

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
CAMPUS DI CESENA

---

Scuola di Scienze  
Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

TRACKING INDOOR BASATO SU  
BEACON: TRAUMA TRACKER COME  
CASO DI STUDIO

*Elaborato in*  
PROGRAMMAZIONE DI SISTEMI EMBEDDED

*Relatore*  
Prof. ALESSANDRO RICCI

*Presentata da*  
MATTEO CAVALLUZZO

*Co-relatore*  
Ing. ANGELO CROATTI

---

Terza Sessione di Laurea  
Anno Accademico 2016 – 2017



# PAROLE CHIAVE

Indoor tracking

Beacons

Android Beacon Library

Trauma Tracker



# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>ix</b>
<b>1 Il Tracking Indoor</b>	<b>1</b>
1.1 Cosa è il tracciamento e tipi di tracciamento . . . . .	1
1.2 Scenari di utilizzo . . . . .	2
1.2.1 Industria Manifatturiera . . . . .	2
1.2.2 Settore ospedaliero . . . . .	2
1.2.3 Trasporti e Logistica . . . . .	3
1.2.4 Tracciamento del personale . . . . .	4
1.3 Metodi di tracciamento . . . . .	5
1.3.1 Time of Arrival(ToA) / Time of Flight (ToF) . . . . .	5
1.3.2 Time Difference of Arrival . . . . .	6
1.3.3 Angle of Arrival . . . . .	6
1.3.4 Hybrid ToA/AoA . . . . .	7
1.3.5 Received signal strength (RSS) e fingerprint . . . . .	7
1.3.6 Cell of Origin (CoO) . . . . .	7
1.4 Fattori di valutazione . . . . .	8
<b>2 Quadro delle tecnologie utilizzate per il tracciamento</b>	<b>11</b>
2.1 WiFi . . . . .	11
2.2 RFID . . . . .	12
2.2.1 TAG . . . . .	13
2.2.2 Lettori . . . . .	14
2.3 Ultra Wide Band . . . . .	16
2.4 Beacon . . . . .	17
2.5 Due modelli di utilizzo . . . . .	18
<b>3 Beacon</b>	<b>21</b>
3.1 Introduzione al Bluetooth Low Energy . . . . .	21
3.1.1 GATT Profile . . . . .	22
3.2 L'advertising packet del BLE . . . . .	22
3.3 Pseudo-Standard dei Beacon . . . . .	25

3.3.1	iBeacon . . . . .	25
3.3.2	Eddystone . . . . .	26
3.3.3	AltBeacon . . . . .	28
3.4	Strumenti per l'interazione con i beacon . . . . .	29
3.4.1	Strumenti del produttore . . . . .	29
3.4.2	Google Beacon Platform . . . . .	30
3.4.3	Apple Core Location API . . . . .	31
3.5	Autonomia . . . . .	32
3.6	Problemi di Privacy e Sicurezza . . . . .	33
3.7	Manutenzione e Installazione . . . . .	34
3.8	Sviluppi futuri: Bluetooth 5.0 . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Il caso di studio: Trauma Tracker</b>	<b>37</b>
4.1	Il sistema Trauma Tracker . . . . .	37
4.2	Struttura del sistema . . . . .	37
4.3	Il tracciamento in Trauma Tracker . . . . .	38
4.4	Obiettivi del progetto . . . . .	39
4.4.1	Requisiti . . . . .	39
4.4.2	Problematiche da Gestire . . . . .	40
4.5	Tecnologie Utilizzate . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Applicazione per il monitoraggio della posizione: progettazione e sviluppo</b>	<b>43</b>
5.1	Progettazione . . . . .	44
5.1.1	Pattern MVP utilizzato . . . . .	48
5.2	Librerie utilizzate per la scansione dei beacon . . . . .	49
5.2.1	Tipologie di scansione . . . . .	49
5.2.2	Estimote SDK . . . . .	50
5.2.3	Android Beacon Library . . . . .	51
5.2.4	Scelta della libreria da utilizzare . . . . .	53
5.3	Implementazione . . . . .	54
5.3.1	Scansione e Posizionamento . . . . .	54
5.3.2	Struttura dati per i beacon registrati . . . . .	55
5.3.3	Gestione dei beacon registrati . . . . .	56
5.3.4	Monitoraggio Batteria . . . . .	57
5.4	Funzionamento . . . . .	58
5.5	Test Effettuati . . . . .	59
5.5.1	Test sul range . . . . .	60
5.5.2	Errore nella rilevazione . . . . .	60
5.5.3	Ostacoli . . . . .	62
5.5.4	Tempi di rilevazione della posizione . . . . .	63

<i>INDICE</i>	vii
<b>6 Implementazione in Trauma Tracker</b>	<b>65</b>
6.1 Implementazione . . . . .	66
6.2 Piazzamento dei beacon . . . . .	67
<b>Conclusioni</b>	<b>73</b>
6.3 Sviluppi futuri . . . . .	73
<b>Ringraziamenti</b>	<b>75</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>77</b>



