappe (i file .net.xml) dei dati del profilo altimetrico, fondamentali per avere un modello di consumo energetico del veicolo realistico.

Quindi i comandi necessari, presupponendo di avere Subversion installato, sono:

```
1 svn co https://sumo.svn.sourceforge.net/svnroot/sumo/trunk/sumo
2 make -f Makefile.cvs
3 ./configure
4 make
5 sudo make install
```

Per una trattazione più completa dell'installazione rimando il sito ufficiale [http://sourceforge.net/apps/mediawiki/sumo/index.php?title=Installing\\_Linux\\_Build](http://sourceforge.net/apps/mediawiki/sumo/index.php?title=Installing_Linux_Build)

#### A.1.4 SMART-M3

La tecnologia Smart-M3 forisce la SIB, ovvero il database semantico usato per lo scambio di informazioni tra i vari componenti del sistema. Noi utilizzeremo nello specifico la RedSIB sviluppata da ARCES e basata su un progetto di Nokia (Nokia C Smart M3). La versione supportata dal nostro ambiente è la 0.9 ma anche le successive dovrebbero andare bene. Il link per il download è questo: [http://sourceforge.net/projects/smart-m3/files/Smart-M3-RedSIB\\_0.9/](http://sourceforge.net/projects/smart-m3/files/Smart-M3-RedSIB_0.9/). Una volta estratto il tar.gz al suo interno troveremo sia i sorgenti che i pacchetti per Debian. Nel caso si intenda compilare i sorgenti rimando alle istruzioni contenute all'interno del pacchetto. Qui ci limiteremo a installare i deb attraverso gli script forniti:

```
1 sudo ./install.sh      #per architetture x86  
2 sudo ./install_x64.sh #per architetture amd64
```

All'interno del pacchetto viene data la possibilità di utilizzare Virtuoso come database RDF ma, seppur probabilmente sia più performante, non lo utilizzeremo in quanto è una feature introdotta recentemente e quindi non abbastanza testata.

#### A.1.5 KPI\_Low

La libreria KPI\_Low è un API scritta in C che, attraverso il protocollo SSAP, permette di interfacciarsi alla SIB. È stata scritta da Jussi Kijander, un ricercatore del VTT Technical Research Centre of Finland, e successivamente modificata da Federico Montori di UNIBO per aggiungervi il supporto alle query SPARQL. Io l'ho modificata al fine di rimuovere dei Memory Leak trovati grazie al tool Valgrind. In quanto la versione della libreria non è quella originale è necessario usare la nostra versione che si trova nella cartella `kpi_low_mod` nella root del progetto. Le KPI\_Low necessitano della libreria SCEW per il parsing XML, la quale non si trova

nei repository di Debian/Ubutnu, è quindi necessario scaricarla dal seguente indirizzo <http://nongnu.askapache.com/scew/scew-1.1.3.tar.gz> e compilarla. Una volta scaricata estrarla e spostarsi nella cartella estratta:

```
1 ./configure
2 make
3 sudo make install
```

Adesso possiamo procedere con l'installazione delle KPI\_Low, spostarsi dunque nella cartella **kpi\_low\_mod**:

```
1 ./autogen.sh
2 ./configure
3 make
4 sudo make install
```

per istruzioni più dettagliate guardare il documento **kpi\_low\_mod/KPI-Low.pdf**

### A.1.6 Importare il progetto in OMNeT++

Adesso che abbiamo predisposto l'ambiente possiamo procedere con l'importazione in OMNeT++ del simulatore e con la compilazione. Apriamo OMNeT++, se è il primo avvio ci chiederà che Workspace usare proponendoci uno predefinito, in tal caso noi sceglieremo la cartella **simulator** all'interno della root del progetto. Probabilmente verrà chiesto anche se si vuole abilitare il supporto ai framework MiXiM e INET e se si vogliono importare i porgetti di esmpio, in entrambi i casi diciamo di no. Nel caso in cui il workspace fosse già impostato allora andiamo su **File -> Switch Workspace -> Other...** e selezioniamo la cartella **simulator** nella root del progetto proprio come sopra. Se a seguito della selezione del workspace **simulator** la scheda dei progetti rimane vuota allora andiamo su **File -> Import... -> General/Existing Project into Workspace -> Next** e come root directory scegliamo **simulator**, dovremmo vedere il progetto **veins-2.1** nel riquadro **Projects**, lo selezioniamo e clicchiamo su **Finish**.

