



# siimple

Strumenti e Modelli Per La mobilità sostenibile

## R.2.1 Report sullo stato dell'arte (aggiornamento nel mese M25)



UNIONE EUROPEA  
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



SARDEGNA  
RICERCHE

Progetto finanziato con fondi *POR FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I*  
*"RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE"*.

## INFORMAZIONI SUL PROGETTO

<b>Numero del progetto</b>	N/A	<b>Acronimo</b>	SIMPLE
<b>Titolo completo</b>	Strumenti e Modelli Per La mobilità sostenibile		
<b>Soggetto</b>	Progetto CLUSTER ICT		
<b>Data inizio</b>	01/02/2018		
<b>Durata in mese</b>	30		
<b>Coordinatore</b>	UniCA – Università degli Studi di Cagliari		
<b>URL del progetto</b>	<a href="http://www.simple-cluster.it">http://www.simple-cluster.it</a>		

## INFORMAZIONI SUL DOCUMENTO

<b>Numero del Deliverable</b>	1.2	<b>Titolo</b>	R.2.1 Report sullo stato dell'arte (aggiornamento nel mese M25)
<b>Numero del Workpackage</b>	1	<b>Titolo</b>	Raccolta esigenze e animazione
<b>Data di scadenza del deliverable</b>	29/02/2020		
<b>Data di sottomissione del deliverable</b>	11/03/2020		
<b>Autore/i responsabile/i</b>	MARCO GARAU		
<b>Livello di diffusione</b>	Non applicable		

## MODIFICHE DEL DOCUMENTO

Data	Autore	Modifiche	Versione
24/01/2020	Lucia Pintor	Prima stesura del capitolo riguardo il VRP	v0.0
13/02/2020	Lucia Pintor	Aggiunta capitolo MaaS	v0.1
14/02/2020	Matteo Gravellu	Aggiornamento MaaS e VRP	v0.2
5/03/2020	Marco Garau	Abstract, Descrizione documento, Introduzione Sezione Validazione Automatica	v0.3
9/03/2020	Marco Garau	Concetti sul posizionamento indoor	v0.4
10/03/2020	Marco Garau	Uso beacon nel posizionamento indoor	v0.5
11/03/2020	Marco Garau	Casi pratici applicabili a Beep4Me	v0.6
11/03/2020	Lucia Pintor	Revisione	v1.0

# Tavola dei contenuti

<b>Sommario</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Abbreviazioni</b>	<b>5</b>
<b>Abbreviazioni Vehicle Routing Problem</b>	<b>6</b>
<b>Stato dell'arte sulla validazione automatica</b>	<b>7</b>
<b>Autovalidazione</b>	<b>7</b>
<b>Introduzione</b>	<b>7</b>
<b>Metodi di Posizionamento Navigazione e Rilevazione di Prossimità Indoor</b>	<b>8</b>
<b>Posizionamento indoor tramite beacon BLE e smartphone</b>	<b>10</b>
<b>Alcuni casi pratici</b>	<b>11</b>
<b>Altre tecnologie di rilevazione della presenza in ambienti pubblici</b>	<b>12</b>
<b>Rilevazione di presenza con Immagini e video</b>	<b>12</b>
<b>Stato dell'arte sulle soluzioni di mobilità per le aree a domanda debole</b>	<b>13</b>
<b>Mobility as a Service (MaaS)</b>	<b>13</b>
<b>Introduzione</b>	<b>13</b>

<b>Piattaforme di aggregazione</b>	<b>13</b>
<b>Alcune applicazioni di MaaS nel mondo</b>	<b>15</b>
<b>Whim</b>	<b>15</b>
<b>Moovit</b>	<b>15</b>
<b>Free2Move</b>	<b>15</b>
<b>Vehicle Routing Problem</b>	<b>15</b>
<b>Introduzione</b>	<b>15</b>
<b>Implementazioni di algoritmi VRP analizzate</b>	<b>19</b>
<b>OR-Tools - Routing</b>	<b>19</b>
<b>VROOM</b>	<b>19</b>
<b>PG-Routing</b>	<b>19</b>
<b>Google Direction API</b>	<b>20</b>
<b>Conclusioni</b>	<b>20</b>

# 1 Sommario

## 1.1 Abstract

Questa relazione ha lo scopo di aggiornare il precedente documento riguardante lo studio dello stato dell'arte sulle tecnologie e approcci architetturali utili ad affrontare le problematiche evidenziate dalle aziende di TPL appartenenti al Cluster.

Il particolare verranno descritti alcuni approcci per raggiungere soluzioni a problemi specifici e alcune architetture/sistemi per tali soluzioni, che sono stati di supporto allo sviluppo dei due prototipi Beep4Me (validazione automatica per la semplificazione del clearing del trasporto integrato basata sui beacon BLE) e PoolBus (aggregazione di domanda e offerta in aree a domanda debole).

Il resto del documento è organizzato come segue:

- nella sezione 2 viene ripresa la problematica riguardante il clearing, descrivendo la soluzione proposta e le tecnologie utili alla sua soluzione discusse nel precedente report sullo stato dell'arte. Successivamente vengono brevemente descritte alcune soluzioni implementative/architetturali riguardanti la tecnologia di sensing (beacon BLE) scelta per il prototipo Beep4Me
- la sezione 3 affronta il discorso della MaaS, delle piattaforme di aggregazione e degli algoritmi di routing utili ad affrontare specifiche problematiche riguardanti il prototipo PoolBus per l'offerta di un servizio di trasporto soddisfacente nelle aree a domanda debole della Sardegna.
- nella sezione 4 si traggono alcune conclusioni

## 1.2 Abbreviazioni

Abbreviazione	Significato
API	Application Programming Interface
BIBO	Be-In Be-Out
BLE	Bluetooth Low Energy
CIBO	Check-In Be-Out
GPS	Global Positioning System
IoT	Internet of Things (Internet degli oggetti)
IPS	Indoor Positioning System (Sistemi di Posizionamento in Interni)
MaaS	Mobility as a Service
PDS	Proximity Detection Service (o System)

RFID	Radio-frequency identification
RSSI	Received Signal Strength Indication
RT	Real-Time
Tol	Thing of Interest (Oggetto di Interesse)
TPL	Trasporto Pubblico Locale

### 1.3 Abbreviazioni Vehicle Routing Problem

<b>Abbreviazione</b>	<b>Significato</b>
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
CVRPTW	Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows
DaRP	Dial-a-Ride Problem
LIFO	Last In First Out
O/D	Origine/Destinazione
OVRP	Open Vehicle Routing Problem
TSP	Travel Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPMT	Vehicle Routing Problem with Multiple Trips
VRPPD o PDP	Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows

## 2 Stato dell'arte sulla validazione automatica

Una delle problematiche principali scaturite dagli incontri avvenuti con le aziende del Cluster nei precedenti mesi e già descritte nei precedenti documenti è la difficoltà di realizzare un Clearing del trasporto integrato in modo semplice e affidabile, che possa essere soddisfacente per tutte le aziende coinvolte. Tale interesse e gli sforzi congiunti del team SIMPLE e delle aziende del Cluster hanno portato allo studio, progettazione, sviluppo e implementazione del prototipo Beep4Me, che mira alla realizzazione delle operazioni di validazione necessarie al Clearing in modo del tutto automatico. In questa sezione viene presentata l'analisi dello stato dell'arte nel settore.

