

Realizzato dall'Università degli Studi di Cagliari



simple

Strumenti e Modelli Per La mobilità sostenibile

Report sullo stato dell'arte



UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTÓNOMA 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

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

INFORMAZIONI SUL DOCUMENTO

Numero del Deliverable	2.1	Titolo	Report sullo stato dell'arte
Numero del Workpackage	2	Titolo	Scouting delle tecnologie
Data di scadenza del deliverable	31/01/2019		
Data di sottomissione del deliverable	21/02/2019		
Autore/i responsabile/i	Marco Garau		
Livello di diffusione	Non applicable		

MODIFICHE DEL DOCUMENTO

Data	Autore	Modifiche	Versione
10/01/2019	Giovanni Tuveri	Struttura generale	0.1
30/01/2019	Marco Garau	Contenuti	0.2
01/02/2019	Marco Garau	Contenuti	0.3

04/02/2019	Marco Garau	Stato dell'arte ticketing	0.4
06/02/2019	Marco Garau	scouting tecnologie ticketing	0.5
07/02/2019	Marco Garau	stato dell'arte DRT	0.6
08/02/2019	Lucia Pintor	revisione	0.7
08/02/2019	Marco Garau	risistemazione struttura	0.8
09/02/2019	Marco Garau	elaborazione e contenuti	0.9
10/02/2019	Marco Garau	risistemazione dei contenuti	1.0
12/02/2019	Lucia Pintor, Matteo Gravellu	revisione e aggiunta di contenuti sul prototipo DRT	1.1
13/02/2019	Lucia Pintor	aggiunta di contenuti sul prototipo DRT	1.2
18/02/2019	Marco Garau	aggiunta contenuti Smart Ticketing	1.3
19/02/2019	Marco Garau	aggiunta contenuti Smart Ticketing	1.4
20/02/2019	Marco Garau	revisione	1.5
21/02/2019	Marco Garau	revisione	2.0

Tavola dei contenuti

1. Introduzione	6
1.1 Abstract	6
1.2 Abbreviazioni	6
1.3 Problematiche principali da risolvere	8
1.3 Struttura del documento	9
2. Scouting delle Tecnologie	9
2.1 Clearing del Trasporto Integrato	9
2.2 Servizi di trasporto in aree a Domanda Debole	10
3. Sistema smart ticketing	10
3.1 Una classificazione delle tipologie di interazione possibili	10
3.2 Stato dell'arte ed esempi di applicazione di schemi di interazione automatica	12
3.2.1 WIWO	12
3.2.2 BIBO	13
3.3 Tecnologie utilizzate nei progetti citati	20
3.3.1 ISO/IEC 14443 (Contactless)	20
3.3.2 NFC	20
3.3.3 ISO 15693 (RFID)	21
3.3.4 WiFi	22
3.3.5 Bluetooth Low Energy	23
3.3.6 GPS	26
3.4 Beacon BLE Smart Ticketing System per il Clearing in Sardegna	27
3.5 Tecnologie selezionate per il Beacon BLE Ticketing System	27
4. Sistema DRT per aree a domanda debole	29
4.1 Definizione: zone a Domanda Debole in Sardegna	29
4.2 Stato dell'arte ed esempi di applicazione di tecnologie per i servizi on demand	30
4.3 Sistema DRT	32

4.4 Tecnologie selezionate per il sistema DRT	34
4.4.3. Django	35
4.4.4. Database PostgreSQL	36
4.4.5. Open Trip Planner	37
4.4.6. API dei servizi di sharing	38
4.4.7. Smartphone Android	38
5. Conclusioni	39
6. Bibliografia	40

1. Introduzione

1.1 Abstract

Nella presente relazione vengono descritte le tecnologie allo stato dell'arte utili alla risoluzione delle problematiche emerse dalle analisi scaturite a seguito dei primi mesi di lavoro del team SIMPLE. In particolare si ricorda che, dopo aver interagito con le aziende partner del cluster, sia tramite questionari sia tramite incontri diretti e meeting, sono state definite le principali criticità per tali aziende e in questa fase sono state analizzate le varie tecnologie e soluzioni architettoniche adatte ad affrontarle. In particolare si è deciso di lavorare principalmente a due soluzioni, ovvero: una prima che offra agli utenti del trasporto pubblico un metodo per **validare in modo automatico i biglietti** e gli abbonamenti, sia in salita che in discesa dai mezzi, al fine di poter implementare dei sistemi di clearing efficaci; una seconda che ha lo scopo di creare una **piattaforma per l'organizzazione e gestione di un sistema di trasporto a chiamata**, con particolare attenzione alle aree a domanda debole. Sulla base di questi due obiettivi, è stata eseguita una ricerca per individuare quali sono le possibili soluzioni tecnologico-architettoniche applicabili, sia già sperimentate sia semplicemente concettualizzate nella letteratura internazionale.

1.2 Abbreviazioni

Abbreviazione	Significato
ACID	Atomicità, Consistenza, Isolamento e Durabilità
API	Application Program Interfaces
BIBO	Be-In Be-Out
BLE	Bluetooth Low Energy
B. SIG	Bluetooth Special Interest Group
BR	Basic Rate (del Bluetooth)
CI	Check-In
CICO	Check-In Check-Out
DRT	Demand Responsive Transport
EDR	Enhanced Data Rate (del Bluetooth)
EFM	Electronic Fare Management

EGNOS	European geostationary navigation overlay system (Sistema geostazionario europeo di navigazione di sovrapposizione)
FAMS	Flexible Mobility Agency Service
FESR	Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
FFS	Ferrovie Federali Svizzere
FMP	Find Me Profile (del Bluetooth)
GAP	Generic Access Profile (del Bluetooth)
GATT	Generic Attributes (del Bluetooth)
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GTFS	General Transit Feed Specification
GUI	Graphical User Interface
HF	High Frequency
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICT	Information and Communications Technology
IEC	Commissione elettrotecnica internazionale
IR	Infra-Red, Infrarossi
ISO	International Organization for Standardization
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LE	Low Energy
MaaS	Mobility as a Service
MAC	Media Access Control (address)
NCC	Noleggio Con Conducente
NFC	Near-Field-Communication
OTP	Open Trip Planner

PHP	Hypertext Preprocessor
PPPoE	Point-to-Point Protocol over Ethernet
PXP	Proximity Profile (del Bluetooth)
RFI	Request for information
RFID	Radio Frequency IDentification
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SAMPO	System for Advanced Management of Public Transport Operations
SMS	Short-Message-Service
SQL	Structured Query Language
SSID	Service Set IDentifier
TP	Trasporto Pubblico
VPN	Virtual Private Network
WAAS	Wide Area Augmentation System
WEP	Wired Equivalent Protocol
Wi-Fi o WiFi	Wireless Fidelity
WIWO	Walk-In Walk-Out
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	Wi-Fi Protected Access

1.3 Problematiche principali da risolvere

Dalle analisi effettuate, descritte nei precedenti deliverable, e dai meeting organizzati con le aziende del Cluster-Simple per discutere delle criticità incontrate dalle stesse nell'ambito della fornitura dei trasporti pubblici in Sardegna, sono state individuate alcune problematiche di maggiore importanza. In particolare durante gli incontri "Sud" e "Nord" avvenuti rispettivamente a Cagliari il 29 Ottobre 2018 e a Olbia il 30 Ottobre 2018 si è riusciti a isolare le due problematiche principali e quindi, tra le soluzioni proposte, due concept per la loro soluzione: sistema di clearing del trasporto integrato che richiede un sistema di monitoraggio automatico dell'utilizzo dei servizi da parte dell'utente e il sistema di aggregazione di offerta e domanda di servizi per aree a domanda debole.

1.3 Struttura del documento

Nella sezione due viene descritto il contesto attuale del trasporto pubblico in Sardegna riferendosi alle problematiche principali individuate durante gli incontri con le aziende del cluster: il problema legato alla difficoltà di realizzare un clearing semplice e equo per tutti gli operatori e il problema della limitata offerta di TP in aree scarsamente popolate della Sardegna.

Nella sezione tre, riguardo alle problematiche del clearing, vengono descritte le soluzioni allo stato dell'arte (da semplici concept fino a sistemi testati su larga scala) e le tecnologie utilizzabili. Inoltre il prototipo sullo Smart Ticketing viene inquadrato in questo contesto tecnologico.

Nella sezione quattro, riguardante le problematiche del trasporto in aree a domanda debole, vengono descritti sistemi allo stato dell'arte utilizzati in questi contesti, le tecnologie scelte per il prototipo che verrà sviluppato per affrontare tali problematiche.

La sezione cinque è una descrizione dei lavori futuri, sia in termini di ricerca sia di sviluppi operativi, mentre la sezione sei contiene tutti i riferimenti bibliografici.

2. Scouting delle Tecnologie

In seguito alla fase di analisi delle criticità riscontrate dagli operatori del Trasporto Pubblico (TP) in Sardegna, è stata fatta una analisi delle soluzioni già presenti sul mercato e dello stato dell'arte, insieme con le tecnologie adottate per affrontare questo tipo di problematiche.

2.1 Clearing del Trasporto Integrato

La prima soluzione individuata e presentata alle aziende del cluster riguarda una soluzione mirata a offrire delle alternative innovative alla classica bigliettazione. In particolare per quanto riguarda la ripartizione degli introiti dei biglietti integrati, la problematica fondamentale discussa durante i kick-off meeting è che queste aziende, sebbene generalmente favorevoli all'integrazione tariffaria, vorrebbero avere dati precisi sull'utilizzo dei mezzi di ciascuna di esse da parte degli utenti, ritenendo l'attuale metodologia di clearing poco soddisfacente. Questo perché allo stato attuale l'informazione sulla permanenza degli utenti all'interno di ciascun mezzo di trasporto pubblico è completamente assente (ad es. se usa un biglietto cartaceo) o solo parziale (ad es. perché l'utente effettua un check-in con lo smartphone, ma non è obbligato a effettuare il check-out, e quindi non si conosce l'effettiva permanenza dello stesso su ciascun bus), per cui è necessario creare un sistema di supporto che renda il tutto più semplice ed equo [1]. Uno dei criteri migliori su cui basare un modello di clearing è il cosiddetto criterio "a consumo", basato sull'effettivo numero di passeggeri trasportati da ogni operatore di trasporto pubblico. Questo però chiede una disponibilità continua dei dati di traffico, i quali possono essere ottenuti in modo efficace e completo solamente se si adottano dei sistemi di bigliettazione elettronica. In questo caso sarebbe necessario fare in modo che gli utenti validino sempre i titoli di viaggio, anche sui sistemi "aperti", ma soprattutto che registrino sia l'ingresso (check-in) che l'uscita (check-out) dal mezzo [2]. Quindi per avere una misura completa e in tempo reale della permanenza degli utenti a bordo di ogni mezzo utilizzato, di qualunque azienda di TP, serve un sistema che rilevi automaticamente la presenza dell'utente (o un dispositivo a lui associato) per tutto il tempo che lui trascorre

sul veicolo, da quando inizia a quando finisce il viaggio su quel mezzo, e quando sta effettuando un cambio mezzo.

Per risolvere questo tipo di problematica sarà realizzato un **sistema**, integrato in app esistenti, o sviluppato ex novo, **che permetterà di effettuare tale misurazione della permanenza dell'utente su ogni veicolo di TP**, indipendentemente dall'azienda. Un sistema di questo tipo ha anche i vantaggi di offrire una maggiore comodità d'uso per l'utente e di consentire l'uso di metodi di calcolo delle tariffe molto più flessibili, che potranno garantire una maggiore trasparenza per l'utente e maggiori entrate per gli operatori.

2.2 Servizi di trasporto in aree a Domanda Debole

Senza misure specifiche per combattere l'esclusione sociale e promuovere lo sviluppo rurale, molte aree della Sardegna saranno escluse dai principali servizi sociali e finanziari. Lo spopolamento e la conseguente riduzione della domanda di mobilità è una delle principali cause che rendono poco conveniente fornire servizi di trasporto pubblico nelle aree menzionate, portando una riduzione dell'accessibilità del territorio per l'utente generale. Di conseguenza, le persone che vivono nelle aree rurali e suburbane si sentono socialmente escluse e sono incentivate ad abbandonare queste aree o ad utilizzare auto private.

Durante gli incontri, ragionando sul modello di offerta di trasporto pubblico, urbano ed extraurbano, attualmente in vigore in Sardegna e sulle reali necessità di vaste aree di questa regione, si è giunti a definire la necessità di migliorare l'attuale offerta (rigida in termini di orario, numero di posti offerti ecc) con un **servizio a richiesta**, che integri e gestisca tutti gli altri tipi di offerta di trasporto di persone.

3. Sistema smart ticketing

3.1 Una classificazione delle tipologie di interazione possibili

Per questo tipo di problematiche, la letteratura scientifica propone l'uso di numerose diverse tecnologie, e anche gli esempi di sistemi già implementati e testati (almeno in ambienti controllati) non mancano. Una fase importante di questi studi di sistemi bigliettazione elettronica è quella di trovare dei metodi per categorizzare le opzioni possibili disponibili allo stato dell'arte.

Attualmente un utente che vuole viaggiare sui mezzi pubblici deve conoscere bene il sistema tariffario delle aziende che utilizza e le regole per usare correttamente il biglietto che ha acquistato, ad esempio deve sapere se è necessario validare tale biglietto all'ingresso del bus o meno. La disinformazione infatti potrebbe indurre in errore e provocare sanzioni per l'utente e perdita di utili informazioni e di ricavi per l'azienda fornitrice del servizio di TP. Un sistema di rilevazione automatica della presenza dell'utente, o meglio di un dispositivo ad esso associato, a bordo di un veicolo di TP, può invece ridurre la possibilità di questi errori e carenze perché l'utente deve svolgere meno operazioni manuali e l'azienda riceve dati aggiornati e in tempo reale.

Una simile considerazione porta a una prima distinzione dei sistemi per monitorare la salita e la discesa di utenti dai mezzi, in due diverse categorie principali:

- **manuali**: sono quelli che necessitano di una **partecipazione attiva** dell'utente. Quando sale a bordo del mezzo, l'utente deve compiere varie azioni per far riconoscere la validità del proprio titolo di viaggio (scelta del biglietto, acquisto e validazione dello stesso). In questa categoria si trovano sistemi che usano biglietti cartacei, smartphone, smartcard. In tal caso deve essere descritto a priori l'uso che l'utente potrà fare del servizio di trasporto pubblico, e tale descrizione dovrà essere nota all'utente, prima del viaggio.
- **automatici**: sono quelli che permettono una **partecipazione passiva** da parte dell'utente, a cui non è richiesta alcuna azione particolare sul mezzo, ma egli deve solamente avere con sé il titolo di viaggio. La misurazione elettronica dell'effettivo uso del mezzo di TP viene fatta automaticamente da un sistema, che può sfruttare una o più tra svariate tecnologie, definendone i parametri durante il viaggio, e quindi non a priori. In questo modo è possibile selezionare automaticamente il titolo di viaggio in base alle esigenze del passeggero, per consentirgli di viaggiare quanto gli serve all'interno di una certa area, in certo periodo di tempo (ad esempio, un mese o un anno).

Le procedure di interazione con il sistema, quindi, possono essere classificate secondo due aspetti:

- il primo considera la **modalità in cui viene determinato e descritto l'uso del veicolo di TP**: descrizione predefinita dell'uso (biglietto cartaceo, smart card) o misura elettronica dell'uso
- il secondo invece considera se sono sistematicamente richieste o meno **azioni da parte dell'utente**.