A questo punto non rimane che compilare il progetto. La compilazione può avvenire in due modalità:

- **gcc-debug**: Compila includendo le informazioni di debug rendendo possibile l'utilizzo di **gdb** per analizzare il funzionamento del program-

ma. OMNeT++ mette a disposizione un front-end visuale per **gdb** che permette di inserire breakpoint nel sorgente ed eseguire l'avanzamento step a step. Inoltre permette di visualizzare il contenuto delle variabili durante l'esecuzione semplicemente semplicemente spostando il cursore sulla variabile interessata nel riquadro dei sorgenti. Queste funzionalità sono da prendere seriamente in considerazione qualora, a seguito di modifiche, la simulazione dovesse fallire.

- **gcc-release:** Compila non includendo le informazioni di debug e applicando le ottimizzazioni previste dal compilatore **gcc** con il flag **-O2**. Ovviamente questa configurazione è più performante della precedente e andrebbe usata quando, una volta ritenuto stabile il codice, si vogliono eseguire simulazioni batch.

Il cambio di modalità di compilazione si può effettuare tramite:

Tasto DX su **veins-2.1** -> **Build Configurations** -> **Set Active** -> **gcc-debug/gcc-release**.

I file che fanno parte del simulatore si trovano sotto la directory:  
**simulator/veins-2.1/examples/veins**.



# Appendice B

## Vista al Centro Ricerche Fiat

In data martedì 1 gennaio io e Alfredo D'Elia siamo andati a Torino al Centro Ricerche Fiat (CRF). Essendo Fiat un partner IoE ha dato la disponibilità a fornire un loro veicolo elettrico al fine di fare prove di interfacciamento con la tecnologia Blue&Me.

L'importanza di questo evento, al di là di dimostrare la possibilità di interfacciare l'applicazione mobile con un veicolo reale senza apportare particolari modifiche, è determinata dal fatto che raccogliendo i dati forniti dalla centralina del veicolo è possibile verificare l'esattezza del modello di consumo del veicolo implementato nel simulatore. Oltre ai dati forniti dalla centralina ci è stata fornita una costante che indica il consumo medio, espresso in Watt, impiegato da un veicolo per ogni tonnellata per ogni km indipendentemente dal tipo di percorso effettuato. Il dato è confidenziale e quindi non verrà pubblicato in questa tesi. Basti sapere che tale numero si avvicina di molto sia ai dati ottenuti dal Daily che da quelli ottenuti dal simulatore. Non mi sono occupato personalmente della validazione del modello della batteria.

### B.1 Ottenimento dei dati

Per ottenere i dati Fiat ci ha fornito delle librerie appositamente create per interfacciarsi con il prototipo di Daily fornito. Non so se l'interfaccia Blue&Me sia stata implementata solo sul prototipo da noi usato oppure se sia uno standard interno di Fiat, rimane il fatto che i parametri restituiti dalla

centralina sono in costante evoluzione. Infatti, due mesi prima alla data in cui sono andato al CRF, c'è stato un altro incontro. Analizzando i dati raccolti in quell'occasione si possono notare delle differenze significative rispetto a quelli raccolti in mia presenza. Ad esempio era presente un parametro che indicava la distanza percorsa assente nel set di dati raccolto la prima volta.