### 2.1 Autovalidazione

L'operazione di validazione prevede un'interazione attiva, parzialmente attiva o completamente passiva da parte dell'utente. La validazione automatica effettua una **rilevazione automatica** della presenza dell'utente (o meglio del suo dispositivo) all'interno del mezzo del TPL. Può essere realizzata sia in ingresso che in uscita dal mezzo del TPL, come avviene nei sistemi **BIBO**, dove viene eseguita una detection completamente passiva dell'utente in salita e in discesa dal mezzo. In alternativa la detection può avvenire solo in uscita (discesa), come avviene negli schemi **CIBO**, dove il check-in viene eseguito attivamente dall'utente alla salita nel mezzo e il check-out viene eseguito rilevando l'allontanamento del dispositivo utente dal mezzo di TPL.

#### 2.1.1 Introduzione

Come approfondimento rispetto alla rassegna di tecnologie presentata del documento precedente "Report sullo stato dell'arte" e dato l'interesse confermato per la soluzione proposta dal team SIMPLE per la realizzazione di un sistema per la validazione automatica basato sulla tecnologia dei **beacon BLE**, verranno proposti alcuni dei metodi utilizzati oggi per migliorare la detection di tali dispositivi.

Questi metodi sono utilizzabili allo scopo di aumentare la precisione di detection della presenza dell'utente all'interno del mezzo del trasporto pubblico in cui tali beacon sono stati installati, nei casi in cui è più difficile determinare l'effettiva "posizione" dell'utente rispetto ai beacon, come nei casi in cui un utente si trova su un mezzo che viaggia per un certo tempo parallelamente e alla stessa velocità di un altro mezzo della stessa azienda.

Verranno esposti alcuni approcci ed architetture che opportunamente adattate potrebbero essere utilizzate all'interno del sistema di **detection di presenza dell'utente**, che lato app attualmente sfrutta i cosiddetti valori RSSI o forza del segnale ricevuto da un certo beacon, per determinare la distanza del dispositivo utente dai beacon presenti sul bus di interesse. Si distinguono in:

- **sistemi di localizzazione indoor** o IPS sono sistemi che sfruttando semplici tecniche di posizionamento, come la triangolazione, e le nuove tecnologie, come il BLE, riescono a determinare la posizione di un certo dispositivo utente all'interno di un edificio.
- **sistemi di rilevazione della prossimità** o PDS sono sistemi che forniscono servizi al dispositivo utente sulla base della rilevazione della vicinanza di tale dispositivo a dei ToI sulla quale normalmente sono applicati dei dispositivi che abilitano l'oggetto ad essere rilevato dal dispositivo utente. Tale concetto deriva direttamente dal concetto di oggetto dell'IoT, nel quale però

l'informazione utile non consiste solo dell'ID del ToI ma anche nella prossimità (o distanza) che il dispositivo utente ha con questo oggetto di interesse.

### 2.1.2 Metodi di Posizionamento Navigazione e Rilevazione di Prossimità Indoor

I metodi di localizzazione e posizionamento come il GPS soffrono di un grave problema quando si cerca di utilizzarli in ambienti come gli edifici abitativi, centri commerciali, supermercati, uffici ecc. dove comunemente si trascorre gran parte del tempo della giornata. Le pareti di questi ambienti, comunemente noti come ambienti indoor, presentano un assorbimento enorme del segnale proveniente dai satelliti del GPS, che rende impossibile o comunque impraticabile l'uso di questa tecnologia per localizzare un utente al loro interno.

Esistono numerosi metodi e strumenti per la determinazione della posizione. Tutti questi metodi usano in modi diversi distanze o angoli da punti noti, oppure altre caratteristiche dell'ambiente circostante. Di seguito ne vengono citati alcuni.

- A. **Triangolazione:** Questa tecnica è basata sulla misura degli angoli relativi tra la posizione da rilevare e dei punti fissi (almeno 3) di cui si conosce la posizione. Effettuando dei semplici calcoli con le regole dei triangoli rettangoli è possibile ricavare le coordinate del punto in cui si trova l'oggetto da rilevare. Questa tecnica non è praticabile utilizzando il Bluetooth, dato che gli angoli di arrivo nel dispositivo ricevente non sono noti, ma solo le distanze approssimative, dedotte per mezzo di modelli di propagazione dai valori di RSSI, che vengono per esempio utilizzate nella trilaterazione.
  
- B. **Trilaterazione:** In questo metodo si misura la distanza da almeno 3 diversi punti (2D) e da 4 diversi punti (3D), la cui posizione è nota e si intersecano le 3 circonferenze (o 4 sfere) che rappresentano quelle distanze, identificando il punto univocamente. Viene usata con quasi tutte le tecnologie wireless di detection sfruttate per i IPS (compreso Bluetooth Low Energy e WiFi), dato che questi in qualche modo cercano di ottenere distanze tra questi punti e il dispositivo utente.
  
- C. **Riconoscimento delle vicinanze (Cell of Origin):** Si basa sul concetto di punto di riferimento che identifica una posizione o zona in base alla vicinanza con qualche elemento caratteristico nell'ambiente circostante o riconoscimento di caratteristiche locali, come la presenza o meno di un certo segnale radio (come avviene nei **Sistemi di Proximity Detection**) che permette di affermare che ci si trova nelle vicinanze di un certo punto noto. In base alla forza del segnale di sorgente e in base al modello di propagazione di questo segnale in quell'ambiente si può stimare la distanza tra questa e il dispositivo ricevitore (come avviene con i beacon BLE e le celle dei sistemi UMTS e GSM). Ma più è grande il raggio di copertura, più punti con le stesse caratteristiche di potenza di segnale esisteranno. Allora si attuano tecniche come la Fingerprinting, che si basa sulla realizzazione di molte misure effettuate in vari punti nella zona di interesse cercando di identificare appunto un pattern che identifichi quel punto rispetto a un altro, che abbia la stessa distanza, e confrontando



poi in fase di detection questi pattern catalogati con quello attuale, letto dal dispositivo in Real Time.