# Introduzione

L'Internet of Things (IoT) rappresenta la connettività della tecnologia moderna e la crescente rete di dispositivi in grado di comunicare tra loro. L'IoT sta già rivoluzionando il modo in cui molte realtà operano e mentre le varie tecnologie che lo caratterizzano diventano sempre migliori e più accessibili, l'ecosistema digitale sta continuando a crescere. Il monitoraggio della posizione è uno degli strumenti più preziosi in questo settore. In passato il GPS rappresentava la tecnologia principe per la localizzazione ma le limitazioni dovute alle sue scarse prestazioni in ambiti indoor hanno portato alla ricerca e lo sviluppo di tutta una serie di tecnologie capaci di funzionare in ambienti chiusi e di offrire tutta una serie di nuove opportunità ad aziende, privati e consumatori. Il Bluetooth, una tecnologia wireless introdotta per lo scambio dei dati, è diventata uno degli elementi principali dell'IoT, soprattutto dall'introduzione dello standard del Bluetooth Low Energy, che ha reso possibile numerose applicazioni completamente nuove. Una delle principali è quella dei beacon, il cui funzionamento è relativamente semplice: inviano un segnale che viene ricevuto da altri dispositivi Bluetooth presenti nell'area. Questa prossimità indica vicinanza al beacon e, di conseguenza, una specifica posizione. Questa tesi fornisce una panoramica del tracciamento indoor e delle tecnologie utilizzate per poi soffermarsi su quella dei beacon applicata a Trauma Tracker, un progetto nato dalla collaborazione tra il Trauma Center dell'ospedale Bufalini di Cesena e l'Università di Bologna. Il primo capitolo tratterà degli scenari che possono beneficiare maggiormente di questo tipo di sistemi e dei fattori che bisogna tenere maggiormente in considerazione durante la scelta della tecnologia. Verranno inoltre discussi i principali metodi utilizzati per la determinazione della posizione. Nel secondo capitolo viene fatta una panoramica delle tecnologie wireless impiegate nel tracciamento indoor, soffermandosi sulle caratteristiche principali e sui punti di forza e debolezza di ciascuna tecnologia. Il terzo capitolo si sofferma sulla tecnologia dei beacon Bluetooth, quella scelta per il caso di studio precedentemente accennato, parlando delle loro caratteristiche, degli standard da loro utilizzati e degli strumenti a disposizione per poter interagire con essi. Nel quarto capitolo si parlerà del sistema Trauma Tracker e del suo sottosistema di tracciamento, illustrando gli obiettivi e i requisiti del progetto

che è stato realizzato. Il quinto capitolo illustra la prima parte del progetto: la progettazione e realizzazione di un'applicazione per il monitoraggio della posizione e dei beacon presenti nell'area, con una sezione finale che mostra i risultati in termini temporale e di precisione ottenuti durante i test. Infine il sesto capitolo tratta dell'integrazione del core dell'applicazione precedente all'interno del sistema Trauma Tracker, illustrando poi una possibile configurazione del sistema all'interno dei reparti dell'ospedale in cui dovrà aver luogo il tracciamento, sia come configurazione dei parametri di scansione di beacon e ricevitore, sia per quanto riguarda il posizionamento dei beacon.

# Capitolo 1

## Il Tracking Indoor

### 1.1 Cosa è il tracciamento e tipi di tracciamento

Un sistema di tracciamento indoor, anche detto IPS (Indoor Positioning System) è un sistema in grado di localizzare la posizione di oggetti, persone, animali all'interno di edifici. La necessità di ricercare questo tipo di tecnologie deriva dal fatto che il GPS (Global Positioning System) risulta inaffidabile in ambienti chiusi. Quest'ultimo sfrutta una rete mondiale di satelliti e funziona ad ogni ora del giorno, con qualsiasi condizione climatica e con grande accuratezza. La posizione degli oggetti può essere ottenuta con una precisione fino a 1 o 5 metri attraverso un processo di triangolazione del segnale che permette di determinare la posizione fisica di un oggetto. In ambienti chiusi non è utilizzabile in quanto il segnale proveniente dai satelliti viene pesantemente attenuato dai materiali che costituiscono gli edifici, rendendolo quindi inutilizzabile. Il GPS fornisce la posizione dell'oggetto in forma di coordinate geografiche, i sistemi di posizionamento indoor forniscono una posizione relativa all'ambiente in cui sono stati dispiegati. Questi sistemi si dividono in due tipologie, distinte per il tipo di informazione fornita al sistema e il grado di precisione:

- *Coordinate dell'oggetto* all'interno dell'edificio: forniscono le coordinate dell'oggetto relative alla mappa dell'edificio. Un sistema di questo tipo richiede quindi una perfetta conoscenza dell'ambiente ed è caratterizzato da una precisione e complessità elevate.
- *Indicazione dell'ambiente* all'interno dell'edificio: indicano la zona in cui si trova l'elemento da tracciare. La zona solitamente corrisponde ad una stanza di un edificio o a un reparto o sezione nel caso di un ambiente molto grande (es. reparto o corsia nel caso di un centro commerciale).

Bisogna fare un'ulteriore distinzione tra sistemi di posizionamento client-based e server-based:

- **Client-based:** la posizione è determinata direttamente dal device dell'utente finale (solitamente uno smartphone o tablet) ma può essere anche trasferita in maniera continua ad un server per supervisionare la locazione corrente dell'utente. Questo metodo richiede l'installazione di un'applicazione. Questo sistema è molto utilizzato per la navigazione guidata indoor o quando il sistema ha la necessità di comunicare con l'utente.
- **Server-based:** la posizione è determinata da un server. Questo metodo non richiede l'installazione di un'applicazione. È il sistema più utilizzato quando bisogna tracciare la posizione di persone o oggetti, soprattutto su larga scala.

## 1.2 Scenari di utilizzo

### 1.2.1 Industria Manifatturiera

L'aumento della competizione pone sempre più pressioni sulle aziende manifatturiere portandole ad aumentare costantemente l'efficienza e a fornire prodotti di qualità migliore. Le moderne catene di produzione sono frammentate e i requisiti per un certo prodotto possono variare in modo significativo. Come risultato, le aziende devono migliorare costantemente i loro processi. Per gestire i flussi di produzione, hanno la necessità di strumenti efficienti che forniscano una panoramica e un supporto per decisioni migliori. I sistemi di posizionamento possono fornire ai manager e ai lavoratori informazioni su come i beni vengono spostati all'interno della fabbrica, su dove sono immagazzinati e dove sono necessari. Il poter identificare la posizione di un oggetto permette di trovarlo velocemente quando è necessario, elementi che non raggiungono la catena di produzione possono portare all'interruzione dell'intero processo. Questi sistemi possono anche ridurre il rischio di incidenti all'interno di una fabbrica, al cui interno al giorno d'oggi non ci sono solamente persone in movimento, ma anche macchinari: un sistema di tracciamento può aiutare i lavoratori a muoversi in modo più sicuro all'interno dell'ambiente fornendo il percorso migliore.