La misurazione automatica della presenza del passeggero su un mezzo pubblico, viene effettuata attraverso tecnologie di scambio di dati (in termini di prossimità, vicinanza, lungo raggio), e può essere effettuata contestualmente alla salita (**inizio dell'uso**) e discesa (**fine dell'uso**) del passeggero da un mezzo oppure **durante tutto il viaggio** all'interno di uno stesso mezzo. Tale misurazione potrebbe essere effettuata a bordo del veicolo con transazioni in tempo reale oppure in modo incrementale tramite transazioni che avvengono con dispositivi posizionati nelle varie fermate o stazioni.

Si ricorda che, in base al grado di interazione richiesta all'utente, si può distinguere tra utente passivo e utente attivo. In queste due categorie sono compresi diversi schemi di interazione utente con il sistema. Una classificazione degli schemi di interazione utente più frequentemente usati per descrivere le azioni dell'utente alla salita e alla discesa dai veicoli di trasporto pubblico è la seguente:

- con **utente attivo**: tale categoria comprende gli schemi denominati:
 - **Check-In (CI)**, dove l'utente deve validare il titolo di viaggio quando sale sul mezzo,
 - **Check-In Check-Out (CICO)**, dove l'utente deve validare il titolo di viaggio quando sale sul mezzo e nuovamente quando scende,
 - **Check-In Be-Out (CIBO)**, dove l'utente deve validare il titolo quando sale sul mezzo, mentre la discesa viene rilevata in modo automatico da sistemi a bordo.
- con **utente passivo**: tale categoria racchiude gli schemi:
 - **Walk-In Walk-Out (WIWO)**, in cui tramite dei sensori negli ingressi, viene rilevata la direzione dell'utente (salita o discesa) e la validazione avviene con altri sistemi,
 - **Be-In Be-Out (BIBO)**, in cui l'utente deve portare con sé "un oggetto" che viene rilevato automaticamente alla salita, durante la permanenza a bordo, e in discesa [3].

3.2 Stato dell'arte ed esempi di applicazione di schemi di interazione automatica

Lo schema CI è quello più comune, perché può essere facilmente applicato anche con biglietti tradizionali cartacei, mentre gli altri necessitano di sistemi più articolati per essere implementati. Il biglietto (elettronico) acquistato, può risiedere anche in altri tipi di media:

- smart card: dispositivo munito di chip nel quale risiedono le informazioni relative al biglietto/i acquistato/i, con possibilità di comunicazione contactless o meno;
- smartphone: dispositivo che permette di registrare il biglietto in memoria e implementarlo attraverso SMS (Short Message Service) o tramite app, con riconoscimento ottico o Near Field Communication (NFC) [4], [5].

Esempi di sistemi CI basati su smart card sono l'Octopus Card di Hong Kong e l'Oyster Card di Londra. I sistemi CICO sono invece usati nelle metropolitane leggere a Hong Kong e nel "Tube" a Londra [6][7]. Un esempio di sistema CICO esiste anche in Italia, in Piemonte, dove attualmente viene usata la carta BIP, ma solo in alcune province selezionate [8]. Invece gli esempi di mobile ticketing, poiché probabilmente sono strumenti meno noti, non sono molto semplici da trovare e soprattutto non sono facili da trovare quelli che hanno avuto successo. Un esempio classico che può essere fatto, perché è attuale in diverse città europee, è quello dei biglietti basati su SMS, per esempio a Milano, Helsinki e Praga [9 - 11]. Invece il mobile ticketing basato su una app per smartphone è disponibile in alcune città, come ad esempio a Roma, Porto, Stoccolma, Venezia, Cagliari e Sassari [12 - 15].

Esistono pochi esempi di sistema automatico CIBO e BIBO che hanno avuto un certo successo nel mondo reale, dal momento che si tratta di un concetto relativamente nuovo. La possibilità di raccogliere dati di convalida in modo completo (e automatico) permetterebbe di generare un database più affidabile, anche perché nelle infrastrutture di trasporto non-controllate, gli utenti spesso scelgono di non fare il check-in per ciascun viaggio, mentre i tempi medi di viaggio possono essere ottenuti solo quando è in funzione un sistema che registra anche il check-out [2]. Ecco perché uno schema BIBO, che rimuove l'incertezza connessa alle azioni dell'utente mentre contemporaneamente registra il viaggio dall'inizio alla fine (viaggi completati, anche su più mezzi), potrebbe rivelarsi essere uno dei migliori metodi attualmente disponibili per migliorare il trasporto pubblico nel suo complesso.

Negli ultimi decenni ci sono stati numerosi studi sull'approccio BIBO (su sistemi per la bigliettazione e la validazione automatica), che vanno da semplici presentazioni di concept fino a test pubblici sul campo di sistemi di bigliettazione e tariffazione automatica, che utilizzano (che hanno portato allo sviluppo delle prime applicazioni sul campo dei sistemi) la tecnologia BIBO.

3.2.1 WIWO

In realtà, i primi studi sviluppati con lo scopo di rilevare la presenza di un utente all'interno di un mezzo pubblico riguardavano l'approccio WIWO e CIWO. Alcuni esempi di studi di questo tipo sono il *Progetto ICARE/Calipso* e il *Progetto EasyRide*. In entrambi veniva usato lo schema WIWO. Nel primo caso, che riguardava anche uno schema CIWO, si utilizzava come media di supporto per il biglietto una smartcard (ISO/IEC 14443) senza batteria, cercando di estendere il normale range di comunicazione da proximity a vicinity per un uso hands-free, con test effettuati in un ambiente reale operativo che però hanno dato risultati dall'affidabilità troppo bassa (80%), per uscire dall'ambiente di laboratorio. Nel secondo caso (EasyRide-WIWO) invece il media utilizzato era una smartcard attiva (con una piccola batteria), sempre

con lo scopo di realizzare un sistema di bigliettazione senza azioni dell'utente per la validazione (WIWO). In questo caso le salite sul bus e discese dal bus venivano registrate tramite antenne poste nell'area di interesse delle porte, ma nonostante i test sul campo con circa 900 utenti coinvolti, i risultati ottenuti hanno avuto ancora una affidabilità di rilevazione non sufficiente.

3.2.2 BIBO

Dopo un processo di selezione estensiva di provider, sempre all'interno del Progetto EasyRide, sono stati creati due consorzi industriali per lo sviluppo di due approcci hands-free, quello WIWO citato prima e uno sull'approccio BIBO (fine anni '90, primi anni 2000). Lo scopo di questa progetto era sempre quello di realizzare un sistema di bigliettazione/tariffazione senza alcuna azione richiesta all'utente, con un processo di rilevazione a due step: all'ingresso del bus e durante il viaggio (all'interno del bus). Entrambi gli approcci sono stati testati riguardo alla loro fattibilità concettuale a Ginevra e Basilea nel 2001, coinvolgendo 30 mezzi di trasporto pubblico attrezzati, di vari tipi: treni suburbani, bus e cable car con 3 o 4 porte. I dati rilevati dalle antenne del bus (a bassa frequenza - 125kHz - e alta frequenza - 433MHz), che comunicavano con la smartcard attiva per rilevare i movimenti dell'utente in ingresso e uscita dal veicolo, venivano ricostruiti con algoritmi complessi, necessari per risolvere alcune situazioni eccezionali possibili. Il primo tipo di antenna attiva il dispositivo dell'utente dallo sleep mode e gli manda dati specifici. Due diverse zone di campi elettromagnetici alle aree di ingresso permettono al dispositivo utente di riconoscere la direzione di camminata del suo possessore. Essendo stato attivato, il dispositivo utente comunica con l'antenna ad alta frequenza allo scopo di inviare l'informazione se il corrispondente passeggero è salito a bordo oppure è sceso dal veicolo. Tali dati hanno provato la fattibilità concettuale del progetto con una affidabilità di rilevazione del 99.2% circa [3].

Uno dei primi progetti di sistema BIBO è stato presentato da Ericsson nel 2001 alla decima conferenza Kontiki a Duisburg (Germania). Lo scopo del progetto era quello di realizzare un sistema per la bigliettazione automatica utilizzando la tecnologia Bluetooth standard. Dopo tale presentazione del concept, non sono note altre informazioni su ulteriori sviluppi, soprattutto sui test annunciati per il 2001 [3]. Nel 2004 l'azienda ATRON (Svizzera) ha pubblicato in tre mostre un setup di laboratorio che combinava l'attività utente all'entrata del bus (Check-In) con una rilevazione automatica dell'uscita dal bus (Be-Out). Usando dei protocolli standard per realizzare quindi un approccio CIBO, il sistema si basava su un dispositivo utente ISO/IEC 14443 e una interfaccia WLAN (antenna a 2.45GHz) per verificare la presenza dell'utente all'interno del veicolo. Dopo il Check-In il dispositivo utente per rimanere attivo riceve dei pacchetti di dati periodici dall'antenna WLAN, e per rispondere alle richieste di comunicazione dalla antenna WLAN. L'antenna WLAN riceve queste risposte solo se il dispositivo dell'utente è ancora nel campo dell'antenna, cioè assunto essere nel veicolo. I terminali di Check-In devono essere collocati dentro i veicoli per essere sicuri che solo i dispositivi utente siano registrati abbiano fatto check-in sullo stesso veicolo in precedenza. Non sono ancora disponibili dati sulla affidabilità sotto condizioni operative reali. Nello specifico, l'affidabilità dell'antenna WLAN non è stata ancora provata per una funzione Be-Out. Attualmente, lo sviluppo di CIBO da ATRON è fermo [3].

I primi test sul campo delle tecnologie BIBO sono stati effettuati dalle Ferrovie Federali Svizzere, nell'ambito del progetto EasyRide. Gli sviluppi sono stati inizialmente interrotti, ma, sempre in Svizzera, è stato attivato un nuovo progetto "fastTrack", che mirava a un sistema di ticketing completo, basato su BIBO. In tale progetto nel giugno 2007, le FFS hanno rilasciato un "Request for information" all'industria di settore, per identificare una soluzione BIBO per tutti i trasporti pubblici nazionali. Requisito fondamentale

dell'RFI è stato, ad esempio, che l'accesso alla ferrovia e al trasporto pubblico locale dovrebbe essere possibile senza acquistare un biglietto in anticipo. Si doveva ottenere tale risultato acquisendo i dati di viaggio dal rilevamento del telefono o del dispositivo mobile del passeggero. Circa 20 delle aziende invitate, hanno risposto all'RFI, proponendo tra le altre soluzioni, approcci- tecnologie come la localizzazione basata su RFID/NFC, WLAN, GPS, cella radio (GSM). Infine le aziende sono state invitate ad eseguire dei test pratici, nel 2008, ma nessuna delle tecnologie suggerite è ancora disponibile come sistema o prodotto commerciale. Le FFS prevedevano di presentare un sistema fastTrack BIBO nel 2009 [3]. Questo ultimamente ha portato allo sviluppo di due app per smartphone, "FAIRTIQ" e "lezzgo", ma entrambe queste hanno le caratteristiche di una soluzione **CICO**, quindi con azioni dell'utente sia in ingresso che in uscita dai mezzi. [16], [17].

Una prova di concept di App Android è stata sviluppata e testata nel 2014 nella Università Norvegese di Scienze e Tecnologia. Il sistema si proponeva di automatizzare la validazione del ticket per eventi (ingresso in musei, concerti, etc.) installando beacon BLE nei vari varchi. L'app semplificata è stata testata da un piccolo gruppo di individui, e i risultati sono stati promettenti [18]. Questo sistema apparentemente registra solo l'ingresso dell'utente al varco, così esso potrebbe essere classificato come uno schema BI (Be-In solamente), ma aggiungere una funzione BO (Be-Out) potrebbe essere banale.

All'Università di Tecnologia di Graz, nel 2015, è stato proposto un sistema basato su **RFID** per rilevare i passeggeri che salivano a bordo di un bus e successivamente scendevano [19]. Non si trovano ulteriori informazioni su una successiva implementazione pratica.

Alla Johannes Kepler University, nel 2016, hanno condotto alcuni test per provare se il BLE fosse adatto o meno per sistemi BIBO di trasporto pubblico. Sebbene non abbiano testato un'app di mobile ticketing, le loro misure, pur non coprendo ogni possibilità, hanno mostrato risultati molto positivi, per questa tecnologia [20].

Nel 2017, una app concept BIBO, che interagiva con BLE beacon, è stata sviluppata in Olanda. Lo studio preliminare ha riguardato molti aspetti direttamente legati a una app di mobile ticketing, come sicurezza e privacy, consumo della batteria, accuratezza della validazione. Una versione semplificata di questa applicazione è stata testata in un mini-bus da 20 utenti per valutare come l'app è stata percepita dagli utenti [21]. Ancora nel 2017, un'app prototipo di mobile ticketing che ha usato la tecnologia BLE è stata sviluppata per la rete di trasporto pubblico intermodale di Porto. Il sistema presumibilmente ha tracciato i viaggi di ciascun utente dall'inizio alla fine, grazie a beacon BLE installati su specifici bus e stazioni. Il sistema ha incluso acquisto ritardato (billing) e ottimizzazione delle tariffe, ed è stato testato da 83 utenti [22]. Tuttavia, il sistema è stato poi convertito successivamente in un layout CIBO, che mantiene le funzionalità di BLE per le operazioni BO, mentre usa validatori NFC per il check-in [23].

Riguardo a recenti esperimenti BIBO di larga scala, un sistema sviluppato dall'azienda "Turnit" è stato recentemente usato in Estonia nella città di Tartu. Il sistema rileva automaticamente passeggeri che salgono e scendono grazie ai beacon BLE installati sui bus. Nella prima fase di test sono stati coinvolti 73 partecipanti, che hanno completato oltre 2500 viaggi [24]. Subito dopo questa fase, è iniziata la successiva fase di test, che ha coinvolto molti più utenti, ed è quindi finita nel Marzo 2018. Durante questo periodo di tempo, circa 2500 tester hanno completato più di 60000 viaggi usando Turnit BIBO. Tuttavia, il sistema è stato ritenuto *non del tutto riuscito* e la sperimentazione è stata interrotta per il momento. Sono stati incontrati molti problemi, poiché spesso era impossibile garantire che il processo di validazione funzionasse correttamente (o del tutto) sul telefono dei passeggeri. Il sistema hands-free non è attualmente utilizzato, perché è ancora in fase di

sviluppo per renderlo completamente affidabile. Il feedback dai tester ha mostrato che un sistema BIBO è sia ben accettato che comodo [25].

Si descrivono nel seguito i progetti che hanno raggiunto il più alto livello di sviluppo, studi che hanno generato e ben documentato una certa quantità di risultati relativi ai test effettuati.