**D. Posizione Differenziale e Navigazione Inerziale (Dead Reckoning):** Questo metodo determina la posizione attuale sulla base delle precedenti posizioni e dello spostamento applicato, in termini di distanza e direzione (deduced reckoning). È una metodologia praticabile utilizzando i sensori dello smartphone come magnetometro (bussola), accelerometro (accelerazione sui 3 assi) e giroscopio (rotazioni sui 3 assi) per misurare sia la distanza che la direzione dello spostamento. Bisogna notare che tale metodo ha la necessità di conoscere la prima posizione e calcola la nuova posizione basandosi su quella precedente. Di volta in volta, la nuova posizione sarà affetta da un errore (cumulativo) maggiore, dovuto all'accuratezza non elevata dei sensori (per motivi economici e di spazio) utilizzati nei comuni smartphone. Se la precisione del sensore è abbastanza alta, nota l'accelerazione la si integra per ricavare la velocità e di conseguenza lo spazio. Spesso tale metodologia viene abbinata ad altri metodi, come la trilaterazione, per ottenere la posizione iniziale (e correggere periodicamente quella calcolata), avendo così dei metodi ibridi per la determinazione della posizione del dispositivo utente.

Un altro modo per rimediare alla scarsa precisione di alcuni sensori è quello di utilizzare il cosiddetto step detection (pedestrian dead reckoning), nel quale per determinare la distanza percorsa si rileva il numero di passi eseguiti dall'utente, facilmente distinguibili nel segnale dell'accelerometro, ipotizzando una lunghezza media del passo eseguito.<sup>1</sup>

**E. Modelli di propagazione ed RSSI:** Il metodo che utilizza l'RSSI per stimare la distanza del ricevitore (smartphone nel nostro caso) dalla sorgente (beacon BLE nel nostro caso) fa uso della potenza al ricevitore e del modello di attenuazione del segnale di quel tipo in quell'ambiente, cioè del suo modello di propagazione. Note la potenza costante al trasmettitore e la potenza al ricevitore e il modello di propagazione, è possibile determinare una distanza stimata, dato che l'attenuazione è direttamente proporzionale alla distanza. Per applicare in modo corretto questa tecnica è necessario analizzare l'ambiente di trasmissione, applicando la tecnica del fingerprinting. Il valore RSSI normalmente è soggetto a fluttuazioni dovute a fenomeni come multipath e shadowing, per cui è possibile attuare diverse metodologie per effettuare uno smoothing del segnale.

Un **modello di propagazione radio** (modello di propagazione delle onde<sup>2</sup> elettromagnetiche in un certo mezzo/ambiente), è un modello matematico empirico per descrivere la propagazione nello spazio delle onde radio in funzione della frequenza, della distanza e di altre condizioni. È utile per prevedere il comportamento di propagazione per tutti i collegamenti simili sotto vincoli simili. Generalmente la componente più importante di questa formulazione è il cosiddetto path loss (attenuazione di tratta) che descrive la perdita di potenza del segnale in relazione alla distanza percorsa dallo stesso.

---

<sup>1</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Dead\\_reckoning](https://en.wikipedia.org/wiki/Dead_reckoning)

<sup>2</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Onde\\_radio](https://it.wikipedia.org/wiki/Onde_radio)

- F. Fingerprinting:** È un metodo che si basa su un approccio simile a quello dei sistemi di pattern recognition. Si tratta di registrare i segnali (provenienti per esempio dai beacon BLE installati nell'ambiente) che caratterizzano un certo numero di punti (griglia) nell'ambiente per generare un "modello" di segnale di quel punto (fase offline o campionamento). Quando il dispositivo mobile dovrà essere localizzato nell'ambiente i segnali ricevuti in RT vengono confrontati con quelli nel database (fase online o pattern matching), assegnando quello più simile e quindi la sua posizione associata alla posizione dello smartphone. È una tecnica abbinata spesso al metodo RSSI.
- G. Metodi di miglioramento della rilevazione a posteriori: Filtro di Kalman:** Algoritmo utilizzato per correggere rumore statistico che perturba serie temporali. È un filtro ottimo per trattare rumore / disturbo che agisce su sistemi Gaussiani a media nulla. Il suo scopo è di far convergere la lettura al valore reale della grandezza misurata. Procedo per step che di volta in volta vanno a modificare alcune grandezze di interesse: valore precedente, valore attuale letto, errore di stima, errore di lettura. L'output è robusto anche a fluttuazioni molto ampie. Le fasi di elaborazione sono:
- a. prediction: usa il dato del calcolo precedente e lo elabora per ottenere il nuovo valore atteso (pesato con gli errori).
  - b. update: legge un nuovo valore "rumoroso". In base allo scostamento di questo col valore atteso vengono ricalcolati i pesi e in base alla media pesata dei due valori, letto e predetto, viene dato un valore di output (usato alla prossima iterazione).

### 2.1.3 Posizionamento indoor tramite beacon BLE e smartphone

I sistemi di posizionamento indoor tradizionali esistono da anni e presentano precisioni anche molto alte, a scapito però del costo e della semplicità realizzativa, se vengono utilizzate tecnologie come WiFi ed RFID, di cui si è ampiamente parlato nel precedente documento.

Quelli di moderna concezione, basati sulla tecnologia Bluetooth Low Energy e in particolare sui beacon BLE e sullo smartphone, come Beep4Me, hanno costi e difficoltà realizzativa molto più bassi, a scapito dell'accuratezza di rilevazione.

La tecnologia Beacon BLE è la soluzione per il posizionamento indoor più venduta sul mercato di massa perché presenta un impatto economico e una scalabilità molto favorevoli. L'idea alla base della localizzazione basata su beacon BLE è quella di installare un certo numero di beacon con ID univoci in una certa zona. I segnali prodotti da questi vengono captati dallo smartphone dell'utente ed elaborati, con diverse metodologie, per auto-ricavare la sua posizione in quell'ambiente. Dato che questi dispositivi sono sempre connessi alla rete Internet, i dati rilevati possono essere elaborati anche da un server per alleggerire il carico di elaborazione e il consumo di batteria dello smartphone, ma anche per portare a termine il processo di check-in o di check-out, come avviene nel prototipo Beep4Me.

