

Realizzato dall'Università degli Studi di Cagliari



siimple

Strumenti e Modelli Per La mobilità sostenibile

Relazione tecnico scientifica finale



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



**SARDIGNA CHIRCAS
SARDEGNA RICERCHE**

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

INFORMAZIONI DEL PROGETTO

Numero del progetto	N/A	Acronimo	SIMPLE
Titolo completo	Strumenti e Modelli per La mobilità sostenibile		
Soggetto	Progetto CLUSTER ICT		
Data di inizio	01/02/2018		
Durata in mesi	34 (a seguito di estensione)		
Coordinatore	UniCA – Università degli Studi di Cagliari		
URL del progetto	http://www.simple-cluster.it		

INFORMAZIONI DEL DOCUMENTO

Numero del deliverable	N/A	Titolo	Relazione tecnico scientifica intermedia
Numero del workpackage	N/A	Titolo	Titolo del workpackage
Data prevista di terminazione	30/11/2020		
Data di sottomissione del deliverable	21/12/2020		
Autore/i responsabile/i	Marco Garau, Lucia Pintor, Giovanni Tuveri, Luigi Atzori		
Livello di diffusione	Public		

Tavola dei contenuti

1 Sommario	4
2 Raccolta esigenze e animazione (WP1)	4
3 Scouting delle tecnologie (WP2)	7
4 Sperimentazione (WP3)	9
4.1 Beep4Me	10
4.2 PoolBus	14
5 Diffusione dei risultati (WP4)	15
7 Conclusioni	17

Abbreviazioni

Abbreviazione	Significato
API	Application Programming Interface
BLE	Bluetooth Low Energy
BIBO	Be-In Be-Out
CIBO	Check-In Be-Out
CICO	Check-In Check-Out
DRT	Demand Responsive Transport
GPS	Global Positioning System
ICT	Information and Communications Technology
KPI	Key Performance Indicators
NFC	Near Field Communications
RFID	Radio Identification
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats
WP	Workpackage

1 Sommario

Il progetto SIMPLE ha affrontato le problematiche legate all'attuale limitata diffusione delle modalità di spostamento sostenibile delle persone, con particolare riferimento ai servizi pubblici di massa, carsharing, carpooling e bikesharing.

Si è partiti dall'assunzione che queste problematiche sono legate principalmente a:

C1. scarsa diffusione e difficile accessibilità alle informazioni aggiornate e complete sui servizi di mobilità a disposizione e specie di quelli che devono essere utilizzati in integrazione nello svolgimento di uno spostamento;

C2. difficoltà nell'utilizzo di diverse modalità di trasporto sostenibile in modalità integrata, a causa dello sviluppo nel tempo di sistemi e processi per la fornitura dei servizi che difficilmente parlano con il mondo esterno;

C3. forte propensione delle persone all'uso del veicolo privato ed una bassa consapevolezza del relativo impatto ambientale e delle potenzialità offerte dai servizi di trasporto pubblico esistenti.

Tali criticità hanno costituito la base di partenza di SIMPLE e sono state analizzate in collaborazione con le aziende partner che hanno preso parte al progetto.

Sulla base della sintesi dei vari punti di vista dei partner del progetto è stata quindi portata avanti un'attività di analisi delle tecnologie a supporto per lo sviluppo di soluzioni adeguate ai problemi analizzati. Questa è stata svolta nell'ambito del WP2.

Inoltre, è stata portata avanti un'attività di sviluppo di due prototipi che costituiscono una base per la risoluzione di due problematiche di interesse per i partner del progetto: identificare una soluzione adeguata per la mobilità in aree a domanda debole e definire un processo per sviluppare un modello efficace di clearing del revenue nell'ambito di servizi di mobilità integrati. Questo ha portato alla realizzazione dei due prototipi PoolBus e Beep4Me sviluppati in WP3.

Durante tutto il progetto sono state condotte delle attività di divulgazione dei risultati del progetto mediante l'uso del portale, dei canali social e l'organizzazione di webinar e convegni, con la pubblicazione di circa 100 post nei canali Facebook e LinkedIn, di 15 articoli di blog, di due articoli scientifici, di due workshop in presenza e di due webinar, nonché di oltre una dozzina di incontri in presenza con le aziende.

Nelle sezioni successive vengono presentati i risultati raggiunti per i 4 WP del progetto.

2 Raccolta esigenze e animazione (WP1)

Le attività del team SIMPLE sono proseguite con la collaborazione dei partner e nei diversi incontri si è discusso lo sviluppo dei prototipi con particolare attenzione verso le loro esigenze. Questi incontri sono stati fondamentali per le attività di animazione del cluster, per poter creare occasioni di networking tra i partecipanti, condivisione degli obiettivi di progetto e delle best practice adottate.

Per raccogliere le esigenze e animare il cluster è stata scelta un approccio ad una progettazione partecipata, utile a creare una condivisione degli obiettivi tra tutti i partecipanti.

Le sessioni di incontro con lo stakeholder sono il nodo cruciale ed in questa fase sono focalizzate a raggiungere i seguenti scopi: identificare al meglio problemi e criticità del settore; portare un punto di vista “pratico e reale”, che vada oltre l’analisi dello stato dell’arte, dell’applicabilità delle soluzioni ICT nei settori della mobilità in cui operano; favorire il networking e la condivisione tra tutti i partecipanti.

La comunicazione con i partner è avvenuta sia via mail, sia attraverso incontri ed eventi, ma anche direttamente per via telefonica, soprattutto durante le sperimentazioni di Luglio e Novembre 2020. Durante gli incontri sono state presentate le proposte del team SIMPLE e i partner hanno avuto occasione di discuterle ed evidenziare il proprio punto di vista e le proprie necessità.

I primi incontri sono stati orientati ad identificare le carenze e le problematiche del settore. Successivamente si è passati quindi ad una valutazione di proposte di miglioramento, al fine di far emergere realmente le necessità dello stakeholder ed identificare la rosa di casi d’uso più rilevanti, anche attraverso l’organizzazione di gruppi d’interesse.