### 1.2.2 Settore ospedaliero

Gli ospedali sono delle strutture caratterizzate da un'elevatissima densità di informazioni. Aumentando la quantità di dati acquistiti e migliorando la

comunicazione i sistemi di localizzazione possono migliorare la qualità generale delle cure diminuendo allo stesso tempo i costi. Ciò aiuta gli ospedali ad assicurare che la giusta persona e il giusto macchiaro siano sempre nel posto giusto al momento opportuno. Di seguito alcune delle migliorie che possono essere apportate da sistemi di posizionamento:

- **Aumento dell'utilizzo della strumentazione:** La strumentazione medica solitamente è costosa. Tener traccia di ogni elemento che si muove all'interno dell'ospedale e localizzarlo quando ce n'è il bisogno è un compito molto difficile. Attualmente gli ospedali acquistano materiale in quantità dal 10 al 20% maggiori alle loro necessità, questo a causa dell'inefficienza del sistema di gestione degli inventari.
- **Allocazione dello staff:** la gestione del personale e della sua interazione con i pazienti è uno degli aspetti vitali nella gestione di un'ospedale. Vengono infatti eseguite pianificazioni ogni mattina, che però possono subire variazioni nel corso della giornata. Un sistema di tracciamento può fornire una gestione più dinamica del personale. I medici possono essere meglio posizionati e il loro tempo meglio gestito. Una situazione di emergenza può essere inoltrata al membro del personale più vicino. Questi strumenti forniscono un valore ancora maggiore in ambienti come il reparto per le emergenze, dove anche pochi istanti possono fare la differenza.
- **Generazione e raccolta di dati:** la raccolta di dati di tutti i sistemi precedentemente trattati possono fornire un ulteriore valore aggiunto. La raccolta di tutte queste informazioni può permettere di analizzare tutte le dinamiche della struttura per poter migliorare le procedure future e evidenziare le carenze in quelli presenti.

### 1.2.3 Trasporti e Logistica

Attualmente la maggior parte dei sistemi utilizzati nel campo dei trasporti è data da una combinazione di GPS e codici a barre. Sarebbe però interessante riuscire a determinare la posizione di un certo prodotto all'interno di un carico nel momento in cui arriva. O in modo simile, all'interno di un magazzino non c'è modo di verificare che un prodotto sia effettivamente presente in un determinato luogo. Alcuni dei vantaggi forniti da sistemi IPS:

- **Storage efficace:** poter tracciare la merce significa aumentare la flessibilità del suo posizionamento. Non dover considerare lo scaffale o la sezione destinata ad un oggetto permette di riporlo in quella più pratica. In modo simile, gli operatori possono localizzare in modo facile uno

specifico elemento quando ne hanno bisogno. Merce di clienti diversi può essere posizionata vicino senza la preoccupazione di doverla confondere, permettendo un immagazzinamento più veloce e efficace.

- **Generazione di dati:** l'aumento dei dati generati ha già rivoluzionato molteplici industrie. Una migliore comprensione dei processi permette di migliorare l'efficienza delle operazioni e l'esperienza utente.
- **Errori:** conoscendo in tempo reale la posizione di un elemento, i dipendenti possono sapere dove il pacco si trova in ogni istante. Questo significa che gli operatori possono sapere immediatamente se l'oggetto sbagliato è stato preso o spostato. Interrompendo immediatamente gli errori, gli operatori addetti al trasporto possono essere certi di trasportare l'oggetto corretto.
- **Riduzione dei costi:** è stato stimato che l'utilizzo di soluzioni IoT diminuiranno il costo dell'ordinamento dei prodotti nelle fabbriche fino al 30%, portando ad un risparmio di 6-19 miliardi di dollari entro il 2025.

#### 1.2.4 Tracciamento del personale

Alcune organizzazioni fanno uso del monitoraggio dei dipendenti per valutare le performance, evitare incidenti legali, proteggere segreti commerciali e affrontare molti altri problemi di sicurezza. Sistemi di tracciamento possono essere applicati ad un ambiente di lavoro per capire meglio come i dipendenti trascorrono il loro tempo e utilizzano le strutture degli uffici. Questo fornisce ai manager informazioni su come effettivamente l'organizzazione sta procedendo e dei suoi bisogni.

- **Dati in tempo reale:** tener traccia del personale in tempo reale può avere diverse applicazioni. Assicurarci che lo staff occupi le postazioni ad esso destinate è vitale per mantenere un ambiente di lavoro sicuro e evitare situazioni pericolose. In ospedali o strutture simili dove i clienti vengono accolti, sistemi di tracciamento possono supportare la pianificazione e gestione assegnando più efficacemente receptionist o altre figure simili. Questo porta ad aumentare la soddisfazione del cliente rendendo al tempo stesso i lavoratori più produttivi. Compendere al meglio l'utilizzo dello spazio può migliorare il suo utilizzo portando ad un risparmio economico. Molte compagnie stanno infatti adottando postazioni di lavoro basate sul tipo di utilizzo dove i dipendenti possono essere automaticamente assegnati. È anche possibile personalizzare il processo, permettendo di configurare automaticamente una stanza all'arrivo di una persona.