Normalmente si utilizza il concetto di Cella di Origine per identificare quale beacon è più vicino al dispositivo, sfruttando sia i livelli di potenza ricevuta che i modelli di propagazione del segnale BLE per stimare la distanza da esso. Ovviamente questa tecnica è poco precisa dato che dipende dalla "risoluzione" della griglia di beacon disposta nell'area e da altri fenomeni relativi alla propagazione stessa del segnale in

ambienti chiusi e/o con ostacoli, quali shadowing e multipath, per cui si rendono necessari un minimo di elaborazioni successive e filtraggi.

Un metodo che può essere utilizzato per calcolare la “posizione” dell’utente, o almeno la sua vicinanza a una certa zona di interesse (in base alla precisione dei dati derivanti dalla potenza), è quello della **trilaterazione**. Per realizzarla devono essere presenti almeno 3 beacon nell’area interessata. In questo caso, i segnali opportunamente filtrati e ricostruiti vengono utilizzati per stimare la posizione del dispositivo client rispetto alle posizioni note dei beacon.

Il caso d’uso nei mezzi pubblici del prototipo Beep4Me sfrutta una tecnica simile al Cell of Origin (la sua prossimità ai beacon installati sui mezzi), utilizzando informazioni riguardanti il tipo di movimento dell’utente derivante dall’accelerometro e la sua posizione GPS.

Nel successivo paragrafo vengono dati alcuni cenni riguardo a metodologie dello stato dell’arte utili a aumentare la precisione di stima di posizione e proximity tramite la detection di beacon BLE.

#### 2.1.3.1 Alcuni casi pratici

La ricerca sul posizionamento indoor e sulla proximity detection ha portato all’implementazione di diversi sistemi, che opportunamente adattati, possono essere utilizzati nel prototipo SIMPLE di rilevazione di presenza dell’utente basata su beacon BLE per la realizzazione delle operazioni di validazione in modo automatico. Ne vengono citati alcuni.

- A. **Sistema di proximity detection basato su fingerprint<sup>3</sup>**: tale sistema rileva la prossimità con un certo ToI basandosi non su singoli valori RSSI, bensì su pattern di segnale ricevuto in un certo intervallo di tempo (chiamati **fingerprint**). In questo caso i servizi vengono erogati allo smartphone dell’utente sulla base della vicinanza con l’oggetto destinazione (caso d’uso molto simile a Beep4Me). Dato che il rumore, oltre a rendere il segnale fluttuante, potrebbe fare in modo che non tutti i pacchetti di advertising arrivino a destinazione, vengono applicati metodi statistici per recuperare i valori mancanti di RSSI. In questo caso i vettori delle fingerprint vengono costruiti come medie temporali e spaziali (viene rilevata la prossimità, non la posizione), introducendo nel calcolo anche momenti di ordine più alto. Inoltre viene gestita dinamicamente anche l’introduzione di un nuovo ToI nel sistema, cioè di nuovi beacon da rilevare.
  
- B. **Sistema con Livelli di potenza multipli dei beacon BLE**: Gli attuali schemi di stima della posizione indoor tramite beacon BLE, come fingerprinting e trilaterazione, sfruttano normalmente i valori misurati di RSSI. Dato che i valori di potenza letti dal ricevitore possono essere tempovarianti a distanza costante, sono stati pensati diversi approcci per mitigare questa variabilità. Nel sistema implementato in questo studio<sup>4</sup> i beacon vengono impostati per fare il loro advertising con più livelli di potenza di trasmissione, utilizzando più slot del beacon stesso. Il ricevitore stima la propria distanza dal beacon dai valori di RSSI provenienti da tutte le trasmissioni con le diverse potenze. Tale approccio utilizza il limite fisico inferiore del dispositivo ricevitore: se si abbassa oltre un certo

<sup>3</sup> Pai Chet Ng, James She, “A Compressive Sensing Approach to Detect the Proximity Between Smartphones and BLE beacons”, 2019, IEEE Internet of Things Journal Vol.6 No.4 August 2019

<sup>4</sup> Min-Kun Sie, Chih-Hung Kuo, “Indoor Location Estimation Using BLE Beacon with Multiple Transmission Power Levels”, 2017, IEEE Conference on Consumer Electronics, Taiwan

limite il segnale il ricevitore non sarà più in grado di rilevarlo. Utilizzando più livelli di potenza di trasmissione, si determinano diversi livelli di copertura e con una opportuna griglia di beacon disposti nell'ambiente (sul soffitto per ridurre gli effetti di attenuazione dovuta a ostacoli e il multipath) è possibile raggiungere una più alta accuratezza di posizionamento, che si aggira intorno a 1 m nella loro installazione.

- C. **Sistema ibrido basato su RSSI e metodi inerziali per ambienti rumorosi:** la normale fluttuazione del segnale Bluetooth in ambiente indoor è resa più importante in ambienti rumorosi, detti "densi di segnale bluetooth" (dense Bluetooth), e può portare a un'alta variazione del RSSI oppure un allungamento dell'intervallo di tempo di raccolta dei campioni di segnale da parte del ricevitore per determinare la proximity e conseguentemente il servizio da attivare. Questo sistema integra filtraggio preventivo sul segnale con sliding window per ottenerne una sorta di media nel tempo, trilaterazione e navigazione inerziale, oltre a un filtraggio di Kalman per aumentare le prestazioni. Tale sistema riduce l'errore di posizionamento, raggiungendo alti livelli di accuratezza anche in RT.

Un esempio di sistema di Mobile Ticketing basato su beacon BLE simile al prototipo Beep4Me è quello presentato da Martins<sup>5</sup> (Lisbona). In questo sistema un set di beacon è installato all'interno del veicolo e un'applicazione lavora come Client, verso il Server centralizzato. Viene utilizzato un schema misto tra CIBO e BIBO, dato che l'utente deve confermare la sua presenza all'interno del veicolo manualmente premendo un bottone sull'app, generando un'operazione di check-in. In questo modo si evitano i falsi positivi, ovvero i casi in cui l'utente è vicino al beacon ma fuori dal mezzo. L'allontanamento dal beacon viene tradotto in un "be-out", generando un'operazione di check-out.