In particolare, nel primo kickoff meeting (svolto l’8 Giugno 2018) è stato presentato il progetto ai partner, facendo riferimento agli obiettivi e risultati attesi, in funzione di quattro tematiche di possibile interesse per tutte le aziende di trasporto (Gamification, Integrazione tariffaria, Open Data, Sistemi di trasporto a chiamata), anche secondo quanto dichiarato nei questionari da loro compilati. Al termine delle presentazioni del team si è aperta la discussione per dare modo a ciascuna azienda di esprimere il proprio punto di vista e fornire ulteriori strumenti al team per poter definire le possibili sperimentazioni.

Sull’integrazione tariffaria è stata evidenziata l’importanza del clearing, ovvero della ripartizione tra gli introiti delle varie aziende. Le aziende hanno manifestato il proprio interesse ad adottare sistemi di tariffazione integrata, ma a patto di avere a disposizione dei metodi e delle regole, eque e condivise da tutti, in quanto, secondo il loro parere, la configurazione attuale del sistema integrato risulta carente sotto questo aspetto.

In merito ai sistemi di trasporto a chiamata è emerso il problema dei costi per chi opera il servizio: le aziende ritengono necessaria un’organizzazione che permetta alle aziende di lasciare invariato il costo del titolo di viaggio. Le aziende del cluster hanno suggerito come soluzione la realizzazione di una piattaforma per raccogliere tutte le richieste degli utenti, che poi verrebbero inoltrate ai diversi operatori interessati. L’obiettivo fondamentale è quindi quello di integrare i servizi on demand con i mezzi pubblici tradizionali e la sharing mobility.

È stato inoltre messo in evidenza il ruolo degli Open Data nella semplificazione della pianificazione del viaggio, ed in particolare l’importanza di avere dati disponibili senza restrizioni di accesso, sempre aggiornati e condivisibili dai diversi operatori. Un altro aspetto emerso riguarda la generazione di nuovi tipi di dati aperti, ad esempio indici di soddisfazione dei passeggeri, oppure indicatori sul livello di sicurezza dei veicoli e delle strade. Per la raccolta di questo tipo di informazioni è spesso necessario il crowdsourcing, per cui bisogna incentivare gli utilizzatori a comunicare dei feedback. Ciò è possibile ad esempio con tecniche di gamification che premiano chi adotta comportamenti sostenibili o chi rilascia più informazioni.

I vari commenti dei partner del cluster SIMPLE, derivanti dal kickoff meeting, sono stati utilizzati come base di partenza per l’individuazione di alcuni prototipi da sviluppare nelle fasi successive del progetto, che sono stati in seguito presentati durante il secondo incontro, svoltosi il 17 Settembre 2018, in occasione della Settimana Europea della mobilità. Durante la manifestazione sono state presentate le prime idee relative

alla realizzazione di due prototipi: uno riguardante una “evoluzione” dello smart ticketing già usato da alcune aziende (CTM e ATP Sassari), che consenta la validazione automatica dei titoli di viaggio; l’altro relativo alla realizzazione di una piattaforma che sia in grado di gestire automaticamente i servizi di trasporto a chiamata.

Le aziende si sono dimostrate in generale molto interessate ad entrambi i prototipi, fornendo tuttavia dei suggerimenti. Per esempio, mentre la rilevazione automatica in uscita dal mezzo (check-out) è vista da tutti come una funzione molto gradita, non è risultato lo stesso per quella in salita (check-in), in quanto molte aziende preferiscono che il gesto in ingresso sia più palese possibile, in modo da avere una funzione di “controllo sociale” e ridurre più possibile gli “evasori” che viaggiano senza biglietto. Un’altra problematica riguarda la difficoltà a far usare le applicazioni dello smart ticketing, in quanto gli utenti risultano ancora “diffidenti” verso questa tecnologia, dal momento che riscontrano vari problemi ad essa associati (registrazione dei dati molto lunga, necessità di una connessione dati sullo smartphone, ...). Comunque sia, sono rimasti tutti disponibili alle future sperimentazioni se verranno risolti tutti i problemi evidenziati.

Nei giorni 29 e 30 ottobre 2018 si sono svolti due incontri in cui il team SIMPLE ha presentato una prima proposta per i due prototipi. Le aziende partecipanti si sono dimostrate interessate ai progetti pilota e aperte alla discussione su eventuali criticità e possibili soluzioni. Si sono dimostrate d’accordo ad iniziare la sperimentazione sul progetto pilota relativi alle tecnologie BLE, alla gamification e alle soluzioni per i servizi a chiamata. L’incontro con i partner del Sud Sardegna si è tenuto il 29 ottobre presso la Facoltà di Ingegneria di Cagliari, invece l’incontro i partner del Nord si è tenuto il 30 ottobre presso la sede ASPO di Olbia.

Successivamente, il 18 luglio 2019, tutti i partner sono stati invitati nella Facoltà di Ingegneria di Cagliari, per vedere un’anteprima dei prototipi presentati poi nell’evento pubblico “SIMPLE technologies per la mobilità - Workshop divulgativo”, tenutosi il 16 settembre 2019.

Il 18 luglio sono stati mostrati i primi risultati ottenuti con il prototipo Beep4Me e CTM e ATP Sassari hanno mostrato grande interesse per la sperimentazione, chiedendo maggiori dettagli sul livello di affidabilità della validazione automatica e sulla procedura di convalida del biglietto.

Per quanto riguarda il prototipo PoolBus invece il dibattito si è focalizzato su come gestire il servizio (in termini di collaborazione tra le aziende e domanda da soddisfare) e sulla criticità del finanziamento (in quanto i servizi su richiesta come le navette del prototipo non sono ancora regolamentati dalla Regione). Le aziende CTM, ATP Sassari e ARST hanno mostrato interesse per le sperimentazioni, tuttavia, a causa dell’impossibilità di modificare servizi schedulati, non possono partecipare attivamente. Il prototipo PoolBus ha catturato l’interesse dei partner perché potrebbe essere di supporto per proporre alla Regione Sardegna la regolamentazione di questo nuovo tipo di servizio.