Progetto ALLFA

Nel 2005 Siemens (e altri partner come Fraunhofer, GWT ecc) è stata la prima a presentare test documentati su larga scala di un sistema BIBO. Infatti il progetto ha coinvolto circa 2000 utenti (tra cui adulti, bambini, anziani, studenti e operatori) e 54 veicoli attrezzati. Si tratta del progetto ALLFA, testato a Dresden (Germania), che sviluppa i concetti, le basi tecnologiche e i test effettuati in Svizzera nel progetto EasyRide. Agli utenti coinvolti nel test veniva fornito un dispositivo elettronico che consisteva in una specifica smart card in formato ISO (ma più spesso) o un cellulare, detti entrambi ALLFA ticket. Entrambi i dispositivi comprendevano una batteria e una interfaccia di comunicazione RF (alle frequenze 6.78MHz e 868MHz) e due bottoni con cui fare delle selezioni ulteriori (bici, cane e altri passeggeri). Il segnale proveniente da tali dispositivi veniva rilevato dai due tipi di antenne sul mezzo pubblico. Il processo di rilevazione è a due step (una antenna di "wake-up" sopra ciascuna porta e una antenna centrale "di accesso" per ciascun veicolo), per ottenere un grado maggiore di affidabilità di rilevazione e prevenire che dispositivi utente siano rilevati erroneamente quando si trovano fuori dal veicolo. La funzione di sleep serve per risparmiare batteria del dispositivo utente quando non viene utilizzato. Esso viene svegliato dalla chiamata "wake-up". L'utente non viene ancora registrato come un passeggero di quel bus, cosa che avviene solo quando il bus inizia a muoversi, nella cosiddetta "fase di accesso". In caso di accesso corretto, i ticket ricevono un ID e allora possono comunicare con le antenne di accesso, sempre per prevenire la rilevazione di ALLFA ticket fuori dai veicoli. Il secondo step dura quanto l'intero viaggio all'interno del veicolo. Il sistema è progettato per processare fino a 200 ticket per veicolo mentre il veicolo è in movimento da una fermata ad un'altra. Siccome questo processo viene ripetuto tra ciascuna coppia di fermate successive, il viaggio completo di tutti i passeggeri a bordo viene registrato. Quando un passeggero lascia il veicolo, la comunicazione con questo specifico ticket viene interrotta, che indica la fine del viaggio. La posizione attuale del veicolo è rilevata da un sistema di posizionamento GPS. Attraverso il sistema di gestione, i dati di registrazione sono ciclicamente trasmessi al sistema di back-end attraverso GSM/GPRS. Tutti i dati trasmessi tra ticket e veicolo come tra veicolo e sistema di back-end, sono resi sicuri contro la manipolazione attraverso firma elettronica in accordo con l'architettura di sicurezza definita dal "VDV Core Application" standard per la gestione elettronica delle tariffe, che è fornito dalla Association of German Transport Operators. La strumentazione completa di bordo per un bus standard a due porte è comprensiva di: 2 antenne di wake-up, 1 antenna di accesso, 1 BIBO reader/controller delle antenne, un modem GSM/GPRS, un computer di bordo standard con funzionalità di localizzazione GPS.

Tutti i componenti tecnici relativi a BIBO che sono stati testati nel pilot pubblico ALLFA (ad esempio computer di bordo, modem GSM/GPRS, lettori e antenne BIBO), sono state ottenute le certificazioni CE norm / E1 / Railways standard EN 50155. Il computer di bordo è stato provato essere in accordo al ENV 50121 rispetto alla sua compatibilità elettromagnetica. L'approvazione a una tale installazione BIBO è stata ottenuta dai produttori di tutti i veicoli influenzati, poiché alcuni di loro erano ancora in possesso di una valida garanzia del produttore. Tale tecnologia BIBO è compatibile anche con gli standard: CENELEC ENV

50166-2 1995 Human exposure to electromagnetic fields. High frequency (10 kHz to 300 GHz), Germany: Norm VDE 0848 Teil 392 / DIN EN 50392 (0 Hz to 300 GHz). Inoltre, le apparecchiature BIBO utilizzate sono compatibili con i seguenti standard riguardo agli effetti sui pacemaker: EN 50061:1988, regolamento svizzero riguardo la protezione contro le radiazioni ionizzanti (NISV). Tutte le norme sulla privacy dei dati sono state rispettate. In particolare, i dati personali dell'utente e i dati relativi all'uso del TP sono stati elaborati e archiviati separatamente. Inoltre i dati di viaggio registrati hanno reso possibile il calcolo automatico della tariffa. Per diversi motivi, come aspetti tecnici, economici e psicologici, il calcolo delle tariffe non è stato effettuato in tempo reale sui veicoli. Oltre ciò, l'approccio centralizzato fornisce la flessibilità necessaria per adeguare le tariffe in modo piuttosto flessibile, ad esempio per sconti a breve termine.

La rete pilota comprendeva 11 linee interne alla città di Dresden, linee di trasporto pubblico suburbano e un parcheggio. Infatti uno degli oggetti testati con una installazione di un sistema BIBO è stato anche un parcheggio multipiano, in cui gli automobilisti potevano operare alle porte di ingresso e uscita con le mani libere con i loro ALLFA ticket e lasciare che il loro parcheggio fosse registrato dal sistema. Come ulteriore risultato è stato dimostrato che questa tecnologia non è limitata alla modalità BIBO integrata come descritto sopra, ma che è adatta anche per applicazioni di prossimità nelle entrate chiuse (controllate) come spesso incontrate nelle stazioni della metropolitana, cioè si potrebbe utilizzare la stessa tecnologia BIBO (senza le azioni richieste dall'utente) anche in schemi CICO o CIBO, provando a soddisfare i requisiti degli ambienti di trasporto pubblico con controllo e senza controllo con una singola tecnologia (diversamente dai sistemi di check-in check-out, basati sulla proximity, citati) [3].

Tale architettura ha permesso la registrazione di viaggi complessi, offrendo così la possibilità di investigare la tecnologia BIBO in situazioni specifiche, come il trasferimento da una linea all'altra, con molti passeggeri, e in condizioni complesse. Più di 120.000 viaggi singoli sono stati registrati con successo dal sistema. I sondaggi proposti ai clienti prima e dopo i test hanno indicato che il 68% dei partecipanti al progetto pilota gradirebbe l'introduzione di un sistema BIBO di questo tipo sull'intera rete, col 42% che ha cambiato le proprie abitudini di viaggio usando più frequentemente il trasporto pubblico grazie alla facilità d'uso del sistema ALLFA [3].

Progetto ESPRIT

Sviluppato dalla Scheidt & Bachmann che ha una lunga tradizione nel campo dei sistemi di raccolta delle tariffe, dei sistemi di parcheggi e centri di svago (come ad esempio controllo degli accessi), sistemi per le stazioni di rifornimento e dei sistemi di segnalazione. Oltre ad una vasta gamma di componenti, sistemi e servizi in questo ambito, l'azienda ha anche sviluppato e promosso un concetto di sistema di tipo BIBO chiamato **Esprit**, che è l'acronimo di *Encoding Scheme for Programmable Intelligent Tickets* (schema di codifica per i biglietti intelligenti programmabili).

Si tratta di un dispositivo utente elettronico in forma di chiavetta. Come molte smart card, il dispositivo contiene un'interfaccia di prossimità ISO / IEC 14443-A contactless, un microprocessore e un chip di memoria che può essere utilizzato per memorizzare credito o biglietti a tempo, nonché per i dati delle transazioni. Il dispositivo è dotato di una batteria a bottone (con una durata media di

circa tre anni con un utilizzo di 400 ore di viaggio all'anno), un display per controllare lo stato della batteria (e altri parametri), un interruttore di accensione/spegnimento e un'interfaccia di comunicazione radio a larga banda nella banda 2.4 GHz (ISM) aperta per la sua funzionalità BIBO. Il dispositivo è protetto dalla polvere e dagli spruzzi d'acqua fino al grado di protezione IP 54 (DIN IEC 60529).

Nello schema prepagato, l'idea alla base di "Esprit" è quella di fornire il dispositivo all'utente che deve caricare un certo credito (o biglietti a tempo) prima di usare il dispositivo per la prima volta, oppure l'operatore di trasporto potrebbe distribuire dispositivi con credito/biglietti già caricati, nei punti vendita autorizzati, dato che il sistema supporta entrambi i metodi. Quando un passeggero utilizza un veicolo di trasporto pubblico, ci sarà una trasmissione di dati broadcast da un'antenna sul mezzo a tutti i dispositivi utente all'interno del veicolo. I dispositivi utente continuano ad essere attivi in una cosiddetta "modalità di riattivazione" (wake-up) fintantoché si trovano entro il raggio del segnale del veicolo e fino a 15 minuti dopo. Se il segnale non è presente per 15 minuti, il dispositivo passa in modalità sospensione (sleep-mode) per risparmiare la capacità della batteria. Tutti i dispositivi utente nel veicolo ricevono il segnale con informazioni sufficienti per consentire loro di calcolare automaticamente la tariffa corretta in modo incrementale, da una fermata/stazione alla successiva durante l'intero viaggio (solo fino a un massimo consentito dalle norme). Il dispositivo dell'utente dovrebbe interpretare anche le regole di trasferimento durante un viaggio su rotte diverse e calcola la tariffa applicabile. La quantità del credito memorizzato sul dispositivo utente viene dedotta quindi passo dopo passo. La quantità rimanente viene visualizzata sul display. Anche i dati riguardanti la transazione sono salvati sul dispositivo. Durante l'intero processo **non sono richieste azioni da parte dell'utente** (schema BIBO).

Tale tecnologia usa una banda ISM aperta quindi esiste la possibilità di interferenze radio esterne dovute a trasmissioni di altri dispositivi fuori dal mezzo e dentro il mezzo di trasporto stesso. Al fine di minimizzare tali interferenze, l'antenna di bordo opera in parallelo sempre su 2 dei 32 canali radio disponibili, e utilizza il cambio di frequenza in caso di bassa qualità di trasmissione. Sedici canali sono dedicati al broadcasting di dati, gli altri 16 canali sono disponibili per ricevere dati, compreso il monitoraggio di una possibile collisione di canale con un altro veicolo nelle vicinanze. Il raggio di trasmissione dell'antenna copre un intero bus articolato. Nei veicoli molto lunghi o treni, vengono installate più antenne che lavorano in parallelo. Tuttavia poiché il campo elettromagnetico non è limitato alla estensione del veicolo, sono necessarie misure aggiuntive per impedire che dispositivi di utenti all'esterno del veicolo che stanno fuori dal veicolo o alle fermate, vengano attivati e inizino a conteggiare una qualsiasi tariffa. Oltre al rilevamento e alla gestione delle collisioni, i dispositivi utente considerano le intensità di campo ricevute dalle antenne, ad esempio alle fermate degli autobus con corsie parallele. Un dispositivo utente alla fermata può ricevere un segnale wake-up dal bus A, ma il passeggero è a bordo del bus B. Allora viene selezionato il bus B e il dispositivo utente si sincronizza con il canale dati del bus B, e memorizza il numero del bus, la data, l'orario e la posizione. Al momento dell'imbarco non viene addebitata alcuna tariffa, cosa possibile solo quando il veicolo inizia il percorso nella giusta direzione, i dati

del segnale tariffario per la successiva fermata dell'autobus sono stati ricevuti e le intensità del segnale rimangono all'interno delle impostazioni predefinite. Al momento, sono stati eseguiti dei test all'interno di autobus, in aree chiuse (con un autobus dell'azienda stessa e di alcuni autobus presi in prestito da un operatore di trasporto, su alcune linee selezionate con addetti che fungevano da passeggeri), ma non ancora in un ambiente di trasporto pubblico. L'approccio di invio di tutte le informazioni tariffarie rilevanti come segnale di broadcast a tutti i dispositivi utente ha il vantaggio di una maggiore robustezza rispetto a una comunicazione bidirezionale tra dispositivo utente e componente di bordo, che avrebbe bisogno di sofisticati meccanismi anti-collisione. Indipendentemente dal fatto se si utilizzi o meno uno schema post-pagato, un trasferimento di dati dal dispositivo dell'utente ai componenti di bordo è sempre possibile tra una coppia di fermate (o stazioni) successive per ottenere dati statistici; incluse informazioni sulla posizione, tariffa dedotta, tipo di biglietto, ecc. Questi dati possono quindi essere trasferiti dal veicolo al sistema in backend in vari (GSM/GPRS o WLAN).

Durante il normale funzionamento, l'utente può vedere il messaggio "Ticket OK" sul display del suo dispositivo utente. Per l'ispezione dei biglietti, cioè quando un ispettore di biglietti entra in un veicolo, il suo autista attiva la cosiddetta **modalità di ispezione**. In questa modalità un segnale dedicato viene inviato dall'antenna di bordo e tutti i dispositivi utente attivi visualizzano un determinato numero di controllo, che consente all'ispettore di decidere se il dispositivo viene utilizzato correttamente. "Correttamente" significa che un biglietto valido è stato memorizzato sul dispositivo, o che il dispositivo è stato attivato in tempo e funziona per il calcolo della tariffa automatica. C'è anche la possibilità futura di inviare liste nere al componente di bordo, che a sua volta include informazioni su tutti i dispositivi utente presenti nella lista nera nel segnale del veicolo. I dispositivi utente interessati confermano la ricezione di queste informazioni.

Il concetto Esprit completo si basa su un'infrastruttura a chiave pubblica (PKI) con crittografia asimmetrica RSA ed ECC. Anche se non tutte le parti di comunicazione del sistema sono conformi allo standard VDV (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen) come ad esempio la trasmissione unidirezionale di dati tariffari e la gestione delle liste nere.

	Accuratezza di Rilevazione	Complessità di Realizzazione	Hardware Esterno	Stato di Sviluppo	Tipo di Accesso	Numero di utenti coinvolti
ALLFA	nd	alta	smartcard attiva o cellulare, due antenne sui bus, modem GPRS, computer di bordo	120000 viaggi registrati, provato su larga scala; componenti a bordo certificati	A due fasi: fase wake-up, fase di accesso	2000
Esprit	Non chiaro dalla documentazione	alta	antenne sui bus, dispositivo utente,	livello di test interni; non ancora provato nell'ambiente	A due fasi: wake-up e accesso	nd

			comunica con backend con GPRS	dei trasporti pubblici		
ICARE/Calipso	80% (bassa)	alta	smartcard ISO/IEC 14443 passiva	nd	nd	nd
EasyRide	inizialmente non sufficiente, 99.2%	alta	smartcard attiva, antenne vicino alle porte	nd	due step	900
Ericsson BIBO	non documentata	non documentata	bluetooth standard	concept, senza ulteriori sviluppi documentati	nd	nd
ATRON (CIBO)	non documentata in situazioni reali	alta	ISO/IEC 14443, antenne WLAN	setup di laboratorio, sviluppo fermo	check-in manuale, permanenza misurata da WLAN	nd
fastTrack	non documentata	non documentata	RFID, WLAN, GPS GSM	concept, convogliati poi verso sistemi CICO	nd	nd
progetto Università Norvegese di Scienze e Tecnologia (BI)	rileva solo accesso ad ambienti	bassa	BLE, beacon ai varchi	test su pochi individui, con risultati promettenti	non documentato	numero ridotto
progetto Università di Tecnologia di Graz (BIBO)	nd	nd	RFID	concept, non documentata una implementazione e pratica	nd	nd
progetto Università Joannes Kepler (BIBO)	nd	nd	BLE	test con risultati positivi per tale tecnologia	nd	nd
progetto SEAT (BIBO)	nd	bassa	BLE, beacon	nd	nd	20
Anda Porto (BIBO)	nd	bassa	BLE, beacon ai bus e stazioni. Check-in NFC (CIBO)	test su BIBO, convertito poi in CIBO	nd	83
Turnit	affidabilità bassa	bassa	BLE, beacon sui bus	60000 viaggi registrati, sistema non del tutto riuscito	nd	prima fase: 73, seconda fase: 2500

3.3 Tecnologie utilizzate nei progetti citati

3.3.1 ISO/IEC 14443 (Contactless)

Descrizione

ISO 14443 definisce lo standard di una contactless smartcard usata nei sistemi di bigliettazione elettronica, identificazione di persone e oggetti, sistemi di pagamento, controllo di accessi, carta d'identità elettronica italiana.