- Storico dei movimenti: tener traccia di tutti i movimenti interni ad un'azienda può tornare utile nel caso in cui si verificano problemi o fraintendimenti. Possono essere memorizzati i dettagli con cui certe operazioni sono state eseguite. Ciò permette di gestire al meglio il tempo.
- Sicurezza: in alcune aziende controllare la posizione del personale è essenziale. Aree con grandi macchinari devono essere monitorate per ragioni di sicurezza e i movimenti del personale limitati. Sistemi di tracciamento possono essere utilizzati per notificare automaticamente gli operatori al verificarsi di uno di questi scenari o quando entrano in aree inappropriate. Il tracciamento del personale può anche segnalare situazioni inusuali che possono essere segno che qualcosa sta andando storto, come un operaio fermo in una certa posizione per un tempo superiore a quello previsto. In queste situazioni gli operatori possono essere immediatamente avvertiti per contattare la persona o per fornire supporto.

### 1.3 Metodi di tracciamento

La maggior parte dei sistemi di tracciamento indoor si servono di tecnologie che utilizzano onde radio per determinare la posizione dell'oggetto. Di seguito vengono elencati i principali metodi con cui il segnale viene utilizzato per la determinazione della posizione.

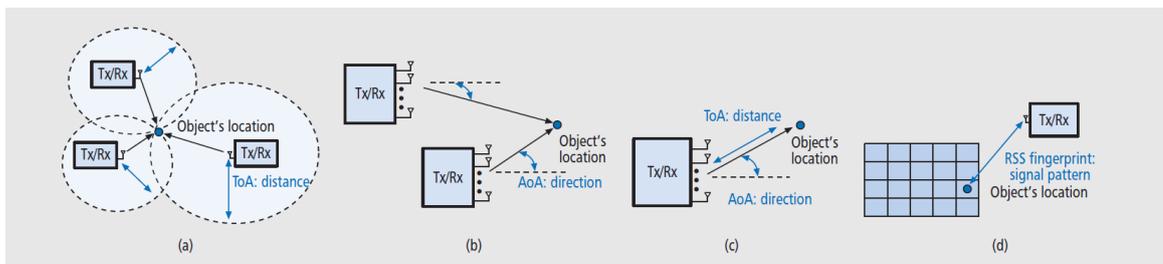


Figura 1.1: a) Time of Arrival b) Angle of Arrival c) Hybrid ToA/AoA d) RSS e fingerprinting

#### 1.3.1 Time of Arrival (ToA) / Time of Flight (ToF)

Il metodo ToA (Time of Arrival) calcola la distanza tra l'emettitore e il nodo ricevente considerando il tempo trascorso tra l'emissione e la ricezione del segnale. Per misurare il tempo di propagazione del segnale è solitamente richiesta una sincronizzazione tra emettitore e ricevitore, anche solo un nanosecondo di errore nella sincronizzazione può portare ad un errore nella determinazione

della distanza di 30 cm. Una volta ottenuta la stima della distanza, si ha un dato posizionabile all'interno di un cerchio che ha come centro l'emettitore; questo metodo richiede quindi la presenza di almeno tre punti di riferimento (detti anche ancore) per poter applicare la trilaterazione e determinare la posizione dell'oggetto. ToA è particolarmente difficile da applicare in situazioni dove sono presenti fenomeni di multipathing (ricezione del segnale da direzioni diverse dovuto a fenomeni di riflessione e rifrazione). Un modo per risolvere questo problema consiste nell'aumento della banda del segnale e della frequenza di campionamento. Ad esempio, un sistema con larghezza di banda e campionamento a 30MHz può misurare il tempo trascorso con una risoluzione di  $10^{-7}$  secondi (100 nanosecondi), con un errore massimo che può arrivare fino a 30m. Quando il sistema wireless ha una banda di 1 GHz, il ricevitore può effettuare misurazioni con una risoluzione di  $10^{-9}$  secondi (1 nanosecondo) con un errore massimo inferiore ai 30cm. Le attuali soluzioni che utilizzano questo sistema sono i sistemi ultra wide bands (UWB).

### 1.3.2 Time Difference of Arrival

Il metodo TDoA sfrutta lo stesso principio di ToA, ovvero il tempo impiegato dal segnale per arrivare da un nodo sorgente a un nodo ricevitore, per poter calcolare la distanza tra i due nodi in questione. A differenza di ToA, che calcola il time-of-flight tra il trasmettitore e ogni singolo sensore, TDoA sfrutta la differenza di tempo di volo per calcolare la distanza tra i vari nodi (le cui posizioni fisse sono già note) attraverso la multilaterazione. A differenza del ToA, non è necessario che tutti i nodi siano sincronizzati, ma è sufficiente che lo siano i nodi ancora.

### 1.3.3 Angle of Arrival

La misurazione dell'angolo di arrivo è il metodo utilizzato per determinare la direzione del segnale in arrivo da un trasmettitore ad almeno due sensori di coordinate note. Sfruttando e rilevando la differenza di fase tra più antenne è possibile calcolare la direzione del segnale ed utilizzando la tecnica della triangolazione è possibile determinare le coordinate dell'emettitore, che si troverà sull'intersezione delle due direzioni. Però, a causa del fenomeno del multi-path del segnale, l'AoA è difficile da ottenere in linea diretta (sfruttando una linea diretta), per aumentare la precisione è necessario aumentare anche il numero di antenne capaci di captare l'angolo di arrivo del segnale con una certa precisione.

### 1.3.4 Hybrid ToA/AoA

A causa della struttura complicata degli ambienti indoor e al numero limitato di nodi, è stato introdotto un approccio ibrido che utilizza entrambe i metodi di ToA e AoA. Combinando le informazioni ricevute con queste due tecniche, è possibile ridurre il numero di nodi. Come illustrato in Fig.1.1c, è possibile localizzare un oggetto utilizzando anche uno solo. L'approccio ibrido soffre comunque dello stesso problema della larghezza di banda del segnale e numero di antenne.