## 2.1.4 Altre tecnologie di rilevazione della presenza in ambienti pubblici

### 2.1.4.1 Rilevazione di presenza con Immagini e video

La rilevazione di presenza tramite immagini e video con metodi di machine learning e riconoscimento facciale, seppur molto precisa e affidabile, presenta diversi problemi relativi soprattutto alla gestione della privacy e all'accettabilità (cioè quanto gli utenti sarebbero disposti ad usare tale soluzione). Questo tipo di identificazione utente è basato sui concetti di **training** e di **matching**.

La fase di training del sistema con immagini dell'utente, per la realizzazione di un certo database di template, di solito è abbastanza dispendiosa in termini di tempo. La fase di matching, col quale si determina quanto le immagini attuali di un utente che è entrato nell'area della videocamera somigliano a quelle nel database, determina la sua presenza in quell'ambiente. Nonostante i sistemi di videosorveglianza siano piuttosto diffusi nei mezzi pubblici per questioni di sicurezza, l'uso di tali dati a scopo di rilevazione di presenza dell'utente e quindi di validazione del ticket di viaggio non è possibile perché non è permesso a norma di legge (Codice in materia di protezione dei dati personali).

---

<sup>5</sup> Joao Guilherme Martins, "Mobile Ticketing System For Public Transport Based On Bluetooth Low Energy", 2017,

Sistemi di questo tipo sono realizzabili anche con dispositivi molto diffusi nel mercato consumer come il noto controller Kinect.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> C.S. Wang, C. L. Chen, "RFID-based and Kinect-based indoor positioning system", 2014, 4th International Conference on Wireless Communications, Aalborg Denmark

## 3 Stato dell'arte sulle soluzioni di mobilità per le aree a domanda debole

In questa viene presentata l'analisi delle soluzioni allo stato dell'arte per sulle soluzioni di mobilità per le aree a domanda debole.

### 3.1 Mobility as a Service (MaaS)

#### 3.1.1 Introduzione

Mobility-as-a-Service (MaaS) è un nuovo paradigma che definisce la mobilità come servizio, per cui il trasporto è organizzato attorno al servizio, non più attorno al mezzo. Inoltre i servizi di trasporto sono integrati in un'unica piattaforma di mobilità accessibile su richiesta. Per soddisfare la richiesta di un cliente vengono mostrate diverse opzioni di trasporto, che si tratti di trasporto pubblico su gomma e su ferro, pooling, sharing, auto o bici, taxi o noleggio / leasing di auto o una loro combinazione<sup>7</sup>.

Per l'utente, il MaaS può offrire un valore aggiunto attraverso l'uso di una singola applicazione in grado di fornire completo accesso ai servizi di mobilità territoriali, con un singolo canale di pagamento che sostituisce differenti operazioni di bigliettazione e pagamento. Questa piattaforma supporta quindi gli utenti sia nella selezione degli itinerari più adatti a soddisfare le loro esigenze di mobilità sia nell'acquisto dei titoli di viaggio, che risultano quindi integrati.

Un servizio MaaS di successo offre anche nuovi modelli di business con vantaggi per i fornitori dei servizi, incluso l'accesso a informazioni migliori su utenti e nuove opportunità per soddisfare la domanda non soddisfatta. Lo scopo di MaaS è fornire un'alternativa all'uso dell'auto privata che possa essere più conveniente, più sostenibile e che possa inoltre contribuire a ridurre la congestione del traffico.

La prima fase in cui è coinvolto l'utente è la pianificazione del viaggio, per cui la piattaforma MaaS necessita di un modulo specifico che consenta di individuare un set di soluzioni di viaggio (anche multimodali) dall'origine alla destinazione richieste. L'utente può quindi scegliere il viaggio preferito in base a costi, tempi e convenienza. A quel punto, tutte le prenotazioni necessarie (ad es. Prenotare un taxi, acquistare un biglietto del bus) verrebbero aggregate in un'unica prenotazione.

Un obiettivo futuro per questo genere di piattaforme è quello di consentire il roaming, ovvero la stessa app per l'utente finale dovrebbe funzionare in città diverse, senza che l'utente debba familiarizzare con un nuovo sistema o iscriversi a nuovi servizi.

#### 3.1.2 Piattaforme di aggregazione

L'arrivo di molteplici operatori di trasporto nel territorio ha alterato il bilancio classico tra trasporto privato e pubblico; inoltre, le moderne alternative di trasporto in condivisione hanno modificato completamente le aspettative di viaggio degli utenti, conducendo alla necessità di risolvere una complessità nei processi di informazione all'utenza, pagamento e gestione del servizio.

Il MaaS, in grado di coinvolgere tutte le alternative modali precedentemente citate, sente quindi la necessità di avvicinarsi all'utenza con uno strumento tecnologico in grado di risolvere tale complessità: le piattaforme di aggregazione.

---

<sup>7</sup> [maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas](https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas)

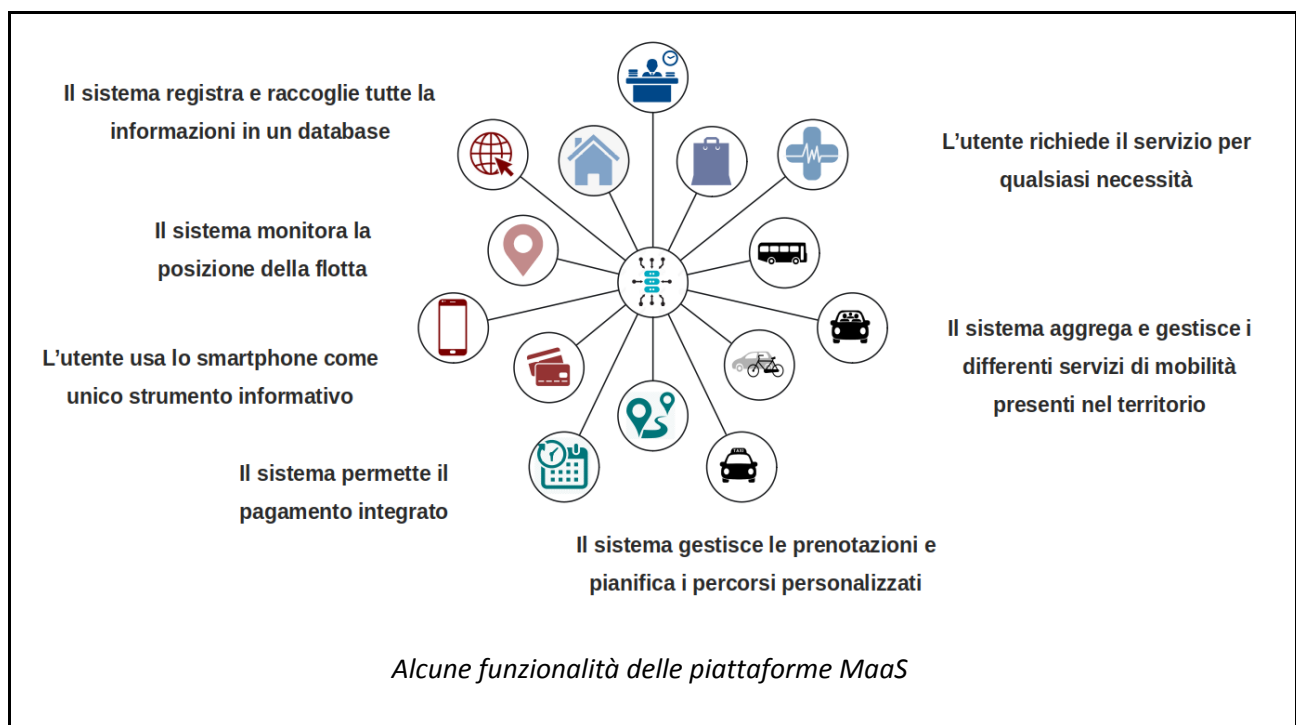
Le piattaforme di aggregazione di servizi possono essere classificate principalmente in tre diverse categorie<sup>8</sup> :