Recentemente gli standard ICAO per i documenti di viaggio leggibili automaticamente (tramite macchine) specificano la formattazione dei file per la firma crittografica e i protocolli di autenticazione per memorizzare elementi biometrici (fotografia del viso, impronte digitali, o dell'iride).

Lo standard è stato sviluppato dal comitato tecnico congiunto ISO e IEC e viene quindi indicato anche come ISO/IEC 14443.

I lettori a Radio Frequency Identification (sostanzialmente si tratta di un sistema RFID) usano un microcontrollore interno (inclusivo del proprio microprocessore e diversi tipi di memoria) e un'antenna a loop magnetico che funziona a 13,56 MHz (RFID frequency), frequenza appartenente alla banda HF. I dispositivi sono solo **passivi** (non hanno un sistema di alimentazione autonoma e quindi non hanno una batteria, ma al momento della operazione di lettura o scrittura si alimentano mediante il campo elettromagnetico emesso dal dispositivo che li interroga) [26] [27].

Vantaggi-Svantaggi

Si tratta di uno **standard** ben noto. Tutti i dispositivi che rispettano lo standard ISO 14443 possono comunicare tra di loro senza problemi (concetto riassunto nel termine *interoperabilità*). Il fatto di non avere a disposizione una batteria è sia un vantaggio che uno svantaggio, in quanto il funzionamento passivo ne limita la portata di ricezione, ma allo stesso tempo non vi è la necessità di cambiare la batteria dopo un certo periodo.

3.3.2 NFC

Descrizione

La comunicazione in prossimità, anche chiamata **Near-Field Communication** (NFC), è una tecnologia di ricetrasmisione molto utilizzata nei sistemi di pagamento. L'NFC affonda le sue radici in *Radio Frequency Identification* o RFID. Un lettore RFID permette di inviare onde radio a un tag elettronico passivo per l'identificazione e il tracciamento.

Standard relativi: Le specifiche tecniche della tecnologia NFC si basano sugli standard ISO 15693, 18092 e 21481, ECMA 340, 352 e 356 ed ETSI TS 102 190. NFC è inoltre compatibile con la diffusa architettura delle smart card *contactless*, basate su ISO 14443 A/B, NXP (ex Philips Semiconductors) MIFARE e Sony FeliCa. Esempi d'uso della tecnologia NFC sono quelli dei sistemi di bigliettazione elettronica (nel 2011 a [Milano](#) è partita una sperimentazione che consente di utilizzare lo smartphone per acquistare e validare i biglietti dell'autobus o della metropolitana), dei sistemi di pagamenti mobili tra i quali Apple Pay, Samsung Pay, Google Pay e Vodafone Pay e le carte di pagamento "contactless" via comunicazione NFC/RFID dove è richiesto solo avvicinare la carta al POS (Point of sale).

Vantaggi

Consente la trasmissione di dati su una distanza di pochi centimetri, e quindi consente trasferimenti dati più sicuri rispetto ad altre tecnologie con range di trasmissione più ampio. La transazione è più veloce di quella di una tecnologia a contatto. La carta NFC può essere abbinata a un'app per smartphone (abilitato NFC) e quindi non serve più portare la carta con sé.

In ambito mobile ticketing: i biglietti sono più durevoli (non si possono danneggiare o sporcare come i biglietti cartacei), c'è meno probabilità di perdere i biglietti e l'intero sistema risulta più ecologico ed economico di un sistema con classici biglietti cartacei [31].

Svantaggi

Il range ridotto limita il numero di applicazioni per cui se ne può fare uso. Come prima citato, la tecnologia NFC può essere utilizzata anche tramite gli smartphone – dispositivi che spesso sono vulnerabili ai virus e ad altri malware capaci di carpire informazioni sull'utente e addebitare denaro. Non è da escludere un problema di protezione dei dati, poiché i chip NFC possono essere letti (se si riesce ad avvicinarli abbastanza), con relativa facilità, con successiva trasmissione a terzi di dati sensibili. La lettura è già possibile da una distanza di dieci centimetri dalla carta/chip NFC. Potrebbero esistere effetti nocivi delle radiazioni NFC dai terminali per la lettura delle carte, ma non esistono ancora studi in tal senso [28 - 30].

Il supporto di Android per NFC è il migliore sul mercato, ma è incompleto e vengono riportati diversi problemi relativi al ticketing mobile e NFC [31]. Altri problemi sono: l'Android Beam / Peer-to-Peer non può essere utilizzato per stabilire una vera comunicazione a due vie, la clonazione dei ticket, sia pre-validazione che post-convalida, in cui due utenti condividono lo stesso ticket e la possibilità di attacco man-in-the-middle, in cui una terza entità dirotta la comunicazione tra due dispositivi, in questo contesto il proprietario del biglietto e il validatore. Gli attacchi man-in-the-middle possono essere evitati crittografando i dati scambiati, così come l'autenticazione reciproca tra i dispositivi di comunicazione. I problemi di clonazione dei biglietti sono più difficili da risolvere in modo efficiente. Una soluzione è di avere il controllo del validatore in tempo reale, ad es. un database centrale, indipendentemente dal fatto che il ticket sia stato convalidato o meno prima [31].

3.3.3 ISO 15693 (RFID)

Descrizione

ISO 15693 è uno standard internazionale della International Organization for Standardization per le *carte di vicinanza*, ovvero le smart card che possono essere lette e scritte a distanza maggiore rispetto alle contactless smartcard (regolate invece dallo standard ISO 14443). Le carte di vicinanza e le contactless smartcard appartengono alla famiglia delle "carte di prossimità". Il sistema ISO 15693 opera sulla frequenza 13.56 MHz, e offre una distanza di lettura di 1–1,5 metri. Poiché le *vicinity card* devono operare a distanza, sono necessari campi magnetici inferiori (da 0,15 a 5 A/m) rispetto a quelli impiegati nelle carte di prossimità (da 1,5 a 7,5 A/m). Esempi di utilizzo delle soluzioni a radiofrequenza (RFID) sono le etichette di tracciabilità dei prodotti nelle mense, le carte di ingresso alle camere degli alberghi, i borsellini elettronici in villaggi turistici, gli skipass, i titoli di viaggio elettronici in uso nei **sistemi di bigliettazione elettronica** [31].

Vantaggi

Si tratta di uno standard, che garantisce quindi ampia interoperabilità tra dispositivi. Il sistema ISO 15693 implementa, a differenza di altri standard, la funzionalità anticollisione che consente una lettura simultanea di più card.

Svantaggi

Si basa su una infrastruttura abbastanza complessa da implementare, e con un costo di gran lunga superiore a quello relativo ad altre tecnologie. Per esempio i “varchi”, come vengono comunemente chiamati i punti di accesso al sistema controllato da RFID, devono essere attrezzati con antenne molto costose e potenti.

3.3.4 WiFi

Descrizione

Wi-Fi o **WiFi** (acronimo di Wireless Fidelity) è una tecnologia per reti locali senza fili (WLAN) che utilizza dispositivi basati sugli standard IEEE 802.11. Wi-Fi è anche un marchio di Wi-Fi Alliance, la quale consente l'uso del termine *Wi-Fi Certified* ai soli prodotti che completano con successo i test di certificazione di interoperabilità. I dispositivi che possono utilizzare la tecnologia Wi-Fi includono personal computer, console per videogiochi, smartphone e tablet, fotocamere digitali, smart TV, lettori audio digitali e stampanti moderne. I dispositivi compatibili Wi-Fi possono connettersi a Internet tramite una WLAN e un punto di accesso wireless (access point). Con la tecnologia disponibile al 2017, un access point (o un hotspot) all'interno di un edificio può avere una portata di circa 20 metri perché il segnale ad onde radio è attenuato dai muri, mentre all'esterno può coprire un raggio di circa 100 metri e, usando più punti di accesso sovrapposti, anche di diversi chilometri quadrati. [32]

Vantaggi

- Molte reti riescono a fornire la cifratura dei dati e il roaming potendosi spostare dalla copertura di un access point a un altro senza una caduta della connessione internet, al di fuori del raggio di azione di ogni singolo hot-spot.
- Diversamente dalla rete cellulare, l'esistenza di uno standard certificato garantisce l'interoperabilità fra apparecchio e rete anche all'estero, senza i costi della cablatura (essendo tecnologia wireless) per una più rapida e facile installazione ed espansione successiva della rete.
- La presenza di parecchi produttori ha creato una notevole concorrenza abbassando di molto i prezzi iniziali di questa tecnologia.

Svantaggi

- Il tempo di latenza delle schede Wi-Fi è leggermente superiore a quelle basate su cavo con una latenza massima nell'ordine di 1-3 ms (per cui questo particolare è trascurabile, a differenza delle connessioni GPRS/UMTS che hanno latenze nell'ordine di 200-400 ms).
- Uno svantaggio delle connessioni Wi-Fi 802.11b/g può essere la stabilità del servizio ovvero dunque la qualità di servizio (QoS) offerta all'utente, che per via di disturbi sul segnale talvolta può essere discontinua (il segnale può ad esempio essere disturbato da forni a microonde nelle vicinanze che quando sono in funzione disturbano la frequenza operativa di 2,4 GHz, problema risolto con l'utilizzo della frequenza operativa a 5 GHz).

- Secondo alcuni recenti studi, è possibile riscontrare rischi per la salute dell'organismo nell'utilizzo della rete Wi-Fi [33]
- La maggior parte delle reti Wi-Fi non prevede alcuna forma di protezione da un uso non autorizzato (autenticazione), da sniffing dei dati della comunicazione (confidenzialità) e sul fronte integrità dei dati. Questo è dovuto al fatto che all'atto dell'acquisto le impostazioni predefinite non impongono all'utente l'utilizzo di nessun metodo di protezione, di conseguenza l'utente medio non le modifica o per ignoranza o per comodità. Questo ha portato al proliferare in zone urbane di un numero considerevole di reti private liberamente accessibili.
- A volte accade di utilizzare reti altrui senza autorizzazione, se esse hanno un livello di segnale più forte della propria. Questo comporta problemi di sicurezza nel caso vengano trasmessi dati personali come numeri di carte di credito, numeri telefonici o coordinate bancarie.

I metodi per evitare utilizzi non autorizzati sono nati di pari passo con lo sviluppo di nuove tecnologie e la "rottura" di algoritmi di protezione precedenti. Il primo sistema sviluppato è stato il WEP, *Wired Equivalent Protocol*, che però soffre di problemi intrinseci di sicurezza che lo rendono, di fatto, inutile. È possibile sopprimere la trasmissione dell'SSID (Service Set Identifier) di identificazione oppure limitare l'accesso a indirizzi MAC ben definiti, ma si tratta di metodi facilmente aggirabili. Per sopperire ai problemi del WEP sono stati sviluppati i protocolli WPA (Wi-Fi Protected Access) e WPA2 che offrono livelli di sicurezza maggiori.

Per avere una sicurezza maggiore è però necessario implementare altri sistemi di autenticazione (livello superiore della pila ISO/OSI) come ad esempio un'autenticazione basata su radius server, la creazione di tunnel PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet) o di VPN (Virtual Private Network) crittografate. Un importante metodo di protezione è quello di cercare di contenere la propagazione delle onde radio solo dove è necessaria. Ciò si può attuare limitando (via software) la potenza di trasmissione oppure utilizzando antenne con un diagramma di radiazione indirizzato esclusivamente alle zone in cui si richieda la connettività. Esistono in commercio adattatori che permettono di portare la connessione dal cavo Ethernet del modem-router (rj45) alla porta USB (microusb) del notepad (tablet, smartphone), senza perdere velocità o stabilità di segnale [34].

3.3.5 Bluetooth Low Energy

Descrizione

Bluetooth Low Energy (BLE, registrato come Bluetooth Smart) è una tecnologia wireless personal area network progettata e registrata dal Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) orientato verso nuove applicazioni nell'industria della cura della salute, fitness, beacon, sicurezza e home entertainment. Confrontato con il Bluetooth Classico, il Bluetooth Low Energy è inteso per fornire una considerevole riduzione del consumo di potenza e di costi mantenendo un range di comunicazione simile. I sistemi operativi mobili, tra cui iOS, Android, Windows Phone e BlackBerry, ma anche macOS, Linux, Windows 8 e Windows 10 supportano nativamente il Bluetooth Low Energy [35 - 37].

- Advertising e Discovery

I dispositivi BLE sono rilevati attraverso una procedura basata su pacchetti di advertising ("pubblicizzazione") trasmessi in broadcasting. Questo viene realizzato usando tre canali (frequenze), con lo

scopo di ridurre le interferenze. Il dispositivo di advertising invia un pacchetto su almeno uno dei tre canali, con un periodo di ripetizione chiamato **intervallo di advertising**. Per ridurre la possibilità di collisioni multiple consecutive, viene aggiunto un ritardo casuale fino a 10 millisecondi a ciascun intervallo di advertising. Lo scanner ascolta il canale per una durata chiamata “finestra di scansione”, che è periodicamente ripetuta ogni “intervallo di scansione”.

La latenza di discovery è pertanto determinata attraverso un processo probabilistico e dipende dai tre parametri: l'intervallo di advertising, l'intervallo di scansione e la finestra di scansione). Lo schema di discovery di BLE adotta una tecnica basata su un intervallo periodico, per il quale i limiti superiori nella latenza di discovery possono essere ricavati per una maggiore parametrizzazione. Mentre le latenze di discovery di BLE possono essere approssimate attraverso modelli per protocolli basati puramente su intervalli periodici, il ritardo casuale aggiunto a ciascun intervallo di advertising e i tre canali di discovery possono causare deviazioni da queste previsioni, o potenzialmente portare a latenze senza limiti per certe parametrizzazioni [38] [39].

- Compatibilità

Il Bluetooth Low Energy (BLE o LE) non è retro-compatibile con i precedenti protocolli (spesso chiamati "classici") Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR). La specifica Bluetooth 4.0 permette ai dispositivi di implementare uno o entrambi i sistemi LE e BR/EDR.

Il Bluetooth Low Energy usa le stesse frequenze radio 2.4 GHz del Bluetooth classico, che permette ai dispositivi dual-mode di condividere una singola antenna radio. BLE usa tuttavia un sistema di modulazione più semplice.

- Applicazioni

Il Bluetooth SIG identifica un certo numero di tipologie di applicazioni per tecnologia low energy, in particolare per i settori delle smart home, della salute, dello sport e del fitness.

Il BLE prende in prestito le specifiche Bluetooth originali e il Bluetooth SIG ha definito diversi profili, con specifiche che dipendono dal modo in cui un dispositivo funziona in una particolare applicazione, per dispositivi a bassa energia. Ogni produttore implementa le specifiche appropriate per il loro dispositivo al fine di garantire la compatibilità. Un dispositivo può contenere implementazioni di più profili.

La maggior parte degli attuali profili applicazione a bassa energia si basa sul profilo di attributo generico (GATT), una specifica generale per l'invio e la ricezione di brevi pezzi di dati noti come attributi su un collegamento a bassa energia. Il profilo mesh Bluetooth è l'eccezione a questa regola poiché è basato su Profilo di accesso generale (GAP) [40] [41].