Incontri riservati a CTM e ATP Nuoro

Tra Gennaio e Febbraio 2020 si sono svolti alcuni incontri dedicati con le aziende singole per prendere decisioni più mirate riguardo alle sperimentazioni dei due prototipi.

In particolare, il 17 Gennaio 2020 presso la sede del DIEE di piazza d’Armi a Cagliari il team SIMPLE ha incontrato ATP Nuoro per decidere in che modo effettuare le sperimentazioni dei due dimostratori Beep4Me e PoolBus. L’azienda ha espresso la volontà di attivare per un periodo di prova il servizio di smart-ticketing Beep4Me e ha individuato col team anche la linea sulla quale si sarebbero dovuti svolgere i

test. Inoltre si è discusso della sperimentazione di PoolBus, individuando anche in questo caso una linea specifica sulla quale eseguire la sperimentazione, prediligendo servizi a chiamata con deviazione.

Il 20 Febbraio 2020 si è svolto un incontro con l'azienda CTM. In questa occasione è stato deciso in che modo effettuare le sperimentazioni del prototipo Beep4Me per la validazione automatica. Fondamentalmente è stato scelto di fare prima una sperimentazione interna e poi una sperimentazione aperta con utenti reali. La sperimentazione interna era volta a individuare problemi di usabilità e risolvere eventuali bug e da fare comunque su mezzi durante la loro normale operatività. I test interni, previsti per Marzo-Aprile 2020 sono stati posticipati a causa della pandemia ed eseguiti nel mese di Luglio 2020. L'azienda, dopo aver valutato le varie alternative e proposto alcune modifiche e integrazioni (riguardo al processo di selezione degli utenti della sperimentazione aperta e il metodo di coinvolgimento degli stessi), ha confermato il suo interesse e il suo impegno per le suddette sperimentazioni. La serie di test prevista per un numero limitato di utenti reali (100 utenti) non è stata possibile per le note limitazioni per il contrasto alla pandemia da Covid-19.

Gli ultimi mesi del progetto, che hanno impegnato il team SIMPLE con la sperimentazione interna, sono stati densi di scambi con le aziende (soprattutto via email e via telefono) per rendere più efficiente la cooperazione. In queste occasioni è stato possibile ottenere per esempio informazioni sulle assegnazioni giornaliere dei bus e gli orari di passaggio dei mezzi sui quali il team aveva precedentemente installato i beacon, e organizzare nel mese di Novembre un test di viaggio intermodale coinvolgendo sia ARST che CTM.

3 Scouting delle tecnologie (WP2)

Le criticità emerse sono state ancora analizzate ed è stata effettuata la valutazione dello stato dell'arte di altre possibili tecnologie che avrebbero potuto essere incluso nei due prototipi individuati, intendendo col termine tecnologia i sistemi, i processi, le best practice, i modelli di business e le business logic utilizzate nel settore.

In particolare sono state approfondite le tecnologie Bluetooth ed è stato pianificato lo sviluppo di applicazioni mobile (iOS e Android) e server (Django). A valle di queste attività di studio è stata fatta un'analisi SWOT calata sul contesto delle aziende che prendono parte al cluster e sono stati individuati degli Use Case su cui sviluppare i prototipi.

Durante il primo anno del progetto sono stati redatti alcuni documenti riguardanti lo scouting delle tecnologie e l'analisi SWOT:

- R.2.1 Report sullo stato dell'arte
- R.2.2 Analisi SWOT delle tecnologie
- R.2.3 Repository tool open source (online sul portale)
- M.2.1 Identificazione degli use case d'interesse

Di questi documenti, i primi 3 hanno ricevuto un aggiornamento al 25° mese del progetto (Marzo 2020) per includere tutte le novità emerse durante gli ultimi sviluppi dei prototipi.

La metodologia utilizzata per guidare queste attività è costituita da un approccio misto. Si è partiti da una metodologia "application driven", basata cioè sull'individuazione di concrete applicazioni industriali innovative per ogni specifico settore. Questa metodologia è basata sull'individuazione nel settore di riferimento delle esigenze del mercato e delle conseguenti soluzioni tecnologiche adottate per poi risalire

alle tecnologie di riferimento, che è stata quindi studiata in dettaglio. Si tratta di un approccio molto strategico, che contempla quindi un intervento specifico sui fattori critici di competitività del cluster.

Una volta identificate le principali tecnologie, si è passati dunque ad una metodologia “technology push”, che a partire da una data tecnologia di riferimento del settore identifica i potenziali ambiti di impatto, esplorando anche le soluzioni più innovative e sperimentali proposte e studiate dal mondo accademico. Questa metodologia consiste in una forte spinta verso l’adozione di soluzioni particolarmente innovative. La metodologia technology push è in genere utile per esplorare mercati giovani ed immaturi, o in caso di tecnologie molto innovative, consentendo quindi di sostenere concrete applicazioni industriali innovative in un’ottica anche cross-settoriale. Dunque questa caratteristica si sposa bene con il contesto in cui opera SIMPLE.

A seguire, sui risultati della prima fase di ricerca, è stata sviluppata un’analisi SWOT classica, che fornisce un quadro chiaro e sintetico, utile a identificare i casi di particolare interesse. Nel dettaglio, l’analisi SWOT è stata principalmente suddivisa in base ai due argomenti principali legati ai due prototipi, ossia smart ticketing per Beep4me e DRT per Poolbus. Per ognuna di queste aree di interesse sono state analizzate le principali tecnologie utilizzabili, per individuare i punti di forza e le mancanze di ognuna di esse.