La libreria di Fiat fornisce i dati con metodologia push: quando un dato cambia la centralina lo invia attraverso l'interfaccia Bluetooth. I dati sono stati scritti su file, aperto in modalità *append*, a mano a mano che venivano inviati all'applicazione per poterli studiare con calma in seguito. Sul file sono stati salvati il timestamp in cui è stato ricevuto il dato, il nome della variabile e il valore della variabile.

Particolarmente soddisfacente è stato vedere l'interfaccia dell'applicazione mobile visualizzare correttamente i dati inviati dal veicolo. Malgrado siano stati necessari non pochi ritocchi al fine di rendere il tutto funzionante.

# Appendice C

## UniboGeoTools

Questa libreria è stata sviluppata da me parallelamente al progetto di laurea. I sorgenti sono disponibili all'indirizzo <https://code.google.com/p/unibo-geotools/>. È interamente scritta in Java e non dipende da nessun'altra libreria, scelta fatta per facilitarne la portabilità.

La libreria fornisce funzioni utili al calcolo del percorso tra due punti, al reperimento dell'altitudine di uno o più punti, distanza tra due coordinate geografiche (con diversi algoritmi in base alla precisione richiesta dal calcolo), compressione di punti attraverso l'algoritmo polylines ecc...

Il principio di base della libreria è fornire delle interfacce (Java) per le sue funzionalità per le quali vengono fornite delle implementazioni di default, nulla impedisce di dare delle implementazioni diverse.

Tutte le classi sono dotate delle relative classi di test necessarie ad assicurarsi l'integrità della libreria in seguito alle modifiche.

Non fornirò informazioni particolarmente approfondite a riguardo in quanto non è oggetto della tesi. Rimango comunque disponibile a rispondere ad eventuali domande all'indirizzo: simone.rondelli2@studio.unibo.it

### C.1 Profilo Altimetrico

L'API fornisce diverse funzione per reperire l'altitudine di uno o più punti a partire dalle loro coordinate geografiche. Nel List. C.1 viene mostrata

l’interfaccia della libreria. Vengono fornite due implementazioni di questa interfaccia:

- **SrtmElevationAPI**: i dati del profilo altimetrico vengono prelevati da un file SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). I file SRTM sono stati raccolti dalla NASA attraverso scansioni satellitari che hanno portato ad ottenere i dati di elevazione di quasi tutto il globo terrestre. I file contengono i dati risultanti da queste scansioni e sapendo l’algoritmo di codifica risulta semplice ricavarne il valore di altitudine del punto desiderato. Ovviamente è necessario possedere i file SRTM, a tal proposito la libreria fornisce una funzione per scaricare i file direttamente da internet.
- **GoogleElevationAPI**: i dati del profilo altimetrico vengono prelevati da un web-service REST fornito da Google. Questo approccio ha i limiti imposti da Google per quanto riguarda la dimensione massima della richiesta e il numero massimo di volte che può essere iterata. Questi limiti possono essere alzati pagando.

```

1 package it.unibo.elevation;
2
3 /**
4  * Defines the base method of Elevation API
5  * @author Simone Rondelli - simone.rondelli2@studio.unibo.it
6  */
7 public interface ElevationAPI {
8
9     public double getElevation(double lat, double lon) throws Exception;
10
11    public double getElevation(GeoPoint p) throws Exception;
12
13    public void setElevation(GeoPoint point) throws Exception;
14
15    public List<GeoPoint> getElevations(List<GeoPoint> points) throws Exception;
16
17    public void setElevations(List<GeoPoint> points) throws Exception;
18
19    public List<GeoPoint> getElevations(String polyline) throws Exception;
20
21 }
```

Listato C.1: Interfaccia di Elevation API

## C.2 Percorso tra due punti

Grazie alle funzionalità di questa API possiamo ricavare il percorso stradale tra due punti. Vengono inoltre fornite le informazioni descrittive del percorso (es: “gira a destra”, “vai avanti 500 metri” ecc...). L’interfaccia di questa libreria viene mostrata nel List.C.2. Da notare l’utilizzo dei waypoints i quali indicano le deviazioni rispetto al percorso impostato. Le funzioni restituiscono una lista in quanto possono esistere molteplici percorsi che uniscono due punti.