- Sensing della Proximity

I dispositivi always-on con una durata ampia della batteria si adattano bene alle applicazioni “anti-smarrimento”. I produttori di dispositivi iBeacon (e BLE beacon in generale) implementano le appropriate specifiche per i loro dispositivi per far uso delle capacità di proximity sensing supportate dai dispositivi iOS (e Android).

Profili applicativi rilevanti includono:

- FMP - il profilo "find me" (trovami) - permette a un dispositivo di inviare una notifica su un altro dispositivo fuori posto.
- PXP - il profilo di proximity - permette a un proximity monitor di rilevare se un proximity reporter è all'interno di un range piccolo. La prossimità fisica può essere stimata usando il valore di RSSI (Received Signal Strength Indicator), anche se questo non ha una calibrazione assoluta delle distanze. Tipicamente, un allarme potrebbe suonare quando la distanza tra i dispositivi eccede un set di soglie [42 - 44].

Vantaggi-Svantaggi

Bluetooth Low Energy è progettato per abilitare i dispositivi a utilizzare la comunicazione Bluetooth con consumo ridotto della batteria. Molti produttori di chip, tra cui Cambridge Silicon Radio, Dialog Semiconductor, Nordic Semiconductor, STMicroelectronics, Cypress Semiconductor, Silicon Labs and Texas Instruments hanno introdotto i loro chipset ottimizzati Bluetooth Low Energy negli ultimi anni. I dispositivi con ruolo periferico e centrale hanno diversi requisiti di consumo di potenza. Uno studio fatto dalla azienda di software per beacon Aislelabs, ha riportato che i dispositivi periferici, come i proximity beacon, funzionano di solito per 1 - 2 anni con una batteria a moneta da 1,000mAh. Questo è possibile grazie alla efficienza energetica del protocollo Bluetooth Low Energy che trasmette solo piccoli pacchetti confrontato con il Bluetooth Classic che è anche adatto per audio e dati a larga banda.

In contrasto, una scansione continua per gli stessi in un ruolo centrale può consumare 1,000 mAh in poche ore. Dispositivi Android e iOS hanno anche un impatto sulla batteria molto diverso dipendente dal tipo di scansioni e dal numero di dispositivi Bluetooth Low Energy nelle vicinanze. Con i chipset più moderni e i progressi nel software, i telefoni sia Android che iOS oggi hanno un consumo di energia trascurabile negli scenari d'uso di Bluetooth Low Energy della vita reale.

Quindi i vantaggi includono:

- requisiti di bassa potenza (corrente di picco massima bassa di 12-15 mA), con operatività di mesi o anni su una batteria a bottone (CR2302).
- piccole dimensioni e bassi costi.
- una migliore coesistenza con altre tecnologie wireless, come ad esempio Wi-Fi.
- non richiede la linea di vista tra i dispositivi collegati, come ad esempio IR.
- compatibilità con un'ampia base di installazioni in in telefoni, smartphone, tablet e computer (supporta più di 2 miliardi di connessioni) [45 - 47].

3.3.6 GPS

Descrizione

Il **sistema GPS** è un sistema di posizionamento e navigazione satellitare militare che, attraverso una rete dedicata di satelliti artificiali in orbita, fornisce a un dispositivo mobile o ricevitore GPS informazioni sulle sue coordinate geografiche, ovunque sulla Terra o nelle sue immediate vicinanze dove vi sia un contatto privo di ostacoli con quattro o più satelliti del sistema. Ciascuno di essi trasmette un segnale radio. Questi segnali ricevuti da parte del ricevitore, vengono elaborati, permettendo la localizzazione.

Il sistema GPS è gestito dal governo degli Stati Uniti d'America ed è liberamente accessibile da chiunque sia dotato di un ricevitore GPS. Il suo grado attuale di accuratezza è dell'ordine dei centimetri, in dipendenza dalle condizioni meteorologiche, dalla disponibilità e dalla posizione dei satelliti rispetto al ricevitore, dalla qualità e dal tipo di ricevitore, dagli effetti di radio-propagazione del segnale radio in ionosfera e troposfera (es. rifrazione) e dagli effetti della relatività.

Il sistema di posizionamento si compone di tre segmenti: il segmento spaziale, il segmento di controllo e il segmento utente. L'Aeronautica militare degli Stati Uniti sviluppa, gestisce e opera sui segmenti spaziale e di controllo. Il segmento spaziale comprende da 24 a 32 satelliti. Il segmento di controllo si compone di una stazione di controllo principale, una stazione di controllo alternativa, varie antenne dedicate e condivise e stazioni di monitoraggio. Il segmento utente infine è composto dai ricevitori GPS, in possesso degli utenti distribuiti sulla Terra. Attualmente sono in orbita 31 satelliti attivi nella costellazione GPS più alcuni satelliti dismessi alcuni dei quali riattivabili in caso di necessità. I satelliti supplementari migliorano la precisione del sistema permettendo misurazioni ridondanti. Al crescere del numero di satelliti, la costellazione è stata modificata secondo uno schema non uniforme che si è dimostrato maggiormente affidabile in caso di guasti contemporanei di più satelliti [48].

Vantaggi-Svantaggi

Il principio di funzionamento si basa su un metodo di posizionamento sferico (trilaterazione), che parte dalla misura del tempo impiegato da un segnale radio a percorrere la distanza satellite-ricevitore.

Le caratteristiche chiave del sistema GPS (accuratezza, integrità, disponibilità) possono essere incrementate grazie all'uso di sistemi di GNSS Augmentation. Tali sistemi possono basarsi su satelliti geostazionari (WAAS, EGNOS), oppure su collegamenti radio terrestri per distribuire agli utenti le informazioni correttive da applicare durante il calcolo della posizione (A-GPS). Nel caso di collegamenti radio terrestri ci si riferisce a sistemi Ground-based augmentation system (GBAS). La modalità DGPS-IP sfrutta invece la rete Internet per l'invio di informazioni di correzione.

Il sistema è soggetto a errori di varia natura, e precisione variabile, in base a diversi parametri (timing, propagazione), e abbastanza dipendente dalla qualità del ricevitore. Con la diffusione dei sistemi GPS, molti produttori di telefoni cellulari/smartphone hanno inserito un modulo GPS all'interno dei loro prodotti, permettendo servizi basati sul posizionamento. Ma la relativa lentezza con cui un terminale GPS acquisisce la propria posizione al momento dell'accensione (in media, tra i 45 e i 90 secondi), dovuta alla necessità di ricercare i satelliti in vista, ed il conseguente **notevole impegno di risorse hardware ed energetiche**, ha frenato in un primo momento questo tipo di abbinamento. Negli ultimi anni, però, è stato introdotto in questo tipo di telefoni il sistema GPS assistito, detto anche A-GPS dall'inglese Assisted GPS, con cui è possibile ovviare a tali problemi: si fanno pervenire al terminale GPS, attraverso la rete di telefonia mobile, le informazioni sui satelliti visibili dalla cella radio a cui l'utente è agganciato. In questo modo un telefono A-GPS può in pochi secondi ricavare la propria posizione iniziale, in quanto si assume che i satelliti in vista dalla cella siano gli stessi visibili dai terminali sotto la sua copertura radio. Inoltre molto recentemente i

nuovi sistemi operativi gestiscono i servizi relativi al posizionamento GPS in modo molto efficiente, riducendo il tempo in cui il ricevitore GPS (molto pesante in termini di potenza richiesta alla batteria) rimane attivo, al minimo indispensabile [48].

3.4 Beacon BLE Smart Ticketing System per il Clearing in Sardegna

Molti degli studi precedentemente descritti avevano come core l'implementazione di un sistema per il pagamento automatico dei biglietti, a volte improntato sul modello di pagamento a consumo.

La soluzione proposta durante i meeting con le aziende del cluster si inquadra bene in uno schema BIBO, e si focalizza sulla validazione automatica dei biglietti e sulla semplificazione delle operazioni che deve eseguire l'utente per viaggiare sui mezzi di trasporto pubblico, per incentivare anche un utilizzo più frequente di tali servizi.

3.5 Tecnologie selezionate per il Beacon BLE Ticketing System

Le tecnologie scelte per la soluzione proposta alle aziende del cluster SIMPLE comprendono:

- BLE
- Accelerometro
- GPS localization

La scelta è ricaduta su queste tecnologie principalmente proprio per la straordinaria diffusione di questi dispositivi utente già in possesso ai clienti del servizio di trasporto pubblico.

L'idea di fondo è quella di utilizzare le potenzialità in termini di context awareness dei moderni smartphone (e, in particolare, di questi sensori), in uso a un numero sempre crescente di persone nella vita di tutti i giorni, e quindi anche agli utenti del trasporto pubblico di tutte le età, per semplificare il modo di viaggiare degli utenti e raccogliere importanti dati di viaggio di questi ultimi (utili per i diversi scopi, di cui si è già parlato in questo e nei precedenti deliverable). Queste tre tecnologie permetteranno agli utenti che vogliono usare il servizio di trasporto pubblico, attivati i permessi per l'uso di questi sensori, di validare il loro biglietto (o preferibilmente un abbonamento) completamente automaticamente, in ingresso e in uscita, ricevendo solamente una notifica sul proprio smartphone delle avvenute validazioni. Queste funzionalità espanderanno inizialmente due sistemi già esistenti e funzionanti (cioè BusFinder e ATP Sassari), permettendo di validare i biglietti con più di una tecnologia presente nei moderni smartphone, aggiungendo l'opzione di usare un sistema BIBO, quindi completamente hands-free.

Tali risultati verranno raggiunti usando contemporaneamente (e, quando possibile, in modo congiunto, in base anche alla configurazione utente e del bus) le informazioni derivanti dai sensori bluetooth, accelerometro e dal servizio di localizzazione, mantenendo attivo il sistema attuale di validazione QR-code.

Molte di queste tecnologie sono ben note:

- i QR-code sono codici a barre a due dimensioni che normalmente contengono informazioni legate all'oggetto sul quale vengono applicati. Consistono di quadrati neri disposti in una griglia quadrata

con sfondo bianco, che possono essere letti da una fotocamera, ed elaborati per estrarre i dati che contengono [49].

- i servizi di localizzazione degli smartphone permettono alle app di accedere ai dati raccolti da antenne dedicate dal sistema satellitare GPS, già citato in precedenza [50] [51]. Il sistema GPS, soprattutto negli smartphone prodotti recentemente, può essere “attivato” con la cadenza desiderata e utilizzato in modo veramente ottimale da parte dei nuovi sistemi operativi mobili. Questo “sensore” fornisce dati molto precisi sulla posizione dell’utente, permettendo anche un “confronto” in tempo reale tra la posizione dell’utente e la posizione del bus, sulla quale si presume l’utente sia salito.
- l’accelerometro installato nella maggior parte degli smartphone, che registra le accelerazioni relative (vibrazioni) su tre assi. Questi dati vengono elaborati da servizi dedicati a livello di sistema operativo, che, attraverso un certo algoritmo, riescono a distinguere in tempo reale e in modo abbastanza affidabile, tra (pochi), il tipo di attività che l’utente sta svolgendo in quel momento [52] [53].
- il Bluetooth (di cui è stata data una descrizione più dettagliata in precedenza) è uno dei core del progetto . Il Bluetooth è una tecnologia wireless standard per scambio di dati su breve distanza usando onde radio nella banda 2.4 GHz tra dispositivi mobili e/o fissi [54]. In particolare la tecnologia BLE, che ne è la naturale evoluzione, permette applicazioni di “microlocalizzazione” molto accurate e già utilizzate per altri scopi come il marketing e la presentazione di contenuti nei musei, con un uso della batteria considerevolmente inferiore (di tutti i dispositivi che ne fanno uso). Un beacon BLE è un dispositivo che invia in broadcast una serie di identificatori, abilitando i dispositivi riceventi a eseguire una o più azioni. I beacon possono operare usando diversi protocolli, come iBeacon, AltBeacon o Eddystone [55]. Tra questi, iBeacon, sviluppato da Apple Inc., è il più di successo.

Un pacchetto di advertising iBeacon fornisce le seguenti informazioni:

- un numero UUID(16 bytes), che identifica la app o il deployment case;
- un numero Major (2 bytes), che può specificare il caso d’uso;
- un numero Minor (2 bytes), che può specificare la sotto-regione.

Tali valori possono essere completamente impostati per poter ricoprire tutte le possibili applicazioni nel mondo reale [56] e vengono rilevati dallo smartphone attraverso i due meccanismi di Monitoring e Ranging [56]. In aggiunta possono essere misurati anche i valori di “accuracy” (una sorta di distanza dal beacon) e una RSSI (che consiste nella potenza ricevuta mediata su pochi secondi in quell’istante) [57].

I tre controlli che verranno eseguiti dal sistema (controllo di salita a bordo, controllo di permanenza sul mezzo e controllo di discesa dal mezzo) utilizzeranno tutte e tre le tecnologie sopra citate. In particolare, ogni T secondi:

- Il modulo “bluetooth” controllerà se, basandosi sui valori di UUID e major, il valore della potenza ricevuta supera una certa soglia di potenza P dBm (salita a bordo, o *boarding*), rimane al di sopra di questo valore (permanenza, o *permanence*) o scende sotto di esso (discesa, o *alighting*);

- Il modulo “posizione” controllerà, considerando un margine di $\pm N$ metri, se il percorso seguito dall’utente inizia a seguire quello di un bus (*boarding*), se esso rimane sullo stesso percorso (*permanence*) o se l’utente inizia a seguire un percorso non compatibile con nessun bus (*alighting*).
- il modulo “accelerometro” controllerà se i dati indicano che l’utente ha iniziato a viaggiare su un veicolo (*boarding*), continua a muoversi mentre si trova su un veicolo (*permanence*) o smette di viaggiare su un mezzo a motore e inizia a camminare o rimane fermo (*alighting*).

Mentre le funzionalità di posizione e accelerometro non richiedono alcun componente addizionale, la funzionalità BLE richiede l’installazione di **beacon** hardware all’interno dei bus. La scelta, per la fase di test del sistema, è ricaduta su un tipo di beacon che permette varie opzioni (diversi protocolli in particolare), che permettono un buon livello di customizzazione. Si tratta dei beacon prodotti da BlueUp, che forniscono 4 diversi slot con protocollo iBeacon (e altri 4 Eddystone), con codici identificativi completamente configurabili. Questi beacon possiedono una batteria CR2477 che ha una autonomia dichiarata di diversi anni e un modulo BLE Nordic Semiconductor nRF51822 [58]. Il costo di tali dispositivi è relativamente basso, se confrontato con le altre tecnologie con cui è possibile realizzare lo stesso tipo di applicazione (validazione automatica) come ad esempio i sistemi RFID .