- Aggregatore journey planner (information platform)
- Aggregatore economico (aggregation platform)
- Aggregatore gestore dei servizi (subscription platform)

L'aggregatore journey planner utilizza i dati forniti dalle aziende di TPL e di sharing mobility per mettere a disposizione le informazioni all'utenza, pianificando il viaggio, anche in multi-modalità, dall'origine alla destinazione. Il primo livello di aggregatore economico non si allontana quindi dai cardini classici della pianificazione dei trasporti: multimodalità e intermodalità.

L'aggregatore economico, in aggiunta, permette l'acquisto dei titoli di viaggio da un unico sistema ed effettua il clearing se lo spostamento prevede più mezzi e più operatori che gestiscono i servizi. Il secondo livello, più attrattivo del primo, aggiunge quindi una comodità per il consumatore che, con un'unica operazione, è in grado di prenotare un viaggio dalla sua origine alla destinazione senza dover acquistare differenti titoli di viaggio attraverso l'introduzione del biglietto unico.

L'aggregatore gestore dei servizi ha funzionalità aggiuntive perché le aziende si affidano ad esso, tramite la modalità subscription, per l'attivazione di servizi che meglio incontrano le esigenze della domanda, modulando l'offerta su di essa.



<sup>8</sup> <https://www.via-id.com/en/what-is-mobility-as-a-service-maaS/>

### 3.1.3 Alcune applicazioni di MaaS nel mondo

#### 3.1.3.1 *Whim*

Whim<sup>9</sup> è una piattaforma MaaS che consente di viaggiare con i mezzi pubblici, in taxi o anche con servizi di sharing. L'utente può scegliere di utilizzare la modalità "Pay as you go" oppure acquistare uno tra i diversi tipi di abbonamento disponibili. Tutti i pagamenti sono integrati all'interno dell'applicazione mobile.

L'applicazione è operativa nella regione di Helsinki.

#### 3.1.3.2 *Moovit*

Moovit<sup>10</sup> offre un pianificatore di viaggio in tempo reale mobile e un'app web per creare un piano di viaggio personalizzato. Le opzioni di trasporto disponibili sono: trasporto pubblico (autobus, traghetti, metro, treni, tram, filobus), servizi a chiamata (Uber / Lyft), bike sharing, car sharing e scooter sharing. Gli utenti possono accedere a una mappa in tempo reale e visualizzare fermate e stazioni vicine in base alla loro posizione GPS attuale. Le opzioni di viaggio sono mostrate anche in real-time.

L'applicazione differisce dalle tradizionali applicazioni di trasporto pubblico in quanto è guidata dalla comunità e integra i dati ufficiali di trasporto pubblico con i dati in tempo reale raccolti dagli utenti tramite crowdsourcing.

#### 3.1.3.3 *Free2Move*

Free2Move<sup>11</sup> è un'app mobile ampiamente diffusa in Europa e negli Stati Uniti (33 città), che consente all'utente di accedere a diversi tipi di servizi di sharing (auto, bici e scooter). Il sistema aggrega più fornitori di una stessa città, consentendo all'utente di selezionare il veicolo più adatto alle proprie necessità in termini di costi e distanza, senza doversi ogni volta iscrivere ai servizi del singolo operatore. L'applicazione effettua i pagamenti verso ciascun provider direttamente dall'account personale Free2Move dell'utente.

## 3.2 Vehicle Routing Problem

### 3.2.1 Introduzione

Negli ultimi anni le tecniche di ottimizzazione proprie della Ricerca Operativa hanno acquistato notevole importanza, sia nelle diverse fasi della pianificazione e del monitoraggio dei servizi di distribuzione delle merci, sia nel trasporto pubblico e privato dedicato a persone. Le ormai innumerevoli applicazioni hanno mostrato che l'impiego di tecniche automatizzate di pianificazione dei diversi servizi consente radicali razionalizzazioni delle strutture dedicate al trasporto con ingenti risparmi sui costi totali dello stesso, oltre che un miglioramento nella qualità dei servizi. Il successo che ha accompagnato l'intervento della Ricerca Operativa è stato favorito da un lato dallo sviluppo avuto dalle tecnologie informatiche, sia dal punto di

---

<sup>9</sup> [whimapp.com](http://whimapp.com)

<sup>10</sup> [company.moovit.com/it/](http://company.moovit.com/it/)

<sup>11</sup> [it.free2move.com/](http://it.free2move.com/)



vista hardware che software, dall'altro dalla crescente integrazione di queste nella realtà operativa industriale e commerciale.

Durante lo sviluppo del prototipo PoolBus, il team SIMPLE ha analizzato lo stato dell'arte degli algoritmi della ricerca operativa in grado di risolvere il problema di instradamento del veicolo (Vehicle Routing Problem - VRP) e costruzione dei piani di viaggio (scheduling). Il VRP è una classe di problemi nell'ambito della ricerca operativa che cerca l'insieme ottimale di rotte performate da una flotta veicolare orientate al soddisfacimento delle richieste di un determinato insieme di clienti o merci. Generalizza il noto problema del commesso viaggiatore (Travelling Salesman Problem - TSP)<sup>12</sup>.