### 1.3.5 Received signal strength (RSS) e fingerprint

Il metodo dell'RSSI si basa sulla potenza di segnale ricevuta e sulla relazione tra distanza percorsa e attenuazione del segnale. Attraverso la calibrazione della potenza di trasmissione unita a un modello ottenuto con misurazioni effettuate in vari punti, è possibile stimare la distanza da ogni nodo. Questo metodo richiede che la sorgente trasmetta un segnale con potenza costante nota al ricevitore, in modo da poterne calcolare l'attenuazione. Per migliorare ulteriormente la precisione può essere utilizzato in combinazione con il fingerprinting. Il fingerprinting è una tecnica che consiste di due fasi. Una prima offline in cui si crea un mappa del luogo attraverso molteplici misurazioni effettuate nei vari punti dell'ambiente, in modo da creare un database in cui ad ogni segnale è associata a una certa posizione. Nella seconda fase online si confronta il segnale ricevuto con il database, in modo da avere una stima della posizione dell'elemento target. La precisione della localizzazione dipenderà non solo dal numero di punti registrati ma anche dalla differenza di segnale tra di essi. Quando questa differenza è minima, il sistema tenderà ad essere più impreciso. Quando l'ambiente è dinamico, come nel caso di un centro commerciale con folla in movimento, le performance possono degradare in maniera significativa a causa delle interferenze del segnale. Inoltre, i tempi di calcolo della posizione possono aumentare esponenzialmente con il numero di elementi presenti nel database.

### 1.3.6 Cell of Origin (CoO)

Il metodo del Cell of Origin è utilizzato per determinare la posizione di un elemento solamente attraverso la sua presenza in una particolare area in cui è presente un segnale radio. La procedura consiste nella registrazione della posizione corrispondente al segnale più forte. L'accuratezza di questi sistemi dipende dalla densità dei nodi ancora impiegati e dal range del loro segnale. CoO è un metodo di posizionamento utilizzato per quei contesti in cui non è richiesto un alto livello di accuratezza.

## 1.4 Fattori di valutazione

Nella valutazione delle tecniche per il tracciamento indoor bisogna tenere conto di molteplici fattori:

- **Accessibilità:** indica la capacità della tecnologia di essere sfruttata dall'utente. Indipendentemente dalla tecnologia, il determinare una posizione richiede un'infrastruttura composta da un trasmettitore, un ricevitore e un data service. Maggiore è la disponibilità di questi trasmettitori e ricevitori, più il sistema diventa accessibile. Ad esempio la tecnologia GPS nell'ambito outdoor ha un'elevata accessibilità in quanto è presente un unico standard globale per i trasmettitori e praticamente qualsiasi device mobile è capace di agire come ricevitore.
- **Raggio:** si riferisce alla distanza a cui il segnale viene trasmesso e ricevuto. Per tutte le soluzioni che verranno discusse, il raggio può dipendere dalla configurazione, impostazioni relative alla potenza e all'ambiente. Per esempio, un segnale Wifi o Bluetooth può viaggiare molto più a lungo in ambienti aperti senza alcun ostacolo rispetto ad un edificio caratterizzato dalla presenza di molteplici stanze.
- **Accuratezza:** uno dei parametri di maggior interesse quando si trattano sistemi di posizionamento. Solitamente si adotta come metro di paragone l'errore medio nel calcolo della distanza, che viene calcolato come la media della distanza euclidea tra la posizione stimata e quella reale. Più alta è l'accuratezza, migliore è il sistema; nonostante ciò bisogna scendere a compromessi con altre caratteristiche.
- **Precisione:** l'accuratezza considera solamente il valore medio dell'errore della distanza. La precisione della posizione considera come il sistema lavora nel tempo, quanto le varie misurazioni sono simili tra loro, il che non significa necessariamente che il sistema sia accurato.
- **Complessità:** la complessità di un sistema di localizzazione può essere attribuita all'hardware, software e ad altri fattori. Se la parte computazionale viene affidata ad un server centralizzato, la posizione può essere calcolata velocemente grazie alle grandi capacità computazionali e all'alimentazione sufficiente. Se ciò è invece eseguito lato mobile, gli effetti sulla complessità possono essere evidenti. La maggior parte dei dispositivi mobile non è dotata di un grande potenza e autonomia, preferendo quindi algoritmi dalla minor complessità. Solitamente il parametro che viene utilizzato per misurare la complessità di un sistema è il tempo di

computazione. Anche la frequenza con cui la posizione viene aggiornata è fattore che viene preso in considerazione.

- **Robustezza:** un sistema di tracciamento caratterizzato da un'elevata robustezza può funzionare anche quando alcuni dei segnali non sono disponibili, o quando alcuni valori come l'RSS o l'angolo non vengono riconosciuti. Alcune volte, il segnale proveniente da un trasmettitore viene completamente bloccato. L'unica informazione per stimare la posizione rimane quindi quella del segnale proveniente da altre unità. Alcune sistemi sono quindi dotati di tecniche in grado di calcolare la posizione anche in presenza di informazioni incomplete.
- **Scalabilità:** la scalabilità di un sistema assicura il suo normale funzionamento anche quando la sfera di applicazione diventa più grande. Solitamente, le prestazioni nel calcolo della posizione degradano con l'aumentare della distanza tra il trasmettitore e il ricevitore. Un sistema può avere la necessità di scalare sui due assi: geografico e densità. Il primo indica l'area o il volume da coprire mentre il secondo il numero di unità da localizzare in una determinata area in un certo lasso di tempo. L'aumentare di questi due fattori può portare a problemi di congestione del segnale wireless, a maggior calcoli da effettuare e alla necessità di infrastrutture più performanti.
- **Costo:** il costo di un sistema di posizionamento può dipendere da diversi fattori. Quelli più importanti includono denaro, tempo, spazio, peso ed energia. Il fattore temporale è legato ai tempi di installazione e di manutenzione. A volte è consigliato considerare l'infrastruttura già presente all'interno dell'ambiente. Ad esempio, un sistema che viene dispiegato su una rete già esistente non richiede costi aggiuntivi a livello di hardware se le unità necessarie sono già state acquistate in precedenza. Un altro fattore da tenere in considerazione è il consumo di energia delle varie unità, alcune di queste sono totalmente passive (tag RFID passivi che verranno successivamente trattati) rispondendo solamente a campi esterni e sono caratterizzate da un'autonomia illimitata, altre invece sono caratterizzate da autonomie molto limitate dell'ordine delle ore (smartphone e tablet).
- **Sicurezza:** con sicurezza si intende il pericolo che i dati inviati tramite il sistema vengano violati o acceduti da terzi.