Le nuove caratteristiche software, necessarie per la misura della permanenza a bordo dell’utente, saranno aggiunte ad app già esistenti e funzionanti, come già citato in precedenza, o verrà sviluppata interamente una nuova app nel caso in cui l’azienda non ne sia già in possesso. Le nuove caratteristiche saranno presentate principalmente per mezzo di pop-up e notifiche. Inoltre saranno utilizzate delle tecniche di gamification all’interno dell’app con lo scopo di migliorare l’esperienza d’uso dell’utente incoraggiandolo all’uso delle nuove funzioni e anche ad usare il trasporto pubblico; una sezione dedicata del menu della app sarà presentato per questo nuovo aspetto. Notifiche push e finestre pop-up saranno usate come strumenti per far conoscere alcune informazioni all’utente, riguardo i viaggi, le validazioni e le dinamiche della gamification. Le funzionalità di gamification permetteranno di creare e personalizzare un avatar personale. Un sistema a punti, da guadagnare per ogni ciclo di check-in check-out completato, permetterà di modificare il proprio avatar incentivando l’uso delle nuove funzioni. Saranno anche possibili competizioni lanciando sfide ad altri utenti. Una dashboard permetterà di tenere sotto controllo il proprio punteggio e quello degli altri utenti, stimolando lo spirito di competizione.

4. Sistema DRT per aree a domanda debole

4.1 Definizione: zone a Domanda Debole in Sardegna

Il territorio della Sardegna è caratterizzato da poche zone con alta concentrazione di abitanti e numerose zone con bassissima densità abitativa. Tali zone rientrano nella categoria delle aree a domanda debole e sono spesso caratterizzate da un servizio di linea poco frequente o assente.

I criteri di identificazione e valutazione delle aree a domanda debole sono descritti nella misura 2 della Delibera n.48 [59]. L’individuazione di queste aree dipende dalle specificità dei territori e del tessuto socio-economico. In generale le caratteristiche di un’utenza debole si riscontrano in presenza di alcune caratteristiche come la conformazione fisica del territorio, la struttura sociale e demografica della popolazione e le loro condizioni economiche.

Le caratteristiche della domanda debole possono essere di tipo territoriale, temporale o socio-economico. Le caratteristiche di tipo territoriale sono valutabili sulla base di criteri oggettivi e misurabili, quali:

- la popolazione residente;
- la densità abitativa;
- il grado di urbanizzazione,
- la domanda di mobilità generata;
- l'indice di dispersione della popolazione;
- la popolazione residente con età superiore ai 65 anni;
- il saldo della popolazione;
- la quota altimetrica del territorio analizzato.

Le caratteristiche territoriali di tipo temporale invece sono relative in generale alla fluttuazione dell'offerta nel tempo, ad esempio nell'arco di una giornata (ore di punta e ore di morbida) o nei vari periodi dell'anno (stagione estiva e stagione scolastica). Infine le caratteristiche di tipo socio-economico sono legate a condizioni di disagio sociale, ridotta mobilità e condizione lavorativa di chi usa il trasporto pubblico.

Le aree individuate per effettuare le sperimentazioni sono state scelte in base a due criteri principali: i) un'area con **caratteristiche territoriali** della domanda debole e ii) un'area con **caratteristiche temporali** della domanda debole. Il primo aspetto in particolare comprende i parametri relativi a dati demografici, domanda di trasporto e territorio; il secondo aspetto comprende invece parametri tecnici e finanziari, in quanto ha come obiettivo sostituire dei percorsi di linea poco usati (e quindi non convenienti per le aziende) con dei servizi più flessibili.

La prima area identificata è Alta Marmilla (AM), mentre l'altra, caratterizzata da servizi di trasporto pubblico non convenienti è il Comune di Nuoro. Oltre al suo patrimonio territoriale, l'alta Marmilla è stata scelta per il test in quanto la realizzazione di un sistema di servizi su richiesta è supportata dal Fondo Europeo di sviluppo regionale (FESR) 2014-2020 [60], attraverso la Strategia nazionale per le aree interne. A Nuoro, il test sarà supportato dall'azienda di trasporto locale ATP Nuoro [61] che ha accettato di testare i servizi su richiesta. La dimensione ridotta del comune consentirà una facile introduzione del sistema.

4.2 Stato dell'arte ed esempi di applicazione di tecnologie per i servizi on demand

Lavori precedenti avevano già studiato la relazione tra pianificazione dei trasporti e marginalizzazione sociale, affermando che esiste una connessione tra mobilità ed esclusione sociale, e suggerendo una forte correlazione tra la mancanza di accesso a una mobilità adeguata e la mancanza di accesso a opportunità, reti sociali, beni e servizi [62]. Questa correlazione esiste sia come causa sia come conseguenza dell'esclusione sociale. Le aree escluse sono spesso caratterizzate da una bassa domanda di trasporto. Per spezzare questo ciclo è necessario trovare soluzioni innovative e flessibili che migliorino l'accessibilità territoriale.

I servizi a chiamata, detti anche **Demand Responsive Transport (DRT)**, sono una forma avanzata di trasporto pubblico orientata all'utente, caratterizzata da routing flessibile e uso di piccoli veicoli che operano in modalità condivisa, con percorsi stabiliti in base alle esigenze dei passeggeri [64]. I servizi a richiesta sono già stati utilizzati per sopperire alla carenza dei trasporti e all'esclusione sociale in diversi paesi e potrebbero essere una valida soluzione anche per la realtà regionale della Sardegna. Nei primi anni 2000, in Europa, i servizi DRT sono stati ampiamente studiati nei progetti SAMPO e SAMPLUS [65]; sono stati coinvolti diversi siti in Belgio, Finlandia, Irlanda, Italia, Germania, Svezia e Regno Unito, inclusi ambienti

urbani, periurbani e rurali. Ovviamente il successo di un sistema DRT dipende dalla partecipazione degli utenti e dalla gestione degli operatori. Un buon sistema di trasporto deve considerare l'integrazione di luoghi, orari e informazioni [66] [67]. In particolare la carenza di informazione può diventare una barriera non solo per i passeggeri, ma anche per gli operatori dei trasporti, perché potrebbe impedirgli di avere piena consapevolezza nella gestione del sistema [69].

Ultimamente le Tecnologie dell'Informazione e delle Comunicazioni, anche dette oggi **Internet Communication Technology (ICT)** sempre più usate per supportare l'uso e l'organizzazione del trasporto pubblico. Dal punto di vista economico promettono vantaggi attraverso l'ottimizzazione delle risorse, infatti possono aiutare nella scelta delle connessioni più appropriate aumentando l'intermodalità nei servizi di trasporto passeggeri e minimizzando i tempi di attesa. In questo modo le persone sono incoraggiate a spostarsi usando mezzi di trasporto differenti perché hanno a disposizione informazioni di viaggio personalizzate e possono prenotare in anticipo dei servizi [70]. I vantaggi dell'uso delle ICT in un sistema DRT da un punto di vista operativo sono ugualmente notevoli, soprattutto per quanto riguarda il monitoraggio e l'ottimizzazione dell'uso della flotta [71]. Inoltre, le tecnologie ICT possono coordinare tutti gli attori coinvolti nella progettazione, gestione e fornitura del servizio. I servizi su richiesta possono ottenere ulteriori benefici dalle community virtuali, che consentono di migliorare la comunicazione, l'integrazione e la cooperazione tra tutti gli attori coinvolti [72].

Attualmente in tutto il mondo esistono innumerevoli servizi che consentono di prenotare un servizio di trasporto su richiesta, tuttavia l'offerta è quasi sempre limitata ad un'unica tipologia di servizio. Nel 2004 SAMPLUS propose la piattaforma FAMS (Flexible Mobility Agency Service), strutturata in modo da crescere incrementalmente coinvolgendo sempre più aziende. La piattaforma prevedeva la realizzazione di un centro servizi che si occupava di mostrare l'offerta di trasporto pubblico e di inoltrare le richieste alle aziende. Tuttavia, data la tecnologia dell'epoca, le prenotazioni potevano avvenire solo tramite chiamata telefonica o il sito internet.

L'idea di far comunicare e interagire le aziende tra loro è stata in seguito ripresa anche da altri progetti europei come ad esempio il progetto ECCENTRIC di Civitas 2020, un progetto ancora in fase sperimentale, che si focalizza sulla mobilità sostenibile e sulla mobilità come servizio (MaaS) [73]. In particolare nella città di Stoccolma, il partner del progetto UbiGo, sta sviluppando un servizio che consentirà agli utenti abbonati di utilizzare un unico account per poter utilizzare tutti i servizi di trasporto pubblico della regione, car sharing, noleggio di vetture, taxi e bikesharing. In futuro potranno essere aggiunti ulteriori servizi. Tutto sarà reso disponibile tramite l'app UbiGo, che integrerà un travel planner che suggerisce varie opzioni per il viaggio e combina varie modalità per garantire tempi di viaggio ottimali.

4.3 Sistema DRT

Il prototipo che il team SIMPLE sta sviluppando sarà una piattaforma che potrà raccogliere tutta l'offerta di trasporto pubblico disponibile e renderla facilmente utilizzabile dagli utenti tramite un unico account.

Il sistema suddivide il territorio in aree DRT, che possono essere aggiunte gradualmente come moduli separati. Per ogni area, un'autorità di aggregazione ha accordi con le agenzie di trasporto locali e i conducenti di carpooling. L'aggregatore può essere un'agenzia di trasporto pubblico o un altro ente pubblico. Questa autorità dovrebbe essere interessata a pubblicare alternative di viaggio DRT per aree a domanda debole

perché la mancanza di passeggeri rende i trasporti di linea tradizionali non convenienti. I servizi on demand potrebbero essere una buona soluzione per supportare il trasporto pubblico e per avvicinare gli utenti alle principali stazioni e fermate. D'altra parte, tutte le agenzie di trasporto locali possono essere avvantaggiate da una piattaforma che sponsorizza la loro offerta e supporta gli utenti per le prenotazioni di viaggi.

I servizi sono classificati come:

1. **servizi di corridoio** - sono servizi che operano su percorsi prestabiliti, che vengono attivati solo quando un utente invia una richiesta (es. navetta)
2. **servizi di pooling** - sono servizi in cui un utente-autista mette a disposizione i posti disponibili nel proprio veicolo per dividerlo con altre persone che devono fare percorsi simili
3. **servizi di sharing** - sono servizi che, a seguito della sottoscrizione dell'utente ad un abbonamento, gli permettono di utilizzare i veicoli condivisi (solitamente auto o biciclette)
4. **servizi esterni** - sono tutti quei servizi che non rientrano nelle altre categorie e che sono prenotabili esternamente al sistema, ad esempio chiamando un numero di telefono o inviando un'email

Ogni categoria ha i suoi pro e contro, e l'utente può selezionare quello che meglio si adatta alle sue esigenze. Se l'utente desidera una maggiore flessibilità, probabilmente preferirà un taxi (servizio esterno) o un servizio di pooling, ma se preferisce risparmiare, probabilmente opterà per un servizio di corridoio come una navetta.

Quando un utente richiede un servizio in un'area coperta dal sistema, le opzioni vengono visualizzate in ordine gerarchico: nella parte superiore dell'elenco vengono visualizzati i servizi di corridoio già pianificati a cui l'utente può partecipare, quindi i servizi di corridoio che possono essere attivati, poi i servizi di pooling, dopo i servizi di sharing e infine i servizi esterni. La gerarchizzazione proposta ha lo scopo di incoraggiare la scelta più eco-sostenibile e la massima condivisione di veicoli.

La piattaforma semplifica le comunicazioni e automatizza molti passaggi della prenotazione dei servizi, consentendo di dare agli utenti una risposta quasi immediata. Il processo di prenotazione è composto da diverse fasi, che possono essere raggruppate in base alle loro funzioni:

1. **Fase di richiesta:** inizia quando un utente ha bisogno di un servizio di trasporto e invia una richiesta con l'app mobile; il sistema riceve la richiesta e controlla se l'origine e la destinazione si trovano nelle aree DRT;
2. **Identificazione delle aree DRT:** se è coinvolta almeno un'area che offre servizi on demand, il sistema inoltra ogni richiesta all'aggregatore che la gestisce; per ogni area, vengono identificati i punti di accesso/uscita (stazioni e fermate principali) e i collegamenti con il trasporto pubblico, per stabilire i limiti temporali di arrivo o partenza del servizio su richiesta;
3. **Pianificazione del viaggio:** il sistema mostra all'utente i servizi già pianificati compatibili con il suo itinerario e l'utente può selezionarne uno (condividendo il veicolo) o pianificare un nuovo servizio; se l'utente sceglie di iniziare un nuovo servizio le alternative di viaggio disponibili sono mostrate gerarchicamente (servizi di corridoio, servizi di pooling, servizi di condivisione e servizi esterni);
4. **Finalizzazione della prenotazione:** se l'utente seleziona una delle proposte di viaggio, gli viene chiesto di dare il consenso per una tariffa massima per il biglietto; se la prenotazione ha esito positivo, essa viene memorizzata nel database.

Le procedure più critiche di questo processo sono la ricerca dei servizi e la procedura di pagamento. Ogni itinerario può essere composto da parti (leg) servite dal trasporto pubblico e parti prenotate con servizi a richiesta. A seconda dell'origine e della destinazione ci possono essere diversi casi, che possono essere classificati nelle seguenti situazioni: 1) né Origine né Destinazione sono nelle aree DRT, 2) Origine e Destinazione si trovano nella stessa area DRT, 3) L'origine o la destinazione si trovano in un'area DRT, 4) L'origine e la destinazione si trovano in aree DRT diverse.

1. Nel primo caso il sistema cerca tutti i trasporti pubblici tradizionali disponibili.
2. Nel secondo caso sono elencati in aggiunta tutti i servizi disponibili e compatibili on demand in ordine gerarchico di eco-sostenibilità.
3. Nel terzo caso, se l'origine è in un'area DRT e la destinazione non lo è (o viceversa), il problema può essere diviso in due parti corrispondenti ai primi due casi già descritti: un percorso PT al di fuori delle aree DRT e un percorso on demand all'interno. In base alla richiesta dell'utente, l'algoritmo seleziona il trasporto pubblico appropriato, quindi identifica il punto di ingresso dell'area DRT e cerca un servizio su richiesta che colleghi l'utente al punto di ingresso.
4. Il quarto caso, quando origine e destinazione si trovano in aree DRT diverse, è il più complicato ed è costituito da una combinazione degli altri. Nel modello proposto, tutte le situazioni che possono verificarsi nel quarto caso non sono state studiate perché sono coinvolte nella sperimentazione solo due aree DRT. Ulteriori sviluppi sono possibili e sono lasciati a lavori futuri.

Una volta definiti gli itinerari su richiesta, l'algoritmo calcola le posizioni di ritiro e rilascio e, se necessario le fermate di scambio. Una delle principali differenze tra i servizi è il tempo di anticipo della prenotazione rispetto alla partenza. L'attivazione di un nuovo servizio di corridoio o la modifica di uno programmato deve avvenire almeno 24 ore prima della partenza, in modo che l'agenzia possa organizzare il servizio al meglio. Invece, per i servizi di pooling, l'avviso minimo è stabilito dal conducente. I servizi di pooling e l'aggiunta a un percorso già pianificato possono essere effettuate in tempo reale. La prenotazione dei servizi di esterni è esterna al sistema, quindi il cliente può utilizzare la piattaforma per contattare ad esempio le agenzie di taxi che operano nell'area (via telefono ed e-mail). Tutti gli altri servizi sono gestiti internamente dalla piattaforma. Il pooling è un servizio porta a porta che opera solo all'interno di un'area specifica. I servizi di corridoio funzionano invece in corridoi definiti dagli aggregatori, ovvero i percorsi che i veicoli eseguiranno. Infine, se ci sono servizi di condivisione, possono essere integrati nel sistema tramite Application Program Interfaces (API), che consente agli utenti di pianificare parte del loro itinerario utilizzando questo tipo di servizi.