Per la sezione dello smart ticketing erano già state analizzate le tecnologie attualmente disponibili che possano consentire di validare automaticamente i biglietti, o almeno di rendere la procedura più veloce possibile. Per questo sono state analizzate le seguenti tecnologie:

- NFC / Contactless
- RFID
- Wi-Fi
- Bluetooth Low Energy (BLE)
- GPS
- Accelerometro
- QR code

Invece, nel caso dei servizi di trasporto a chiamata, erano già state analizzate tutte le tecnologie finalizzate a realizzare una piattaforma per la gestione di un servizio di prenotazione di servizi di trasporto alternativo, indirizzato in particolare alle aree a domanda debole, ovvero:

- Django
- PostgreSQL
- Open Trip Planner
- API dei servizi di sharing
- Android
- Docker container

A queste, è stato necessario aggiungere delle ulteriori tecnologie che si sono rese necessarie in seguito a uno sviluppo più approfondito dei prototipi e alle proposte dei partner. Per quanto riguarda Beep4me, sono state anche analizzate le tecnologie relative a:

- triangolazione e trilaterazione indoor
- riconoscimento delle vicinanze
- posizione differenziale e navigazione inerziale
- modelli di propagazione dei segnali radio bluetooth
- fingerprinting e pattern recognition

- metodi di miglioramento della rilevazione a posteriori
- rilevazione di presenza con immagini e video

Invece per Poolbus sono stati considerati anche:

- piattaforme di aggregazione per MaaS (mobility as a service)
- vari algoritmi di ottimizzazione dei viaggi dei veicoli:
 - Travel Salesman
 - Vehicle Routing
 - Pick-up and Delivery
 - Dial-a-Ride
- varie strumenti per implementare i suddetti algoritmi:
 - OR-Tools - Routing
 - VROOM
 - PG-Routing
 - Google Directions API

In conclusione, per Beep4me è stato scelto di ampliare il sistema di mobile ticketing attuale, che prevede unicamente l'uso dei QR codes, includendo delle nuove tecnologie che consentano di registrare gli ingressi e le uscite dei passeggeri sui mezzi, ma allo stesso tempo richiedano il minor numero di interventi fisici sugli stessi mezzi:

- Il BLE, dal momento che, tra tutte le tecnologie analizzate, è quella che presenta le potenzialità maggiori, e richiede delle installazioni minime e poco invasive;
- Il GPS, perché tra tutte le tecnologie analizzate è quella che potenzialmente permetterebbe di ottenere più dati in assoluto, nonostante presenta delle criticità da non sottovalutare (legati soprattutto al rispetto della privacy);
- L'activity recognition, elaborata tramite i dati ricavati da accelerometro e giroscopio, in quanto, nonostante sia tendenzialmente meno precisa rispetto agli altri metodi, non presenta praticamente aspetti negativi rilevanti.

Invece, per il prototipo Poolbus, è stato necessario costruire un nuovo sistema, che utilizza una moltitudine di tecnologie tra loro differenti. Per questo motivo, gran parte delle tecnologie presentate, anche se in diversa misura, verranno utilizzate nello sviluppo del prototipo. In particolare, è stata costruita una piattaforma che sia in grado di raccogliere le richieste di spostamento degli utenti, di generare eventuali viaggi on-demand da effettuare con servizi di navetta (tramite OR-Tools) e di accorpare i viaggi sullo stesso corridoio per ottimizzare il sistema.

4 Sperimentazione (WP3)

Una volta identificati gli Use Cases di interesse per i partner del progetto così come da output delle attività del WP1, si è passati ad una fase di progettazione. Questa ha compreso la definizione dell'architettura del sistema, degli algoritmi da implementare per ogni modulo software, le modalità d'interazione tra i moduli e la compatibilità fra tutte le componenti del sistema.

I dimostratori forniscono una soluzione per superare alcune delle criticità identificate:

- **Beep4Me** - questo prototipo ha come obiettivo incentivare gli utenti ad utilizzare il trasporto pubblico e supportare in modo semplice la ripartizione degli introiti (clearing) tra le aziende che

forniscono i servizi di mobilità. Le sperimentazioni prevedono l'uso delle tecnologie Bluetooth e lo sviluppo di nuove funzionalità all'interno di applicazioni per tablet e smartphone. Il team SIMPLE ha sviluppato dei moduli da integrare ad applicazioni iOS.

- **PoolBus** - questo prototipo consente agli utenti di prenotare dei servizi su richiesta, in modo semplice e con costi contenuti. L'obiettivo è sostenere quelle aree della Sardegna in cui il trasporto di linea tradizionale non è sufficiente per soddisfare le necessità della popolazione. Il prototipo è la base per un sistema completo che include diversi tipi di servizi di mobilità integrati: sharing, pooling, trasporto pubblico e servizi a chiamata. E' stata sviluppata un'applicazione Android e dei moduli server Django.

Una volta sviluppati i dimostratori sono state svolte delle sperimentazioni per ciascuno di questi e sono stati analizzati i risultati ottenuti. Le metodologie utilizzate per la sperimentazione sono quelle usualmente adottate nel software engineering, semplificate in virtù del carattere non industriale degli obiettivi.

I dettagli di tutte queste attività sono riportati sui deliverable:

- R.3.1 Codice sorgente Dimostratore 1, Beep4Me
- R.3.2 Codice sorgente Dimostratore 2, PoolBus
- R.3.3 Documento di definizione della sperimentazione e testing
- R.3.4 Documento sull'analisi delle sperimentazioni
- M.3.1 Analisi dei risultati di test

4.1 Beep4Me

Il prototipo Beep4Me mira a motivare gli utenti a utilizzare il trasporto pubblico, e allo stesso tempo supporta i fornitori di servizi nella ripartizione degli introiti (*clearing*), attraverso un sistema di convalida automatico.

Un sistema tariffario integrato può aumentare il numero di utenti che viaggiano con modalità sostenibili se è facile da usare ed equo per i vari fornitori di servizi di trasporto. Pertanto, gli utenti dovrebbero essere invitati a completare il minor numero possibile di azioni, mentre le aziende dovrebbero ricevere quanti più benefici possibili.