## Capitolo 2

# Quadro delle tecnologie utilizzate per il tracciamento

In questo capitolo verranno analizzate le principali tecnologie utilizzate al giorno d'oggi nel tracciamento indoor, dettagliando per ognuna di esse i vantaggi e le caratteristiche principali che le differenziano dalle altre. Tutte le tecnologie analizzate sfruttano segnali radio per l'emissione del segnale e possono quindi utilizzare le tecniche trattate nel capitolo precedente per ottenere la posizione di un oggetto all'interno di un ambiente chiuso.

### 2.1 WiFi

Un sistema di tracciamento indoor che utilizza il WiFi può funzionare utilizzando qualsiasi delle tecniche indicate nei paragrafi precedenti. Rispetto alle altre tecnologie, ha il vantaggio di poter fornire da subito il valore aggiunto della connessione ad internet. Il suo funzionamento richiede la presenza di access point fissi che forniscono una posizione conosciuta, di device dotati di antenna wifi capace di captare il loro segnale e di un data service che calcoli e tenga traccia della posizione. L'identificazione del dispositivo avviene tramite il suo indirizzo MAC(Media Access Control). Nel momento in cui il WiFi del dispositivo viene acceso, questo andrà automaticamente alla ricerca di reti wifi. L'access point può registrare la presenza dei dispositivi nel proprio raggio anche se non sono collegati a quest'ultimo, in quanto questi dispositivi effettuano broadcast del proprio identificativo.

**Accessibilità** Gli access point wifi possono essere inaffidabili, sconvenienti e mal posizionati. Il costo di installazione risulta relativamente elevato, il che comporta una limitata flessibilità. La capacità di questi sistemi di riconoscere

dispositivi è limitata, in particolare per i dispositivi Apple, in cui la funzionalità di broadcast dell'indirizzo MAC univoco è stata disabilitata nel 2016 per questioni di privacy.

**Sicurezza** A differenza del gps e della tecnologia ble, i dati vengono trasmessi effettivamente su una rete wifi, ciò significa che un attacco alla rete può compromettere anche il sistema di tracciamento. Quindi la sicurezza è fortemente legata a quella utilizzata dalla rete internet.

**Costo** Il costo dipende molto dall'ambiente in cui il sistema deve essere installato. Se la struttura è già dotata di un sistema di access point adeguato, il wifi rappresenta una soluzione a costi molto contenuti, soprattutto se il sistema non richiede una valutazione precisa della posizione o se la localizzazione è richiesta in una zona limitata. Viceversa, se è richiesto un elevato livello di accuratezza o si richiede di registrare anche il movimento, aumenta in numero di access point richiesto di conseguenza la complessità e il costo del sistema.

## 2.2 RFID

RFID (Radio Frequency IDentification) è una tecnologia di comunicazione wireless che utilizza onde radio per identificare e tracciare oggetti. Parte dal concetto di barcode che estende con più informazioni tridimensionali e capacità di tracciamento attive. È un sistema di molto diffuso nella grande distribuzione, logistica e gestione di inventari grazie alla capacità di identificare più elementi in contemporanea senza la necessità di essere in linea visiva diretta (come nel caso dei barcode). Un sistema RFID è composto da tag, lettori che comunicano tra loro utilizzando onde radio e data service che elabora i dati. Il costo è molto variabile in base al tipo di funzionalità e dai diversi tipi di tag e lettori. Non potendo coprire tutte le variabili di un sistema RFID discuteremo di quelle principali.

Il metodo di posizionamento più usato nel caso di utilizzo di tecnologia basata su RFID è il principio di prossimità, conosciuto anche come CoO (Cell of Origin), con il quale ad esempio il sistema indica la presenza di una persona che indossa un tag RFID passivi con l'utilizzo di ricevitori posizionati in prossimità delle porte. In questo modo però, la precisione di un sistema RFID dipende fortemente dalla densità dei lettori impiegati e dal loro maximal-reading-range, ovvero il massimo raggio di lettura. In alternativa, può essere usato il metodo RSSI per una stima grossolana, in abbinamento con le altre tecniche precedentemente descritte, come la multilaterazione.

### 2.2.1 TAG

Un tag è comprensivo di un chip che immagazzina di dati identificativi e antenne che trasmettono i dati contenuti in esso, variano in base al tipo di applicazione e possono dettare in gran parte l'affidabilità del tag. I sistemi RFID generalmente operano in una delle frequenze descritte nella tabella sottostante. La frequenza impatta sulla velocità di lettura del tag, affidabilità (sensibilità alle interferenze) e costo.

RFID Frequency	Band	Range	Tag Cost (approx)	Considerations	Typical Use
Low Frequency (LF)	30 KHz - 300KHz	Short range; ~10cm	50¢ - \$2	Slower read speed but low sensitivity to radio wave interference	Access control; livestock trading
High Frequency (HF)	3 - 30 MHz	10cm - 1m	50¢ - \$2	Moderate sensitivity to interference	Ticketing, Payment and Data Transfer
Ultra High Frequency (UHF)	300 MHz - 3 GHz (typical is 860 - 960MHz band)	up to 12m	1¢ - 15¢	Single global standard Fastest read speed Most subject to interference	Inventory management, anti-counterfeiting, wireless device configuration
Active RFID Tags (UHF)	300 MHz - 3 GHz (typical is 860 - 960MHz band)	up to 100m	\$15-\$50	Emit their own signal every 30 seconds	Large containers, railway cars, transportation systems

Figura 2.1: Tipologie tag RFID

I tag si dividono in 3 categorie principali:

- **Attivi:** sono più costosi e alimentati a batteria, possono fare broadcast del proprio segnale fino a 100 metri. Questa loro caratteristica permette ai lettori di trasmettere segnali molto bassi, e ai ricevitori di rispondere con segnali molto elevati. Un tag attivo può avere inoltre funzionalità aggiuntive come memoria interna, sensori o moduli per la crittografia
- **Passivi:** non richiedono una sorgente di energia in quanto vengono alimentati dal lettore. Hanno un costo notevolmente ridotto ma funziona-

lità limitate. Il funzionamento prevede l’invio di un segnale opposto a quello ricevuto dal lettore (backscattering).