Un approfondimento speciale è stato dato ai servizi di corridoio, perché sono quelli che consentono di massimizzare la condivisione e che, per questo motivo, sono mostrati prima agli utenti. L'approccio del modello presentato ha l'obiettivo di rendere semplice l'associazione delle richieste degli utenti in un modo che sia incoraggiato l'utilizzo di questo servizio.

In particolare i servizi a corridoio sono suddivisi in:

- servizi disponibili, che operano in un'area definita e funzionano quando l'utente ne ha bisogno
- servizi compatibili, che sono servizi pianificati che possono prelevare / abbandonare l'utente con deviazioni minime o nulle del corridoio programmato (**compatibilità spaziale**) e / o piccole deviazioni del programma temporale (**compatibilità temporale**).

Le modifiche del percorso del corridoio e del programma sono semplificate raggruppando corridoi simili. Ogni corridoio è una lista di fermate che il veicolo deve raggiungere. Ogni gruppo di corridoi ha un corridoio principale che include tutte le fermate del percorso e alcuni corridoi normali che includono un sottoinsieme di fermate. Quindi la prima prenotazione che attiva un servizio di corridoio sarà probabilmente un corridoio normale, quindi un altro utente potrà partecipare al viaggio se c'è compatibilità spaziale e temporale. Se un'altra richiesta può essere soddisfatta sostituendo il corridoio della prima prenotazione con un'altra dello stesso gruppo che include quella precedente, allora c'è la compatibilità spaziale.

Dopo aver verificato la compatibilità spaziale è necessario verificare se dopo le modifiche sono rispettati tutti i limiti di tempo degli utenti, quindi se esiste anche la compatibilità temporale. Successivamente il sistema controlla se ci sono posti disponibili nel veicolo, e se non ce ne sono verifica se la selezione di un veicolo più grande potrebbe essere economicamente conveniente. Infine, se ci sono modifiche ai corridoi, il sistema verifica il limite del costo della tariffa dell'utente. Se tutte queste condizioni sono confermate, questa soluzione viene mostrata all'utente.

4.4 Tecnologie selezionate per il sistema DRT

Il sistema ICT consente di raccogliere e trasmettere informazioni in tempo reale sia per le agenzie sia per gli utenti. Le agenzie mettono a disposizione un servizio definendo l'orario di lavoro e l'area, e sono interessati a conoscere le esigenze degli utenti, in modo tale da modificare i propri orari in modo vantaggioso. Invece, gli utenti vogliono avere informazioni aggiornate e un servizio affidabile e semplice da usare. Per soddisfare le esigenze di tutti, il sistema raccoglie tutte le informazioni e le rende accessibili a tutti. Tutti i dati sensibili sono resi anonimi.

Per raggiungere questo obiettivo, è quindi necessario creare un **database** e **interfacce** per interagire con esso. Le interfacce proposte sono applicazioni specifiche per ogni tipo di utente: un'applicazione mobile (Android, iOS) per utenti clienti, un'applicazione mobile (Android e/o iOS) per autisti professionisti e un'applicazione web Django per operatori di agenzie.

L'applicazione mobile per gli utenti clienti consente di pianificare viaggi, effettuare prenotazioni e utilizzare la modalità autista per i servizi di pooling. L'applicazione mobile per utenti professionisti è in grado di geo-localizzare veicoli e mostrare il percorso pianificato per i conducenti. L'applicazione web per le agenzie, d'altra parte, consente di inserire nel database e pubblicare informazioni su percorsi, orari di attività, veicoli e altri dettagli sull'agenzia. Per accedere alle applicazioni, è necessario disporre di un account e accedere. L'unica eccezione è l'applicazione utente, che può essere utilizzata senza un account solo per pianificare i percorsi, ma non per effettuare prenotazioni. Il match tra ogni richiesta è automatico, quindi se un'agenzia indica la sua disponibilità nel database per un percorso in un'ora specifica del giorno, deve garantire il servizio. Naturalmente, ogni volta che viene effettuata una prenotazione, viene inviata una notifica all'utente che ha prenotato il servizio e al fornitore.

Il sistema è composto da componenti distinti per assegnare a ciascuno di essi un'unica funzione. Mantenendo questa separazione è possibile apportare eventuali miglioramenti e correzioni in modo più semplice, ma bisogna realizzare bene le interfacce tra i componenti per far funzionare il sistema.

4.4.3. Django

Descrizione

Il sistema proposto necessita di un server che intercetti le comunicazioni da parte di tutti gli altri componenti e che inserisca/prelevi i dati del database. Per sviluppare questa parte del sistema è stato selezionato il framework Django [74], basato sul linguaggio Python sia per il back-end, sia per le interfacce web di front-end. In particolare verrà sfruttato il sistema di autenticazione di Django, che utilizza i gruppi per assegnare i permessi ai diversi utenti.

Il componente Django si interfacerà con diverse entità:

- gli utenti delle applicazioni mobile (clienti e autisti professionisti)
- gli utenti delle applicazioni web (operatori delle aziende)
- l'istanza di Open Trip Planner (OTP) che calcola i percorsi del TP
- database
- API dei servizi di sharing

Per ciascuna diversa interazione sarà sviluppato un modulo apposito, in modo da rendere il sistema in grado di intercettare le richieste, elaborarle e restituire la risposta.

Vantaggi

Il framework Django è stato selezionato perché, oltre ad essere uno strumento molto popolare, è ben documentato, open source e disponibile gratuitamente. Altri vantaggi di Django sono la sua velocità di sviluppo del codice, la sua modularità e la sua conseguente scalabilità. La modularità è un concetto importante, che grazie alla filosofia DRY (Don't Repeat Yourself), consente di creare funzioni e pacchetti generici che possono essere riutilizzati, riducendo l'accoppiamento tra i vari elementi e la quantità di codice. Inoltre il framework Django evita diversi errori legati alla sicurezza, in quanto il suo sviluppo è stato orientato su questo aspetto.

Django adatta un linguaggio general purpose e full-stack come Python allo sviluppo di applicazioni web, consentendo di realizzare logiche anche molto complesse all'interno dei server. La popolarità di questo strumento ha dato vita a numerose community, che hanno contribuito allo sviluppo di tool per supportare lo sviluppo, il debug e la manutenzione del codice.

Svantaggi

A discapito della sua leggibilità, in questo linguaggio non è ottimizzata la velocità di elaborazione. Inoltre, non esistono standard di sviluppo, per cui si sono diffuse diverse convenzioni per l'organizzazione dei progetti. Per questo motivo, nel caso di piccoli siti web con poche funzionalità, solitamente si preferiscono altri strumenti come ad esempio Flask.

4.4.4. Database PostgreSQL

Descrizione

Per memorizzare i dati è necessario connettere Django con un database, e in particolare si è scelto un database relazionale perché tutti gli elementi di uno stesso tipo avranno la stessa struttura. I corridoi sono un'eccezione perché presentano un numero di fermate, e di conseguenza di campi, variabile; per i corridoi potrebbe essere utilizzato un altro metodo di memorizzazione.

Tra i vari tipi di database relazionali si è scelto proprio PostgreSQL perché è ben integrato nel framework Django, e perché, a differenza di altri strumenti come SQLite, supporta l'accesso da parte di più utenti, requisito fondamentale per una piattaforma che è destinata al pubblico.

Vantaggi

Questo database gratuito consente l'accesso multiutente e possiede molti strumenti utili per il backup e il trasferimento dei dati del database. Inoltre supporta diversi set di tipi di dati, tra cui le estensioni GIS per i dati spaziali, e può scalare facilmente. Infine è un ottimo strumento per prodotti a lunga durata, in quanto implementa la filosofia ACID [75]:

- **Atomicità** - L'atomicità del database si riferisce all'integrità dell'intera transazione del database, non solo a un suo componente. In altre parole, se una parte di una transazione non funziona come dovrebbe, l'intera transazione fallirà e verrà ripristinata una condizione del database precedente ad essa (rollback).
- **Consistenza** - Affinché un database funzioni come previsto, deve seguire le appropriate regole di convalida dei dati. Pertanto, consistenza significa che solo i dati che seguono tali regole possono essere scritti nel database. Se si verifica una transazione in cui i dati che non seguono le regole del database, verrà ripristinato a un precedente stato conforme alle regole. D'altra parte, a seguito di una transazione riuscita, i nuovi dati verranno aggiunti al database e lo stato risultante sarà coerente con le regole esistenti.
- **Isolamento** - Per un database, l'isolamento si riferisce alla capacità di elaborare contemporaneamente più transazioni in modo che non interferiscano tra loro.
- **Durabilità** - Nei database che hanno questa proprietà, i dati vengono salvati una volta completata la transazione, anche in caso di interruzione dell'alimentazione o di errore del sistema.

Svantaggi

PostgreSQL è uno strumento complesso per chi non ha esperienza con altri database SQL (Structured Query Language) e, sfortunatamente, non ha una documentazione completa e sono disponibili pochi ambienti di sviluppo e debug.

4.4.5. Open Trip Planner

Descrizione

Open Trip Planner (OTP) [76] è un software gratuito ed open source scritto in java, che consente di realizzare una piattaforma che fornisce informazioni ai passeggeri e servizi di analisi della rete di trasporto. Questo strumento lato server trova gli itinerari che combinano i segmenti di transito (leg), pedonali, ciclabili e auto attraverso reti integrate disponibili. I dati da collegare alla piattaforma seguono lo standard delle mappe OpenStreetMap e quello GTFS per i percorsi e gli orari di passaggio dei mezzi pubblici. È possibile accedere a questo servizio direttamente tramite la sua API Web o utilizzando una gamma di librerie client Javascript, compresi dei componenti modulari destinati alle piattaforme mobili.

Il progetto Open Trip Planner è nato nel 2009 e ha attratto una fiorente comunità di utenti e sviluppatori, ricevendo il supporto di agenzie pubbliche, startup e consulenti di trasporti. OTP promuove servizi di pianificazione regionale e nazionale in tutto il mondo, oltre a diverse applicazioni mobili multi-città popolari.

Il prototipo SIMPLE riguardo le aree a domanda debole utilizza un'istanza di OTP per calcolare i percorsi del trasporto pubblico e trovare le fermate/stazioni di scambio e i rispettivi vincoli temporali per la pianificazione di viaggi multimodali. OTP è stato scelto proprio per la sua flessibilità e la possibilità di inserire facilmente dati riguardo il trasporto pubblico. Inoltre questo software sta introducendo la gestione delle API per i servizi di sharing (biciclette e auto).

Vantaggi

I principali vantaggi sono dovuti al fatto che si tratta di un progetto free e open source, per cui esso può essere liberamente modificato e adattato alle proprie esigenze. Inoltre la community di riferimento è molto attiva e rilascia frequentemente nuove release, che includono nuove funzionalità.

OTP è il più popolare software della sua categoria, in quanto rispetto ad altri travel planner gratuiti può gestire la ricerca di più itinerari per una stessa combinazione di origine e destinazione e può gestire aggiornamenti in tempo reale.

Svantaggi

Per far funzionare OTP è necessario inserire almeno una mappa e dei GTFS, dopodiché il software può creare l'istanza e iniziare a ricevere richieste da parte degli utenti. In caso di aggiornamento di questi dati, tuttavia è necessario in seguito bloccare l'istanza e riavviarla. Per ovviare questo problema tuttavia si possono impostare degli update automatici dei dati tramite URL: in questo caso è sufficiente avere cura di controllare che i dati di quella source siano sempre aggiornati, perché OTP verificherà regolarmente se sono state apportate modifiche ed eventualmente scaricherà le nuove versioni dei dati.

Un altro svantaggio di OTP è la sua incompatibilità con gran parte delle versioni di Java, per cui in determinati casi è necessario usare macchine virtuali o container.

4.4.6. API dei servizi di sharing

Descrizione

Nella programmazione per computer, un'interfaccia di programmazione dell'applicazione (API) è un insieme di protocolli e di metodi di comunicazione chiaramente definiti tra i vari componenti. Una buona API

semplifica lo sviluppo di un progetto di programmazione, suddividendolo in blocchi costitutivi che vengono quindi assemblati dal programmatore.

Le API sono uno strumento fondamentale per far comunicare sistemi differenti come ad esempio il prototipo SIMPLE per le aree a domanda debole e i sistemi delle aziende che offrono servizi di sharing: avendo una convenzione sulla struttura dei dati e sulle modalità di interrogazione del database, è possibile automatizzare le richieste. Un semplice esempio può essere dato da un utente che vuole muoversi in un'area a domanda debole e che vuole sapere se ci sono stazioni di bikesharing vicino a casa sua e vicino alla sua destinazione: l'utente userà l'applicazione SIMPLE per contattare il server SIMPLE, che comunicherà con i sistemi esterni di bikesharing tramite le API.

In Italia attualmente sono diffuse le API di citybike (bicincittà) [77], che hanno formati differenti a seconda che il circuito sia free-floating oppure station-based. Da notare che queste API seguono convenzioni internazionali documentate, ma esistono altre API "interne" al sistema SIMPLE anche per far comunicare il server Django con le applicazioni mobile e gli altri componenti.

Vantaggi

Proprio come un'interfaccia utente grafica (GUI) facilita l'utilizzo dei programmi da parte delle persone, le API semplificano la comunicazione tra applicazioni diverse. Un'API semplifica la programmazione estraendo l'implementazione sottostante e esponendo solo oggetti o azioni di cui lo sviluppatore ha bisogno, senza richiedere la conoscenza delle operazioni del file system che si verificano dietro le quinte.

Svantaggi

Lo sviluppo e l'aggiornamento di API può essere impegnativo, tuttavia è trascurabile rispetto al vantaggio di non dover conoscere tutta la struttura interna degli altri sistemi con cui si andrà a comunicare.

4.4.7. Smartphone Android

Descrizione

Negli ultimi anni la diffusione dei telefoni smartphone è aumentata notevolmente, rendendoli oggetti di uso quotidiano. In Italia nel 2017 l'indagine di We Are Social [78] ha riportato una penetrazione dell'83% (49,19 milioni di persone) delle tecnologie mobile. Inoltre in Italia il sistema operativo mobile più usato nel 2017 [79] è stato Android (63%), seguito da iOS di Apple (32%) e Windows Phone (4%).

Vista l'ampia diffusione degli smartphone, e in particolare dei sistemi operativi Android, si è scelto di sviluppare le applicazioni del prototipo SIMPLE per questi sistemi. Le applicazioni mobile saranno due distinte (descritte nel paragrafo 4.4): una per gli utenti clienti e una per gli autisti professionisti.

Vantaggi

I vantaggi nell'uso di applicazioni mobile sono dovuti in particolare al fatto che si tratta di una tecnologia sempre "a portata di mano". Le imprese che si occupano di trasporto pubblico non devono quindi acquistare

e fare la manutenzione di pannelli alle fermate, e risparmiano anche per quanto riguarda il servizio clienti, perché un sistema automatico richiede decisamente meno personale rispetto a un call-center.

Inoltre la documentazione Android è molto vasta e supportata da una community molto attiva.