Beep4Me prevede che gli utenti ottengano il vantaggio di utilizzare un sistema di convalida automatica dei ticket, migliorando la loro esperienza di viaggio quotidiana. I fornitori di servizi riceveranno dati sul numero di utenti e sul livello di utilizzo di ciascuno dei loro veicoli e linee, in tempo reale.

Gli schemi più comunemente utilizzati per le azioni degli utenti quando entrano e escono dal veicolo di trasporto sono:

- Solo check-in (CI), in cui l'utente deve agire solo al momento dell'imbarco;
- Check-In Check-Out (CICO), in cui l'utente deve agire sia al momento dell'imbarco sia durante la discesa;
- Check-In Be-Out (CIBO), in cui gli utenti agiscono solo al momento dell'imbarco e la discesa è automatica;
- Be-In Be-Out (BIBO), in cui l'utente viene rilevato automaticamente sia durante l'imbarco sia durante la discesa.

Il biglietto inoltre può essere memorizzato su diversi supporti:

- Un semplice biglietto cartaceo / ricevuta.
- Una smart card, che può essere basata sul contatto o senza contatto.
- Dispositivi mobili, quando il ticket viene implementato tramite SMS, riconoscimento ottico o NFC.

Dopo un'attenta analisi SWOT sono emersi i notevoli vantaggi dell'utilizzo della bigliettazione elettronica, per cui il nuovo sistema sfrutterà le tecnologie installate sui moderni smartphone. In particolare verranno utilizzate le tecnologie Bluetooth, i servizi di localizzazione (GPS e accelerometro) e i QR codes.

Il nuovo prototipo aggiungerà, rispetto ai sistemi attualmente utilizzati in Sardegna, l'opzione BIBO, offrendo agli utenti un'esperienza completamente a mani libere. I servizi utilizzati possono funzionare indipendentemente o in combinazione, prendendo in considerazione la configurazione dello smartphone di ciascun utente.

Attualmente, per convalidare un ticket, gli utenti ripetono una lunga sequenza di passi diversi ogni volta che salgono a bordo di un autobus. Utilizzando il sistema proposto, invece, grazie al processo di convalida automatizzato, gli utenti dovranno seguire passi simili, ma solo una volta per ogni biglietto, cioè la prima volta che lo usano. Questo sarà particolarmente utile nel caso di abbonamenti.

Gli utenti dovranno attivare il Bluetooth e i servizi di localizzazione sui propri dispositivi quando vogliono utilizzare la convalida automatica. Il sistema include tre controlli principali per assicurarsi che il processo automatico funzioni correttamente:

- Un controllo di imbarco, per assicurarsi che un utente sia effettivamente salito sul bus, e non è semplicemente nelle vicinanze mentre il bus sta passando.
- Un controllo di permanenza, dopo il controllo dell'imbarco, per assicurarsi che il passeggero sia ancora a bordo e misurare la durata del viaggio.
- Un controllo di salita, per verificare con certezza che un passeggero abbia lasciato il veicolo.

L'innovazione del sistema Beep4Me riguarda principalmente l'utilizzo dei beacon BLE (Bluetooth Low Energy), dei dispositivi che trasmettono in broadcast dei messaggi ad altri dispositivi dotati di Bluetooth, per indurli ad eseguire una o più azioni. Le applicazioni per smartphone possono interagire principalmente in 2 modi via Bluetooth:

- Monitoraggio della regione: una regione può essere definita da almeno un identificativo.
- Prossimità del beacon: viene restituito un livello approssimativo di distanza.

Il sistema permette la validazione anche in assenza del beacon all'interno del bus sfruttando un monitoraggio su regioni di tipo diverso (geofence) che identificano ciascuna fermata degli operatori di trasporto coinvolti nel sistema di trasporto integrato.

Sviluppo

Il modulo software Beep4Me sviluppato dal team SIMPLE rileva la presenza del dispositivo utente all'interno del bus per l'intera durata del suo viaggio, dalla salita sul mezzo fino alla discesa da esso. Grazie alla rilevazione di questi due importanti eventi, Beep4Me convalida il biglietto dell'utente in modo automatico in ingresso (validazione e trasbordo) e in uscita (check-out) dal mezzo.

Per raggiungere questo obiettivo, Beep4Me effettua in parallelo tre tipi di sensing:

- monitoring / ranging delle geofence associate alle fermate dell'azienda,

- monitoring / ranging delle regioni dei beacon installati sui bus dell'azienda,
- stima della motion activity svolta dall'utente in un certo istante di tempo.

Una volta attivata la funzione di Validazione Automatica, lato app, i tre tipi di sensing iniziano a funzionare, in modo indipendente, fornendo informazioni che permettono al sistema di decidere di generare un evento di ingresso o di uscita dal bus, che a loro volta scateneranno la convalida del biglietto.

Il funzionamento complessivo è relativamente semplice.

All'avvio Beep4Me acquisisce l'elenco aggiornato delle fermate dal server dell'azienda, seleziona le fermate più vicine ed inizia a **monitorarle**, usando la tecnologia delle geofence e la posizione dell'utente, in modo da capire se un utente sta potenzialmente iniziando un viaggio su un mezzo del TPL. In sostanza il sistema rileva quando l'utente è entrato in o uscito da un'area circolare di 25 metri di raggio centrata sulla palina della fermate. Questa condizione permette l'attivazione del ranging dei beacon.

All'avvio di Beep4Me viene attivato inoltre il monitoring delle regioni dei beacon che identificano i mezzi di una certa azienda. L'app percepisce l'avvicinamento a questi dispositivi (monitoring) e ne stima la prossimità (ranging). Questo permette di capire se l'utente si trova dentro il bus o meno attraverso un controllo sul superamento ripetuto di certe soglie di potenza per il segnale BLE ricevuto per un intervallo di tempo prestabilito. Il fatto di essere all'interno (o meno) di una fermata, permette di attivare (o meno) il ranging dei beacon. È sempre attivo invece il monitoring. Quando l'utente scende dal mezzo, viene rilevato l'allontanamento (potenze sotto una certa soglia per un periodo continuativo di tempo) dal mezzo su cui si trovava.