- **Ibridi:** comunicano con il read come quelli passivi ma integrano una batteria interna che alimenta costantemente il loro circuito.

### 2.2.2 Lettori

Un lettore RFID è un dispositivo che fornisce la connessione tra i dati contenuti nel tag e il software che necessita dell’informazione. Il lettore comunica con i tag che sono presenti nel suo raggio di azione, raccogliendo dati da essi e passandoli ad un computer per processarli. Come per i tag, sono presenti diversi tipi di lettori che variano in base al costo e alle capacità.

Reader Type	How it works	Typical Uses	Approx. Cost
Handheld	Passive RFID handheld readers. A human being waves the scanner near assets	Manual auditing of a location, data center rack, etc.	~\$3,000 each
Fixed Position	Portal readers installed in a doorway that detect assets moving through	Events and ticketing (e.g. ski-lift passes, transport smart cards)	~\$10,000-20,000 per portal for hardware, installation and configuration
Active RFID readers	Zonal readers that cover about 3,000 square feet detecting active RFID tags in their zone	Railway/ cargo hubs, distribution warehouses	~\$1,250-\$1,500 each
Active RFID Rack/Room Locators	Work in conjunction with Active RFID readers to report the precise rack or room location of the active RFID-tagged asset	Micro-location positioning; retail, amusement parks, etc.	~\$150-\$200 each

Figura 2.2: Tipologie lettori RFID

**Accessibilità** Gli RFID sono una soluzione molto potente ma anche una delle più difficili dal punto di vista dell’accessibilità. Tipicamente installare un sistema di questo tipo richiede un hardware di base che include tag, lettori, controllori di lettori (reader control) e un applicativo software. Inoltre è

molto importante una prima fase di studio e pianificazione oltre a una nuova infrastruttura per gli emettitori e i ricevitori. Un fattore da tenere in considerazione la compatibilità con i device mobili. Per poter lavorare con RFID è richiesta una combinazione di hardware e software capace di processare segnali a specifiche frequenze. I principali produttori di smart device hanno deciso che il valore aggiunto al consumatore non giustifica il costo e la complessità non implementando questi sistemi al loro interno.

**Accuratezza** L'accuratezza di un sistema RFID dipende dal tipo di tag, antenna e dai lettori utilizzati, ma è possibile identificare fino a 1000 tag per secondo con una precisione di lettura del 100%. I fattori principali che impattano questo fattore sono:

- *Frequenza*: più alta è la frequenza più aumenta la sensibilità alle interferenze
- *Antenne dei tag*: molti tag sono dotati di una coppia di antenne per eliminare le "zone morte" legate all'orientamento del tag. Alcuni tag possono anche essere ottimizzati per una certa banda di frequenza al fine di migliorare le prestazioni.
- *Lettori e antenne dei lettori*: sistemi che funzionano a corte distanze hanno un raggio di lettura limitato e sono quindi meno soggetti a interferenze. Sistemi che invece devono funzionare a distanze maggiori possono effettuare lettura a diverse decine di metri ma hanno una comunicazione più debole.

La grande maturità e il range di opzioni messi a disposizione dai sistemi RFID li rendono adatti a qualsiasi utilizzo, ovviamente al prezzo di un costo considerevole.

**Sicurezza** Grazie alle soluzioni di sicurezza dello standard IP, la comunicazione tra i lettori e la rete è sicura. L'unico fattore da tenere in considerazione riguarda la comunicazione tra lettori e tag. Diversamente dai beacon che trasmettono solamente un identificatore, RFID trasmette dei dati relativi al prodotto (EPC o Electronic Product Code). Minacce alla sicurezza dei dati sono presenti nella forma di falsi tag, reader non autorizzati e attacchi da canali secondari (intercettando dati del lettore da un device non autorizzato). Poiché UHF RFID opera in un singolo standard globale (generazione 2), sono state costruite misure di sicurezza su tutti i tag che operano a questa frequenza come il mascheramento del numero EPC e dei "kill commands" che permettono di disattivare tag interrompendo la trasmissione di dati. Nonostante ciò, questa

tecnologia ha ricevuto critiche per la debole criptazione, protezione delle password e mancanza di un identificatore per lettori e tag. Questo forte pressione che sta avendo probabilmente è dovuta alla diffusione dell’NFC (Near Field Communication), diventata la tecnologia di riferimento per l’effettuazione dei pagamenti e per soluzioni di ticket. Lo standard della generazione 3 degli UHF RFID dovrebbe portare ad un ulteriore miglioramento delle misure di sicurezza.

**Costo** Le soluzioni RFID sono molto variabili e di conseguenza lo è anche il costo. Quest’ultimo ha subito un calo negli ultimi anni (dovuto a un incremento del loro utilizzo), ma l’impiego maggiore si ha ancora per le operazioni ad alto volume. Nel caso del tracking degli inventari, ad esempio nei grandi magazzini e nei centri commerciali, è senza dubbio la soluzione più economica. Tag passivi possono avere un prezzo inferiore al centesimo e i lettori che funzionano a frequenze molto elevate possono processarne oltre mille al secondo. Se il monitoraggio deve invece avvenire per oggetti di grandi dimensioni o per persone sono preferibili altre soluzioni. Il costo di un tag attivo si aggira intorno ai 10 \$. Possono però operare a frequenza più basse, riducendo il rischio di interferenze. Di contro, l’infrastruttura dei reader per i tag attivi risulta molto più costosa. Un singolo reader può arrivare a costare fino a 1500\$ mentre nel caso di un sistema BLE uno smart device economico ne costa 50. Questi sistemi possono quindi essere efficienti per la navigazione indoor ma l’infrastruttura necessaria sarà estremamente costosa.