Attualmente esiste una sola implementazione di questa API:

- **GoogleDirectionApi**: Le informazioni sul percorso vengono prelevate tramite web-service REST forniti da Google. Come nel caso delle **GoogleElevationAPI** bisogna prestare attenzione ai limiti imposti da Google per quanto riguarda il numero e la dimensione delle richieste.

```
1 package it.unibo.direction;
2
3 /**
4  * Defines the base method of Direction API
5  * @author Simone Rondelli - simone.rondelli2@studio.unibo.it
6  */
7 public interface DirectionAPI {
8
9     public List<Route> getDirectionsBetween(String from, String to) throws Exception;
10
11    public List<Route> getDirectionsBetween(GeoPoint from, GeoPoint to) throws
12        Exception;
13
14    public List<Route> getDirectionsBetween(String from, String to, List<String>
15        waypoints) throws Exception;
16
17    public List<Route> getDirectionsBetween(GeoPoint from, GeoPoint to,
18        List<GeoPoint> waypoints) throws Exception;
19}
```

Listato C.2: Interfaccia di Direction API



# Elenco delle figure

1.1	Overview del progetto Internet of Energy . . . . .	8
2.1	Architettura Smart-M3 . . . . .	12
2.2	Architetture SIB e KP . . . . .	14
2.3	Rappresentazione grafica delle classi dell'ontologia . . . . .	22
2.4	Sequence diagram che schematizza il protocollo di richiesta . .	27
2.5	Architettura proposta per il progetto . . . . .	30
2.6	Memory Leak del SIB che avveniva quando la connessione viene interrotta da un socket-timeout . . . . .	47
3.1	Ciclo di vita Activity e Service Android . . . . .	52
4.1	Simulazione di bologna in SUMO . . . . .	69
4.2	Architettura Veins . . . . .	72
4.3	Architettura Veins . . . . .	73
4.4	Moduli OMNeT++ . . . . .	75
4.5	Veicolo elettrico: verde, Veicolo in carica: giallo, Veicolo a combustibile fossile: rosso . . . . .	80
4.6	Automa a stati finiti di descrizione del veicolo. . . . .	84
4.7	Schematizzazione del modello di consumo del veicolo . . . . .	89
4.8	Modello di consumo del veicolo elettrico . . . . .	92
4.9	. . . . .	93



# Elenco dei Listati

2.1	Entity di esempio . . . . .	33
2.2	Implementazione di ObjectPool . . . . .	39
2.3	Creazione Pool di Thread . . . . .	40
2.4	Corpo di RequestDispatcher . . . . .	44
2.5	Inserimento della <b>CargeRequest</b> e attesa della risposta . . . . .	45
2.6	Handler associato al messaggio di risposta . . . . .	45
2.7	Risposta ricavata a partire dall'uri, test del risultato . . . . .	46
4.1	Autoschedulazione Messaggio . . . . .	81
4.2	Funzione di scelta dello stato . . . . .	81
C.1	Interfaccia di Elevation API . . . . .	108
C.2	Interfaccia di Direction API . . . . .	109