Nota: sia la rilevazione delle fermate (o meglio delle geofence associate ad esse) sia la rilevazione dei beacon (regioni di copertura dei beacon) vengono eseguite in due passi, con due tecnologie: il monitoring e il ranging. La fase di monitoring, eseguita a livello di sistema operativo, permette di svegliare l'app in qualunque stato si trovi, quando il dispositivo utente entra o esce da una certa area, di solito molto grande, attorno alla fermata. Essa in particolare fornisce la migliore ottimizzazione possibile in termini di consumi di batteria. Il ranging eseguito attivamente dall'app permette, attraverso l'uso della posizione (per le geofence) o della lettura dei pacchetti di advertising (per i beacon), di avere una misura più precisa della prossimità con la palina della fermata o con i beacon installati sul mezzo. Nel caso di Beep4Me, il fatto di essere dentro una fermata (adesso possiamo dire "a meno di 25 metri dalla palina") permette l'attivazione del ranging dei beacon, più dispendioso in termini di risorse e da eseguire solo e soltanto quando l'utente potrebbe iniziare effettivamente un nuovo viaggio.

La rilevazione dell'evento di ingresso e di uscita dal mezzo è usata per avviare il processo di check-in e check-out, tramite la comunicazione con il server dell'azienda dedicato alla bigliettazione. Se la condizione lo permette il server risponde all'app generando una notifica dedicata per ognuna delle possibili situazioni che si possono verificare per i biglietti utente. Tale notifica informa l'utente sullo stato del suo biglietto.

In particolare, il sistema distingue 5 situazioni a cui sono associate altrettante notifiche utente. Esso invia all'utente una di queste notifiche in base alla situazione:

1. "Complimenti! Hai effettuato il trasbordo automatico sul Biglietto ... in data ... alle ..." - salita con biglietto validato e ancora non scaduto: al click sulla notifica viene mostrato all'utente il biglietto convalidato, con una "nota" che gli ricorda che l'operazione è stata effettuata automaticamente.
2. "Complimenti! Il Biglietto ... è stato validato in modo automatico in data ... alle ..." - salita con biglietti disponibili di un solo tipo non ancora validati: al click sulla notifica viene mostrato all'utente

il biglietto appena convalidato e una nota che lo informa del fatto che la validazione è stata effettuata in modo automatico.

3. “Attenzione! Abbiamo trovato diversi biglietti. Scegli il biglietto da validare.” - salita con **biglietti disponibili di più tipi** non validati: il click sulla notifica porta l’utente alla schermata con la lista dei tipi di biglietto validabili. Il click sopra uno di questi biglietti porta l’utente alla schermata di quel biglietto, che validare “automaticamente ” semplicemente premendo sul bottone “VALIDA”, senza quindi la necessità di scansionare il QR-code.
4. “Attenzione! Non hai biglietti disponibili.” - salita senza biglietti disponibili: il click sulla notifica porta l’utente alla schermata di **Acquisto Biglietti**. Dopo qualche secondo dall’acquisto, il sistema rileva la presenza del nuovo biglietto ed effettua una Validazione Automatica, come nel caso 2).
5. “Grazie! Hai effettuato il checkout automatico correttamente sul Biglietto ... in data ... alle ...” - discesa dal mezzo (allontanamento dal mezzo): cliccando sulla notifica è possibile, anche in questo caso vedere il biglietto appena validato e la nota che informa della convalida automatica che è stata appena effettuata.

Sperimentazioni

Il funzionamento del sistema è stato verificato durante diverse sperimentazioni, effettuate dal team durante tutta la durata del progetto.

I primi test effettuati principalmente su mezzi surrogati (due automobili) erano volti a verificare la fattibilità della rilevazione della salita e della discesa usando soglie di potenza del segnale BLE rilevato dall’app, per mezzo dei pacchetti di advertising BLE. Questi test hanno permesso di **individuare livelli di potenza ricevuta ben distinguibili** tra beacon posizionati su mezzi diversi, anche quando questi mezzi nel loro moto risultavano ben affiancati tra loro.

I successivi test sono stati effettuati su mezzi della MetroCagliari (lunghi circa 30 metri). Questi test hanno permesso di **indagare meglio sul numero di beacon** da posizionare su ogni mezzo e **sulle potenze di trasmissione da assegnare** ad essi per ottenere una copertura adeguata agli scopi del progetto. I test hanno permesso di capire che un buon compromesso era quello di utilizzare (almeno) 3 beacon su mezzi da 12 metri (circa la lunghezza di un bus CTM) e 6-7 beacon su mezzi da circa 30 metri (circa la lunghezza di un tram di MetroCagliari). Tutti con una potenza di trasmissione selezionata di -4dBm.

Per la sperimentazione sul campo di Luglio 2020 con i bus sulla linea sono stati attrezzati 10 bus modello “Citaro” del CTM con il setting sopra indicato, con i quali sono stati eseguiti vari tipi di test di Salita e Discesa dai mezzi. Oltre a testare la corretta ricezione della notifica adatta alle diverse situazioni (disponibilità di un biglietto già validato, disponibilità di un solo tipo di biglietto da validare, disponibilità di più tipi di biglietti da validare, mancanza di biglietti e uscita dal bus) e il corretto aggiornamento del database dei biglietti con le informazioni sulla convalida, sono state testate anche altre situazioni possibili. In particolare, sono stati sperimentati i casi come:

- “l’attesa alla fermata senza salita su un bus fermo davanti all’utente”, e verificata la non validazione, in quel caso;
- la convalida del biglietto quando due mezzi attrezzati con i beacon risultano affiancati, e verificato la validazione corretta solo nel mezzo in cui l’operatore era salito.