Svantaggi

La scelta di sviluppare applicazioni Android consentirà solo agli utenti che possiedono questi dispositivi di partecipare. Infine, indipendentemente dal sistema operativo, gli smartphone presentano alcune criticità intrinseche di queste tecnologie:

- durata limitata della batteria
- possibili incompatibilità dovute alla varietà di versioni di software e hardware
- esistenza di aree non coperte da rete cellulare o Wi-Fi

5. Conclusioni

In questa fase del lavoro sono state poste le basi per la realizzazione e il test dei due prototipi di sistema che affronteranno le criticità descritte in questo e nei precedenti deliverable. Il lavoro procederà con l'implementazione di tali sistemi e il loro testing in una situazione di funzionamento realistica, coinvolgendo anche gli utenti come tester. Il team SIMPLE parteciperà alla conferenza di Cracovia "MT-ITS2019, 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems" [80] con due paper riguardo le due tematiche trattate.

Il primo paper riguardo lo Smart Ticketing è intitolato "Automating Ticket Validation: A Key Strategy for Fare Clearing and Service Planning", e comprende anche i primi dati registrati con una app Dimostratore (sviluppata attualmente solo per dispositivi Apple iOS) per la rilevazione di informazioni relative all'attività registrata con accelerometro, distanze e potenze ricevute da iBeacon, posizione e dei riferimenti temporali. L'applicazione consente inoltre di effettuare il check-in e il check-out manualmente (tramite QR-code) ed etichetta temporalmente ciascuno di questi eventi con il rispettivo timestamp. Il confronto tra i dati registrati automaticamente (attività dell'utente, prossimità dei beacon e posizione) e le informazioni di CI e CO manuali permettono di fare un'analisi per stimare le soglie di potenza/prossimità dei beacon che consentiranno di automatizzare la validazione dei biglietti in ingresso e in uscita dai mezzi pubblici.

Il secondo paper che verrà presentato alla conferenza di Cracovia riguarda invece la tematica dei servizi di trasporto su richiesta ed è intitolato "An innovative DRT experiment". In questo documento viene modellato il sistema e sono descritti i vari componenti che ne faranno parte.

Nei prossimi mesi, verranno incrementate le funzionalità dell'app dimostratore e saranno integrate le nuove funzionalità nell'app di destinazione (prima Bus Finder e poi ATP Sassari). Saranno anche effettuati nuovi test con app dimostratore e app di destinazione, prima con operatori e poi utenti reali.

6. Bibliografia

- [1] «Documenti pubblici del kickoff meeting,», reperibili dal portale SIMPLE (www.simple-cluster.it)
- [2] ASSTRA, Associazione Trasporti, “Linee guida per la promozione e realizzazione nel settore del TPL di sistemi di bigliettazione elettronica,» March 2011.
www.asstra.it/conoscenza/downloadPubblicazione/5-LINEE_GUIDA-SBE-2011.pdf.html
- [3] GWT-TUD GmbH, «Be-In-Be-Out Payment Systems for Public Transport» 2009.
- [4] M. Mezghani, “Study on electronic ticketing in public transport” May 2008.
www.emta.com/IMG/pdf/EMTA-Ticketing.pdf
- [5] J. Kos-Łabędowicz, “Integrated E-ticketing System – Possibilities of Introduction in EU” Communications in Computer and Information Science, vol. 471, pp. 376-385, 2014.
- [6] Octopus Cards Limited, “Tips - Octopus Hong Kong”
www.octopus.com.hk/en/consumer/octopus-cards/proper-use/tips/index.html
- [7] Transport for London, “Oyster pay as you go - Transport for London”
<https://tfl.gov.uk/fares/how-to-pay-and-where-to-buy-tickets-and-oyster/pay-as-you-go/oyster-pay-as-you-go>
- [8] Regione Piemonte
<https://bip.piemonte.it/i-servizi-della-carta-bip/>
- [9] ATM Azienda Trasporti Milanesi, “Biglietto con SMS”
www.atm.it/it/ViaggiaConNoi/Pagine/SMSTicketing.aspx
- [10] HSL Helsinki Region Transport, “SMS ticket”
www.hsl.fi/en/tickets-and-fares/sms-ticket
- [11] DPP Dopravní podnik hlavního města Prahy, “Ticket Sales”
www.dpp.cz/en/ticket-sales/
- [12] ATAC S.p.A. Azienda per la mobilità, “Canali di vendita - acquisti e servizi online”
<https://www.atac.roma.it/page.asp?p=228&i=14>
- [13] Metro do Porto, “Já disponível, a app que o leva a todo o lado. Anda”
www.metroporto.pt/frontoffice/pages/379?news_id=311
- [14] SL Storstockholms Lokaltrafik, “App- SL”

<https://sl.se/en/eng-info/fares/app/>

- [15] AVM S.p.A. – Azienda Veneziana della Mobilità, “AVM Venezia Official APP”
<http://actv.avmspa.it/it/content/avm-venezia-official-app>
- [16] FAIRTIQ, “Welcome | FAIRTIQ”
<https://fairtiq.ch/en>
- [17] BLS Ltd, “lezzgo – Get on, travel, travel, travel... pay !”
www.lezzgo.ch/index-en.html
- [18] Ø. Høisæther and E. Vigeland, Context-awareness for Mobile Ticketing, Trondheim, Norway, 2014
- [19] L. Zoscher, J. Grosinger, R. Spreitzer, U. Muehlmann, H. Gross and W. Bosch, “Concept for a Security Aware Automatic Fare Collection System Using HF/UHF Dual Band RFID Transponders”, in 2015 45th European Solid State Device Research Conference (ESSDERC), Graz, Austria, 2015.
- [20] W. Narzt, S. Mayerhofer, O. Weichselbaum, S. Haselböck and N. Höfler, “Bluetooth Low Energy as enabling technology for Be-In/Be-Out systems”, in 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2016.
- [21] C. Sarkar, J. J. Treurniet, S. Narayana, R. V. Prasad and W. de Boer, “SEAT: Secure Energy-Efficient Automated Public Transport Ticketing System”, IEEE Transactions on Green Communications and Networking, vol. 2, no. 1, pp. 222-233, 2018.
- [22] J. P. N. M. Bandeira, “Mobile ticketing using Bluetooth low energy technology”, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2017.
- [23] M. Botelho, “Monitoring a mobile ticketing system based on NFC and BLE beacons”, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2018.
- [24] Tartu Linnavalitsus, “Tartus algab ainulaadse käed-vabad piletimüügisüsteemi avalik testimine”, November 2017.
www.tartu.ee/et/uudised/tartus-algab-ainulaadse-kaed-vabad-piletimuugisusteemi-avalik-testimine
- [25] Tartu Linnavalitsus, “Käed-vabad-piletisüsteemi testimine Tartus jõuab lõpule”, March 2018.
www.tartu.ee/et/uudised/kaed-vabad-piletisusteemi-testimine-tartus-jouab-lopul
- [26] e-Passport - www.asml.com/doclib/misc/asml_20061208_6_PresentationICAO_V1.0.pdf
- [27] Carta d’Identità ElettronicaCIE 3.0 –Specifiche Chip
www.cartaidentita.interno.gov.it/wp-content/uploads/2016/07/cie_3.0_-_specifiche_chip.pdf
- [28] Tyfone puts NFC into microSD cards -
www.nearfieldcommunicationsworld.com/2009/01/12/3485/tyfone-puts-nfc-into-microsd-cards/

- [29] ATM – Telecom Italia
www.atm.it/it/AtmNews/Comunicati/Pagine/ATM%E2%80%93TelecomItaliaalvia%E2%80%9C-MobilePass%E2%80%9D,I%E2%80%99abbonamentoATMsultelefonino.aspx
- [30] Etichette NFC anti contraffazione: il progetto italiano di Tag Over
<http://appnfc.it/applicazioni/etichette-nfc-anti-contraffazione-il-progetto-italiano-di-tag-over.html>
- [31] U.Biader Ceipidor, C.M. Medaglia, A. Marino, M. Morena, S. Sposato, A. Moroni, P. Di Rollo, and M.La Morgia. Mobile ticketing with nfc management for transport companies. problems and solutions. In Near Field Communication (NFC), 2013 5th International Workshop on, pages 1–6, Feb 2013. doi: 10.1109/NFC.2013.6482446.
- [32] Paolo Magrassi, Tom Berg, "A World Of Smart Objects: The Role Of Auto Identification Technologies", Strategic Analysis Report, GartnerGroup, Stamford (CT), USA, 2001 Technology-Research-Gartner Inc
- [33] "What-is-Wi-Fi?"
<https://web.archive.org/web/20120308123721/http://www.webopedia.com/term/w/wi-fi.html>
- [34] BBC-NEWS-Programmes-Panorama-Wi-Fi:-A-warning-signal
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/panorama/6674675.stm>
- [35] Wi-Fi, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [36] Bluetooth-Smart-or-Version-4.0+-of-the-Bluetooth-specification.
[/www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy](http://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy)
- [37] Mobile-Telephony-Market"-Bluetooth-SIG
www.bluetooth.com/Pages/Mobile-Telephony-Market.aspx
- [38] PI-LatencyComp-Neighbor-Discovery-in-BLE-Like-protocols".-CodeOcean.
<https://codeocean.com/2017/08/08/pi-latencycomp-neighbor-discovery-in-ble-like-protocols>
- [39] Kindt, P. H.; Saur, M.; Balszun, M.; Chakraborty, S. (2017). "Neighbor Discovery Latency in BLE-Like Protocols". IEEE Transactions on Mobile Computing. **PP** (99): 1–1.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/8003429/>
- [40] Bluetooth SIG <https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications>
- [41] Bluetooth official website, www.bluetooth.com/mesh
- [42] "Casio Bluetooth Low Energy Watch communicates with smartphones". M2M / IoT hints and tips.
www.gsm-modem.de/M2M/m2m-apps/casio-bluetooth-low-energy-watch/
- [43] "Inside iOS 7: iBeacons enhance apps' location awareness via Bluetooth LE". AppleInsider.
<http://appleinsider.com/articles/13/06/19/inside-ios-7-ibeacons-enhance-apps-location-awareness-via-bluetooth-le>
- [44] "FindMeProfileSpecification"

https://www.bluetooth.org/docman/handlers/downloaddoc.ashx?doc_id=239389

- [45] iBeacon Battery Drain on Apple vs Android: A Technical Report
<https://www.aislelabs.com/reports/ibeacon-battery-drain-iphones/>
- [46] "How-to-find-the-best-beacon-hardware-for-everything-from-stores-to-cities".
<https://gigaom.com/2014/11/04/how-to-find-the-best-beacon-hardware-for-everything-from-stores-to-cities/>
- [47] R. Tabish, A. Ben Mnaouer, F. Touati, and A.M. Ghaleb. A comparative analysis of ble and 6lowpan for u-healthcare applications. In GCC Conference and Exhibition (GCC), 2013 7th IEEE, pages 286–291, Nov 2013.
- [48] Wikipedia, “GPS”. https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_di_posizionamento_globale
- [49] Wikipedia, “QR code”, 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/QR_code
- [50] Apple Inc., “Core Location | Apple Developer Documentation”, 2019.
<https://developer.apple.com/documentation/corelocation>
- [51] Google LLC, “Location and context overview | Android Developers”, 2019.
<https://developer.android.com/training/location/>
- [52] Apple Inc., “CMMotionActivity - Core Motion | Apple Developer Documentation”, 2019.
<https://developer.apple.com/documentation/coremotion/cmmotionactivity>
- [53] Google LLC, “ActivityRecognitionResult | Google APIs for Android | Google Developers”, 2019.
<https://developers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/location/ActivityRecognitionResult>
- [54] Wikipedia, “Bluetooth - Wikipedia”, 2019. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [55] Wikipedia, “Bluetooth low energy beacon - Wikipedia”, 2019.
https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy_beacon
- [56] Apple Inc., “iBeacon - Apple Developer”, 2014.
<https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>
- [57] Apple Inc., “CLBeacon - Core Location | Apple Developer Documentation”, 2019.
<https://developer.apple.com/documentation/corelocation/clbeacon>
- [58] BlueUp Srls, “BlueUp - BlueBeacon Mini (BLE beacon)”, 2018.
www.blueupbeacons.com/index.php?page=mini
- [59] Delibera n. 48/2017 dell’Autorità dei Trasporti
<http://www.autorita-trasporti.it/delibere/delibera-n-48-2017/>
- [60] European Commission, “European Regional Development Fund - Regional Policy”
ec.europa.eu/regional_policy/en/funding/erdf/

- [61] ATP Nuoro
- [62] S. Kenyon, Lyons Glenn and J. Rafferty, "Transport and social exclusion: investigating the possibility of promoting inclusion through virtual mobility," *Journal of Transport Geography*, pp. 207-219, 2002.
- [63] J. Preston and F. Rajé, "Accessibility, mobility and transport-related social exclusion", *Journal of Transport Geography*, vol. Volume 15, no. Issue 3, pp. 151-160, 2007.
- [64] J. Mageean and J. Nelson, "Some observations on the organisation of demand responsive transport service", *European Transport*, vol. 7, pp. 49-57, 2001.
- [65] G. Ambrosino, J. D. Nelson and M. Romanazzo, *Demand Responsive Transport Services: Towards the Flexible Mobility Agency*, Rome (Italy): ENEA, 2003.
- [66] S. Potter, "Transport integration - an impossible dream?", in *Universities Transport Study Group Annual Conferences*, Plymouth, 2010.
- [67] A. Curl, J. D. Nelson and J. Anable, "Does Accessibility Planning address what matters? A review of current practice and practitioner perspectives", *Research in Transportation Business & Management*, vol. 2, pp. 3-11, 2011.
- [68] C. Mulley, J. Nelson, R. Teal, S. Wright and R. Daniels, "Barriers to implementing flexible transport services: An international comparison of the experiences in Australia, Europe and USA", *Research in Transportation Business & Management*, vol. 3, pp. 3-11, 2012.
- [69] R. Daniels and C. Mulley, "Flexible Transport Services: Overcoming Barriers to Implementation in Low-Density Urban Areas", *Urban Policy and Research*, vol. 30, no. 1, pp. 59-76, 2012.
- [70] G. A. Giannopoulos, "The application of information and communication technologies in transport", *European Journal of Operational Research*, vol. 152, no. 2, pp. 302-320, 2004.
- [71] M. Martinez, "L'impatto dei sistemi di ICT sull'organizzazione dei sistemi di trasporto locale in Europa", *Cesit Centro Studi sistemi di trasporto collettivo "Carlo Mario Guerci"*, no. 2, 2011.
- [72] G. Ambrosino, N. Di Volo, G. Ferilli, G. Finn and B. Finn, "Mobility services accessibility: demand responsive transport service towards the flexible mobility agency", *Social Research in Transport (SORT) Clearinghouse*.
- [73] Develop a smart choice of mobility services
<https://civitas.eu/content/develop-smart-choice-mobility-services>
- [74] Django: The web framework for perfectionists with deadlines
www.djangoproject.com
- [75] ACID Compliance: What It Means and Why You Should Care
www.clustrix.com/bettersql/acid-compliance-means-care/
- [76] Open Trip Planner www.opentripplanner.org
- [77] CityBikes API Documentation api.citybik.es/v2/
- [78] Digital in 2018 Report: gli utenti Internet nel mondo superano i 4 miliardi. In Italia sono più di 43 milioni wearesocial.com/it/blog/2018/01/global-digital-report-2018
- [79] Android è il sistema operativo più usato nel 2017
www.repubblica.it/tecnologia/prodotti/2018/01/03/news/android_e_il_sistema_operativo_piu_usato_nel_2017-185748161/
- [80] MT-ITS2019, 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems

www.mt-its2019.pk.edu.pl