# Riferimenti bibliografici

## Manuali cartacei

- [1] Tarik Al-Ani. «Android In-Vehicle Infotainment System (AIVI)». Tesi di dott. University of Otago, 2012.
- [2] Luca Bedogni et al. «An interoperable architecture for mobile smart services over the internet of energy». In: *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2013 IEEE 14th International Symposium and Workshops on a*. IEEE. 2013, pp. 1–6.
- [3] Luca Bedogni et al. «Machine-to-Machine Communication over TV White Spaces for Smart Metering Applications». In: *Computer Communications and Networks (ICCCN), 2013 22nd International Conference on*. IEEE. 2013, pp. 1–7.
- [4] Michael Behrisch et al. «Sumo-simulation of urban mobility-an overview». In: *SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*. 2011, pp. 55–60.
- [5] Luca Cabibbo Craig Larman. *Applicare UML e i pattern: analisi e progettazione orientata agli oggetti*. Pearson Italia S.p.a, 2005.
- [6] Alfredo D'Elia et al. *A semantic event processing engine supporting information level interoperability in ambient intelligence*. online. 2013. URL: <http://amsacta.unibo.it/3877/>.
- [7] Marco Di Felice, Luca Bedogni e Luciano Bononi. «Dynamic backbone for fast information delivery in vehicular ad hoc networks: an evaluation study». In: *Proceedings of the 8th ACM Symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks*. ACM. 2011, pp. 1–8.

- [9] Marco Di Felice, Luca Bedogni e Luciano Bononi. «Group Communication on Highways: An Evaluation Study of Geocast Protocols and Applications». In: *Ad Hoc Networks* (2012).
- [11] Jukka Honkola et al. «Smart-M3 Information Sharing Platform». In: *Trans. of the IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)* (2010).
- [12] Hilal Katmale. «Assessment of Future Vehicle Transportation Options and Their Impact on the Electric Grid - Report». In: *DOE/NETL-2010/1466* (2011).
- [13] Andreas Köpke et al. «Simulating wireless and mobile networks in OMNeT++ the MiXiM vision». In: *Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics e Telecommunications Engineering). 2008, p. 71.
- [15] Federico Montori. *Design and evaluation of an experimental platform about Internet of Energy for Electrical Vehicles*. online. 2012. URL: <http://amslaurea.unibo.it/3900/>.
- [16] Marco di Nicola. *Modellazione e analisi del consumo energetico di veicoli elettrici*. cartaceo. 2014.
- [17] E. Ovaska e A .Toninelli T.S. Cinotti. «The Design Principles and Practices of Interoperable Smart Spaces». In: *Advanced Design Approaches to Emerging Software Systems* (2011).
- [18] Christoph Sommer, Reinhard German e Falko Dressler. «Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis». In: *IEEE Transactions on Mobile Computing* 10.1 (gen. 2011), pp. 3–15. DOI: [10.1109/TMC.2010.133](https://doi.org/10.1109/TMC.2010.133).
- [19] Luca Vetti Tagliati. *Java quality programming. I migliori consigli per scrivere codice di qualità*. Tecniche Nuove, 2008.
- [22] András Varga. *The OMNeT++ Discrete Event Simulation System (<http://www.omnetpp.org>)*, European Simulation Multiconference (ESM'2001), Prague, Czech Republic. 2001.

- [23] Axel Wegener et al. «TraCI: an interface for coupling road traffic and network simulators». In: *Proceedings of the 11th communications and networking simulation symposium*. ACM. 2008, pp. 155–163.

### Siti Web consultati

- [8] Emanuele Dinaro. *Android – Services*. 2012. URL: <http://emanueledinardo.com/wp/android-services/>.
- [10] Apache Foundation. *Apache Jena*. 2011. URL: <https://jena.apache.org/>.
- [14] Marco Lecce. *Guida Android*. 2011. URL: <http://www.html.it/guide/guida-android/>.
- [20] Péter Török. *Is object pooling a deprecated technique?* 2011. URL: <http://programmers.stackexchange.com/questions/115163/is-object-pooling-a-deprecated-technique>.
- [21] Oleg Varaksin. *Simple and lightweight pool implementation*. 2013. URL: <http://www.javacodegeeks.com/2013/08/simple-and-lightweight-pool-implementation.html>.
- [24] Wikipedia. *Blue&Me*. 2010. URL: <http://it.wikipedia.org/wiki/Blue%5C%7B%7DMe>.