Il montaggio dei beacon e i test sono stati eseguiti tra la seconda metà di Giugno 2020 e i primi giorni di Agosto 2020, sia con mezzi operanti sulla linea, sia con mezzi in movimento o fermi all’interno del deposito CTM.

A Novembre 2020 sono stati installati i beacon su due mezzi (tram su rotaia) della MetroCagliari (7 beacon per mezzo con -4dBm di potenza tx) e sono stati eseguiti dei test di viaggio intermodale a Cagliari, utilizzando mezzi di diversa tipologia (ferro e gomma) e di diverse aziende (ARST e CTM). Per la precisione è stato eseguito un viaggio con una prima tratta su MetroCagliari dalla Stazione di San Gottardo fino a Piazza Repubblica. Da Piazza Repubblica sono stati utilizzati due bus CTM della linea 30, con due brevi tratte in direzione Matteotti, fino a viale Bonaria. Ritornati a piedi fino a Piazza Repubblica, è stata effettuata la tratta Piazza Repubblica - San Gottardo per il rientro, sempre con Metro Cagliari. Il sistema si è rivelato affidabile (in termini di tipo di notifica ricevuta dall'utente e di aggiornamento del database delle validazioni e dei biglietti lato server).

Da queste sperimentazioni si è evinto che il sistema risulta efficace perché rileva correttamente l'ingresso e l'uscita dell'utente da un mezzo ed esegue la corretta convalida del biglietto lato server. Inoltre il sistema comunica correttamente con l'utente, presentandogli la notifica adatta che lo informa dell'avvenuta convalida o della necessità di effettuare alcune operazioni per portarla a termine; oppure lo informa di aver lasciato il mezzo e che il suo biglietto è stato aggiornato correttamente anche in questo caso (da tener presente che il check-out manuale è facoltativo).

4.2 PoolBus

Il prototipo PoolBus ha previsto lo sviluppo e il test di un sistema ICT in grado di includere diversi servizi di trasporto integrati: trasporto pubblico locale, trasporto a chiamata (DRT), servizi di pooling e sharing.

Il prototipo è costituito da due parti: un'applicazione Android destinata agli utenti e un sistema server per gestire le richieste. L'applicazione per gli utenti permette la registrazione, la prenotazione e la pianificazione dei viaggi, invece il sistema lato server integra i diversi servizi e li rende disponibili all'utente tramite l'app mobile.

Il processo di prenotazione previsto nel sistema è stato strutturato in differenti fasi:

- l'utente invia una richiesta tramite l'app mobile con tutti i dati necessari per la creazione del viaggio;
- il sistema riceve la richiesta, verifica i servizi di trasporto presenti nella zona e registra la richiesta inviandola al sistema di brokering presente nella zona di prenotazione;
- il sistema mostra all'utente eventuali percorsi compatibili di servizi già attivati e l'utente sceglie se partecipare al viaggio o se attivare un ulteriore servizio proposto dal sistema in ordine gerarchico di condivisione;
- l'utente accetta o meno la proposta di viaggio con l'importo massimo previsto del titolo di viaggio.

Il sistema gestisce quindi gli itinerari, definendo le fermate di salita e discesa, il numero di passeggeri e il tempo di inizio e fine di ogni leg (o segmento di viaggio). Il viaggio può essere composto da più leg (*i.e.* fase del viaggio realizzata con un singolo sistema di trasporto). Il sistema definisce delle aree DRT all'interno delle quali possono essere attivati dei servizi a chiamata, eventualmente integrati e connessi ai servizi di trasporto pubblico. Le richieste sono gestite da Open Trip Planner, con le dovute integrazioni previste dall'aggiunta di servizi a chiamata non fissi spazialmente e temporalmente.

L'intero sistema è stato testato in aree nelle quali potrebbe essere conveniente inserire dei sistemi a chiamata più flessibili del trasporto pubblico locale. In particolare le sperimentazioni sono state contestualizzate nell'area dell'Alta Marmilla (OR). I parametri analizzati per l'area selezionata sono la

popolazione, la densità, l'indice di riduzione demografica, la domanda di mobilità e le caratteristiche morfologiche del territorio.

La sperimentazione del prototipo PoolBus è stata suddivisa in due fasi: una fase preliminare e una fase virtuale.

La fase preliminare è basata sulla realizzazione e diffusione di un questionario tramite i social network: esso era riservato alla popolazione dell'area scelta per la sperimentazione e i dati raccolti sono stati utilizzati per tarare la sperimentazione virtuale.

La sperimentazione virtuale è basata invece su una serie di simulazioni in cui un programma simula il comportamento di un utente che usa l'applicazione mobile per richiedere dei piani di viaggio e per selezionare un itinerario tra quelli proposti nel piano di viaggio ricevuto.

Il programma che simula le richieste degli utenti esegue i seguenti step:

1. Genera uno scenario giornaliero prelevando campioni di richieste dal dataset
2. Per ciascuna richiesta dello scenario:
 - a. Genera la rispettiva richiesta di piano di viaggio
 - b. Ricevuto il piano di viaggio, lo analizza e seleziona uno degli itinerari
 - c. Genera poi la richiesta per prenotare l'itinerario selezionato
3. Invia una richiesta al server per finalizzare i viaggi delle navette
4. Invia una richiesta per calcolare le statistiche di richieste e prenotazioni
5. Salva in file i dati della simulazione

Nella simulazione sono stati impostati i seguenti parametri di ingresso: numero di richieste, arco temporale della simulazione, velocità del bus in movimento, finestre temporali per le navette, numero di veicoli, costo del servizio e ripartizione dei costi tra gli utenti.