Il VRP riguarda il modo in cui la flotta di veicoli di un'azienda si sposta da uno o più depositi e punti di raccolta e consegna. La soluzione di un problema di questo genere porta alla determinazione di una serie di rotte (una rotta per ciascun veicolo che deve iniziare e finire al proprio deposito) in modo tale da soddisfare tutti i requisiti e le limitazioni operative dei clienti e ridurre al minimo i costi di trasporto globali. Questo costo può essere monetario e dipendente quindi da variabili quali tempi e distanze.

La rete stradale può essere descritta attraverso la rappresentazione a grafo orientato: gli archi rappresentano le connessioni reali, ossia le strade, mentre i punti notevoli, o vertici, rappresentano le intersezioni e i punti di fermata (deposito, punti di prelievo e consegna). Gli archi possono essere diretti o non indirizzati a causa della possibile presenza di strade a senso unico o di costi diversi in ciascuna direzione. Ogni arco ha un costo associato che generalizza la sua lunghezza e/o il tempo di viaggio e inoltre può considerare la tipologia di veicolo, ad esempio in funzione dei consumi. Il grafo può essere costruito in base ad una matrice Origine/Destinazione.

A volte è impossibile soddisfare tutte le richieste dei clienti e in questi casi i risolutori possono ridurre alcune richieste o non soddisfarle del tutto. Per far fronte a queste situazioni è possibile introdurre una variabile di priorità per ciascun cliente o penali associate per la parziale o totale mancanza di servizio per ciascun cliente dato.

La funzione obiettivo di un VRP può essere molto diversa a seconda della particolare applicazione del risultato, ma alcuni degli obiettivi più comuni sono:

- Ridurre al minimo i costi di trasporto globali in base alla distanza globale percorsa, nonché i costi fissi associati ai veicoli e ai conducenti usati
- Ridurre al minimo il numero di veicoli necessari per servire tutti i clienti (fleet optimization)
- Minima variazione nel tempo di viaggio e nel carico del veicolo
- Ridurre al minimo le penalità che portano ad un servizio di bassa qualità

Esistono diverse varianti di questi algoritmi:

1. Travel Salesman Problem: il TSP<sup>13</sup> è il punto di partenza di tutti i problemi generici di routing. Caratterizzato dall'utilizzo di un singolo veicolo, l'obiettivo del problema è trovare la rotta di costo minimo in grado di collegare diversi punti una sola volta, partendo e tornando alla posizione di deposito a fine viaggio;

---

<sup>12</sup> [it.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_routing\\_problem](https://it.wikipedia.org/wiki/Vehicle_routing_problem)

<sup>13</sup> <https://www.geeksforgeeks.org/travelling-salesman-problem-set-1/>

2. Travel Salesman Problem with Time Windows: il TSPTW<sup>14</sup> è un'estensione del classico TSP che incrementa la complessità con l'aggiunta del vincolo addizionale rappresentato dalle finestre temporali. Ogni punto collegato alla rotta di ottimo costo ha una finestra temporale di accesso che deve essere rispettata, in contrasto, dalla funzione obiettivo. Il TSPTW comincia ad aggiungere un grado di verosimiglianza la mondo reale;
3. Multiple Travel Salesman Problem: il m-TSP<sup>15</sup> è un'estensione del classico TSP, ma in aggiunta considera una flotta veicolare al posto di un singolo veicolo. Come nel caso del TSP, non sono considerate le finestre temporali;
4. Multiple Travel Salesman Problem with Time Window: il m-TSPTW<sup>16</sup> è un'estensione del TSPTW che, in aggiunta, considera molteplici veicoli mantenendo il vincolo delle finestre temporali;
5. Vehicle Routing Problem: con il termine VRP<sup>17</sup> si fa riferimento a una classe di problemi più ampia della ricerca operativa difficilmente risolvibili all'ottimo. Il caso più generale deriva da un'estensione del m-TSP che in aggiunta considera il vincolo di capacità dei veicoli. il problema può essere anche nominato Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), con la differenza nel trattamento della flotta: veicoli di tipologia eterogenea e di conseguenza capacità differente;
6. Vehicle Routing Problem with Time Windows: il VRPTW<sup>18</sup> è un'estensione del m-TSPTW con l'aggiunta del vincolo di capacità dei veicoli.
7. Pick-up and Delivery Problem: il PDP<sup>19</sup> affronta il problema dell'instradamento del veicolo con condizioni di prelievo (pick-up) e consegna (delivery). Generalmente, tale problema, viene applicato a casi di trasporto merce caricata nei depositi e consegnata nei punti notevoli della rete: magazzini o clienti;
8. Pick-up and Delivery Problem with Time Windows: il PDPTW è un'estensione del PDP classico con l'aggiunta del vincolo temporale di passaggio ai punti notevoli della rete. Una rara modifica a questo algoritmo nota col nome Last In First Out (LIFO) può imporre un vincolo aggiuntivo al caricamento: l'ultimo articolo caricato deve essere l'articolo più recentemente consegnato, in modo tale da non modificare la riorganizzazione della merce all'interno del veicolo;
9. Dial-a-Ride Problem: il DaRP<sup>20</sup> consiste nella progettazione delle rotte e del programma di esercizio dei veicoli per n utenti con specifiche di prelievo e consegna nei punti notevoli della rete, coincidenti con le loro origini e destinazioni. L'obiettivo è la pianificazione di un set di viaggi di minimo costo in grado di soddisfare le necessità del numero maggiore di utenti, sotto un set di vincoli (capacità, finestre temporali, pick-up and delivery). Il problema più comune affronta il trasporto door-to-door per categorie di utenza debole, ma può essere esteso più genericamente all'organizzazione di un trasporto a chiamata. Una sua estensione, l'Open Vehicle Routing Problem, non vincola il veicolo a tornare al deposito a fine servizio.

---

<sup>14</sup> M. López-Ibáñez, C. Blum, J. W. Ohlmann and B. W. Thomas, "The travelling salesman problem with time windows: Adapting algorithms from travel-time to makespan optimization", 2013.

<sup>15</sup> <https://neos-guide.org/content/multiple-traveling-salesman-problem-mtsp>

<sup>16</sup> A. Fügenschuh and A. Stieber, "Dealing with Time in the Multiple Traveling Salesmen Problem with Moving Targets", 2019.

<sup>17</sup> [https://bib.irb.hr/datoteka/433524.Vehnicle\\_Routing\\_Problem.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/433524.Vehnicle_Routing_Problem.pdf)

<sup>18</sup> N. A. El-Sherbeny, "Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods", 2010.