Un altro importante parametro di ingresso sono le richieste, costituite dalla terna di valori coordinate di origine, coordinate di destinazione e orario di partenza. Il database delle richieste è stato realizzato tenendo conto di tutte le combinazioni origine destinazione possibili con le 22 fermate della simulazione e di tutte le fasce orarie comprese tra le ore 6.30 e 19.30. La possibilità di selezionare una di queste terne è maggiore se dai questionari è emerso che qualcuno ha realmente la necessità di viaggiare da una determinata origine a una determinata destinazione in una specifica fascia oraria.

5 Diffusione dei risultati (WP4)

Uno degli obiettivi del progetto SIMPLE è quello di sviluppare attività di divulgazione degli avanzamenti e dei risultati verso potenziali portatori d'interesse. Dunque far conoscere le opportunità di SIMPLE e conseguentemente riuscire a mettere in rete tutti gli stakeholder favorendo lo scambio di esperienze e la circolazione di idee per il raggiungimento di obiettivi comuni e condivisibili, creando le premesse per nuove sperimentazioni sul campo e l'avvio di ricadute commerciali sia in ambito regionale, sia nazionale.

Per raggiungere questi obiettivi è stato redatto un piano editoriale e il team SIMPLE organizzato alcuni eventi:

- l'8 giugno 2018 si è tenuto il **Kickoff meeting**, il primo incontro con i partner del progetto;
- il 17 settembre si è svolto l'incontro pubblico **Smart Ticketing e Brokering di un Ridesharing pianificato**, in cui sono state presentate due proposte di prototipo in occasione della Settimana della Mobilità 2018;
- nei giorni 29 e 30 ottobre 2018 si sono tenuti due incontri rispettivamente a Cagliari e a Olbia in cui il team SIMPLE ha **discusso nel dettaglio le due proposte per i prototipi con i partner**;
- Il 18 Luglio 2019 è stata organizzata una **riunione di aggiornamento** con i partner per condividere una loro partecipazione alle sperimentazioni;
- il 16 Settembre 2019 si è tenuto il **workshop divulgativo intermedio** con la partecipazione di oltre 80 persone;
- il 20 Novembre 2019 si è tenuta un'altra **riunione congiunta con tutti i partner per una sincronizzazione sulle attività sperimentali**. Tale riunione si è ripetuta il 18 Dicembre 2019;
- il giorno 23 Novembre 2020 si è tenuto un **workshop divulgativo finale** sulle Tecnologie per la mobilità sostenibile dove sono stati presentati i risultati delle sperimentazioni.

Inoltre il team SIMPLE ha partecipato agli eventi durante i quali sono stati presentati gli obiettivi ed attività del progetto:

- Unica & Imprese (22 giugno 2018)
- Notte dei ricercatori (28 settembre 2018)
- 3 e 4 Ottobre 2019 - SINNOVA
- 5 - 6 - 7 Giugno 2019 Sesta Conferenza Internazionale dei Modelli e delle Tecnologie per i Sistemi di Trasporto Intelligenti (MT-ITS-2019) - Politecnico di Cracovia
- 27 Giugno 2019 - Unica e Imprese CeSAR Monserrato
- 27 Settembre 2019 - Notte dei Ricercatori
- 29 Aprile 2020 - La mobilità collettiva durante la fase 2 dell'emergenza Covid-19

La fase di diffusione dei risultati ha l'obiettivo di dare ampia visibilità al progetto, oltre che riuscire a coinvolgere il più possibile i soggetti interessati. La metodologia utilizzata per sviluppare la diffusione dei risultati è composta da tre asset prevalenti:

1. Promozione della consapevolezza: pubblicizzare l'esistenza del cluster esternamente e favorire internamente la condivisione degli obiettivi per aumentare l'efficacia dell'azione.
2. Disseminare i risultati: fornire informazioni sui risultati del progetto, intermedi e finali, a tutti i destinatari prestabiliti secondo una pianificazione svolta a priori in cui si identificano target e canali comunicativi di riferimento.
3. Valorizzazione della divulgazione: sviluppare due principali macro-categorie per dare valore all'attività:
 - a. Mainstreaming: processo pianificato di trasferimento di risultati ai "decision makers" ed "influencers" a livello locale, regionale, nazionale o europeo, al fine di favorire nuove collaborazioni sul territorio.

- b. Multipliers: processo pianificato di persuasione degli utilizzatori finali (operatori del settore e loro community di riferimento) ad adottare i risultati del cluster e favorire la creazione di consorzi su future iniziative.

Fondamentale la divulgazione dei risultati è stata la realizzazione del portale web e l'apertura dei canali sui social Facebook e LinkedIn. Inoltre, per garantire la visibilità del progetto anche a livello nazionale e internazionale, i due prototipi sono stati presentati durante la "6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems", che si è svolta a Cracovia nel giugno 2019.

I dettagli di tutte queste attività sono riportati sui deliverable:

- R.4.2 Analisi di soddisfazione dei partecipanti al CLUSTER
- R.4.3 Report sulle pubblicazioni

7 Conclusioni

Il progetto si è concluso rispettando gli obiettivi e la tabella di marcia prevista. Gli argomenti trattati sono stati di estremo interesse per le aziende operanti nel settore, e questo è stato confermato anche dall'adesione al progetto di tre nuovi partner (GeoInfoLab, ATP Nuoro e Espereal Technologies) avvenuta dopo l'avvio del progetto.

Il progetto ha portato allo sviluppo di due prototipi che sono stati sperimentati in scenari operativi dei partner del progetto. Tali prototipi sono disponibili anche per sfruttamenti successivi da partner del progetto ma non solo. I due laboratori coinvolti nel progetto (MCLab e CIREM) interessati a fornire un supporto perché tali risultati possano essere sfruttati anche a progetto finito offrendo la propria competenza.

Durante tutto il progetto, il team SIMPLE ha lavorato alla divulgazione dei risultati in eventi pubblicati al fine di massimizzare la diffusione delle informazioni sulle tecnologie disponibili nel settore e come i vari operatori del settore possano usufruirne. Tutte le informazioni sono disponibili sul portale del progetto: <http://www.simple-cluster.it/>