<sup>19</sup> G. Berbeglia, J. F. Cordeau and G. Laporte, "Dynamic pickup and delivery problems", 2010.

<sup>20</sup> J. F. Cordeau and G. Laporte, "The dial-a-ride problem: models and algorithms", 2007.

Problema	Utente		Vincoli per l'utente		Vincoli per i veicoli	
	Origine	Destinazione	Tempo	Ordine	Numero	Capacità
<i>TSP</i>	deposito	nodo	no	no	1	$\infty$
<i>TSPTW</i>	deposito	nodo	sì	no	1	$\infty$
<i>m-TSP</i>	deposito	nodo	no	no	vari	$\infty$
<i>m-TSPTW</i>	deposito	nodo	sì	no	vari	$\infty$
<i>VRP</i>	deposito	nodo	no	no	vari	limitata
<i>VRPTW</i>	deposito	nodo	sì	no	vari	limitata
<i>PDP</i>	nodo	nodo	no	sì	vari	limitata
<i>PDPTW</i>	nodo	nodo	sì	sì	vari	limitata
<i>DaRP</i>	nodo	nodo	sì	sì	vari	limitata

### 3.2.2 Implementazioni di algoritmi VRP analizzate

#### 3.2.2.1 *OR-Tools - Routing*

OR-Tools è un software open source in C++ per l'ottimizzazione combinatoria, che cerca di trovare la migliore soluzione a un problema tra una vasta gamma di possibili soluzioni. OR-Tools include una libreria di routing specializzata per risolvere molti tipi di problemi di routing dei veicoli<sup>21</sup>:

- Travelling salesman problem (TSP), il classico problema di routing in cui esiste un solo veicolo.
- Problema di routing del veicolo (VRP), una generalizzazione del TSP con più veicoli.
- Problema di percorso del veicolo con vincoli di capacità, in cui i veicoli hanno carichi massimi.
- Problema di percorso del veicolo con finestre temporali, in cui i veicoli devono visitare le posizioni in determinati intervalli di tempo.
- Problema di instradamento del veicolo con vincoli di risorse, come spazio o personale per caricare e scaricare veicoli nel deposito.
- Problema di instradamento del veicolo con fermate soppresse, in cui i veicoli non possono visitare tutte le posizioni.

Tra le opzioni della suite ne esiste una compatibile con vari algoritmi in determinate condizioni e in grado di gestire pick-up e drop-off con finestre temporali, tuttavia in certi casi questo sovraccarica l'elaborazione della soluzione. La libreria contiene i wrapper per i linguaggi Python, Java e C#, che consentono di usare in modo semplice e intuitivo la libreria anche in linguaggi diversi da quello nativo.

#### 3.2.2.2 *VROOM*

VROOM è un motore di ottimizzazione open source scritto in C++ che mira a fornire buone soluzioni a vari problemi di routing dei veicoli in un breve tempo di elaborazione. L'algoritmo è interoperabile con altri linguaggi di programmazione tramite un'interfaccia<sup>22</sup>, che accetta in ingresso un file json e restituisce un output nello stesso formato. Nel file di input è memorizzata una lista di jobs che descrivono i luoghi da visitare, le rispettive finestre temporali e indicazioni su pick-up, delivery e priorità. Questo algoritmo rientra

<sup>21</sup> [developers.google.com/optimization/routing](https://developers.google.com/optimization/routing)

<sup>22</sup> [github.com/VROOM-Project/vroom/blob/master/docs/API.md](https://github.com/VROOM-Project/vroom/blob/master/docs/API.md)

nella categoria CVRPTW perché gestisce anche i veicoli disponibili, tenendo conto della posizione del loro deposito, dell'orario di attività e della loro capacità.

La risposta dell'algoritmo contiene un sommario con i costi totali, il tempo totale impiegato, i tempi di attesa totali, la distanza totale percorsa e la lista di route trovate. A ciascuna route è assegnato un veicolo con le sue statistiche di dettaglio ( i costi, il tempo impiegato, i tempi di attesa, la distanza percorsa), la sua geometria e un vettore di steps. Ciascuno step corrisponde ad un segmento di route tra un punto di interesse e il successivo.

### 3.2.2.3 PG-Routing

PgRouting è un popolare software Open Source scritto in C++ che estende il database geospaziale PostGIS / PostgreSQL per fornire funzionalità di routing geospaziale<sup>23</sup>. PgRouting contiene diverse librerie per il calcolo del percorso più breve (Dijkstra, Astar, ...), ma non è specializzato in VRP.

L'elevata popolarità di questa suite fa in modo che gli aggiornamenti siano molto frequenti e che siano disponibili macchine virtuali e container già pronti all'uso.

### 3.2.2.4 Google Direction API

Google mette a disposizione un'API per risolvere semplici TSP senza scaricare software. Se si dispone di una chiave API di Google Directions<sup>24</sup>, si possono risolvere i TSP con l'API Directions, fornendo le posizioni in un URL e ottenendo la risposta in formato JSON. Per lo sviluppo è quindi necessaria una chiave API gratuita (con limite di utilizzo) o una chiave aziendale per uso commerciale.

Il grande vantaggio è dovuto al processing all'interno dei server Google, che possono garantire latenze minime e mappe sempre aggiornate. Inoltre tramite l'API, la risposta è poi leggibile e processabile con qualunque linguaggio di programmazione.

## 4 Conclusioni

In questo documento sono stati presentati gli aggiornamenti dello stato dell'arte riguardanti i due prototipi sviluppati e implementati dal team SIMPLE.

In particolare, riguardo al prototipo **Beep4Me** sono state espone alcune delle problematiche che si possono incontrare nello sviluppo di applicazioni mobile che utilizzano la rilevazione di prossimità da beacon BLE, e cenni su alcune delle possibili soluzioni date dallo stato dell'arte a queste problematiche.

Mentre, riguardo al prototipo **PoolBus**, sono stati esposti gli aggiornamenti sulle tecnologie dello stato dell'arte che hanno contribuito all'inserimento di nuove funzionalità ed all'architettura della versione attuale del sistema per l'aggregazione di domanda e offerta di servizi di trasporto in aree a domanda debole.

---

<sup>23</sup> [pgrouting.org](http://pgrouting.org)

<sup>24</sup> [developers.google.com/maps/documentation/directions/start#Waypoints](https://developers.google.com/maps/documentation/directions/start#Waypoints)