## 2.3 Ultra Wide Band

UWB è una delle tecnologie per più recenti, accurate e promettenti tecnologie per il tracciamento indoor.

**Accuratezza** Pensata per lo scambio di dati su breve distanza, basa il proprio funzionamento sullo scambio di impulsi digitali tra sorgente e ricevitori a intervalli estremamente brevi e regolari. Ciò che la differenzia da altre tecnologie di scambio dati wireless è la sincronizzazione precisa tra chi invia i segnali e i nodi che li ricevono. Questa necessità di coordinamento tra antenna sorgente e ricevente ha due conseguenze pratiche degne di nota: da un lato, lo scambio di impulsi digitali tra sorgente e ricevente è molto frequente permettendo la condivisione anche istantanea di grosse moli di informazioni (le applicazioni più recenti dell’UWB riescono a trasmettere dati alla velocità di oltre 1 gigabit al secondo); dall’altro è possibile misurare con estrema precisione il tempo di

transito (ToA) delle informazioni, permettendo di calcolare con uno scarto di centimetri la distanza che separa l'antenna che trasmette da quella che riceve.

**Affidabilità** A differenza di altre tecnologie wireless che operano su bande di frequenze ben definite, l'UWB può operare su tutte le frequenze che vanno dai 3,1 ai 10 GHz. Lavorando anche su frequenze molto elevate, è in grado di attraversare muri e altri ostacoli senza grossi problemi. La maggior frequenza della radiazione emessa accorcia la lunghezza d'onda e fa crescere la capacità della radiazione stessa di attraversare oggetti con consistenza fisica. Questo però ne riduce fortemente il campo di azione: la qualità del segnale degrada velocemente e per garantire le stesse performance su larga scala è necessario il posizionamento di diversi ripetitori di segnale. Inoltre, questa tecnologia è difficilmente distinguibile dal rumore di fondo poichè su ogni frequenza utilizzata la potenza di segnale è molto bassa (l'uso di corrente è infatti limitato a pochi decimi di watt), tanto da rendere difficile la distinzione da emissioni elettromagnetiche di altri dispositivi. La brevità degli impulsi emessi contribuisce a diminuire sensibilmente il fenomeno delle interferenze auto-prodotte: interferenze dovute al segnale che rimbalza su una superficie andando poi a sovrapporsi al segnale principale, rendendolo meno chiaro.

**Costo** A differenza di tecnologie come il wifi e il bluetooth, quella dell'ultra wideband non gode della compatibilità con dispositivi e infrastrutture già presenti sul mercato. Per mettere in piedi un sistema di questo tipo è necessario quindi l'acquisto di materiale specifico composto da tag e antenne da posizione in punti fissi. I costi da sostenere sono quindi maggiori rispetto ad altre soluzioni, ma giustificati nel caso in cui si voglia raggiungere un'elevata precisione.

## 2.4 Beacon

Un beacon è un piccolo dispositivo wireless solitamente alimentato a batteria che utilizza la tecnologia del Bluetooth Low Energy per notificare la sua presenza o altri servizi. Fa ciò effettuando ripetutamente broadcast di pacchetti Bluetooth contenenti un identificatore a tutti i device compatibili nelle vicinanze. I dispositivi che ricevono il segnale possono utilizzare queste informazioni per determinare la propria posizione e agire di conseguenza. I beacon sono generalmente utilizzati per applicazioni basate sulla prossimità. Monitorando i beacon, un dispositivo può rilevare quando è entrato o uscito da una particolare area e usare queste informazioni per creare un'esperienza interattiva basata su ciò che ha vicino.



Figura 2.3: Alcuni esempi di beacon

## 2.5 Due modelli di utilizzo

Un sistema di tracciamento può operare in due modalità che differiscono per il ruolo svolto dal beacon viene utilizzato e per i ricevitori utilizzati. La differenza tra questi due modelli si ripercuote sul prezzo, la complessità e la precisione che può raggiungere il sistema.

- **Modello Gateway - Beacons:** Questa modalità utilizza dei Gateway wireless fissi che monitorano i beacon posizionati su oggetti o persone che si muovono o attraversano una determinata area. Le informazioni ottenute sono poi inviate ad un data service tramite una connessione wireless o cablata che si occuperà della loro elaborazione. In questo caso aumentando la quantità di ricevitori presenti nell'ambiente si potrà avere un'accuratezza maggiore, aumentando di conseguenza costo e complessità del sistema. Questa soluzione rappresenta la scelta obbligata quando è necessario tracciare una grande mole di oggetti.
- **Modello Beacons - Mobile Device:** In questa modalità di tracciamento i beacon vengono posizionati in posizioni statiche all'interno dell'ambiente. Il rilevamento viene effettuato da dispositivi mobili come

smartphone e tablet con installata un'applicazione che affettua continuamente scansioni associando la prossimità ad uno o più beacon ad una certa posizione. Questa soluzione risulta particolarmente vantaggiosa quando bisogna tracciare la posizione di persone "esterne" all'ambiente (come ad esempio clienti di un centro commerciale che possono utilizzare direttamente il proprio dispositivo) o quando è possibile utilizzare device già presenti.

**Accessibilità** In un sistema di localizzazione i beacon rappresentano gli emettitori di segnale. Sono solitamente alimentati a batteria, possono essere posizionati su qualsiasi superficie e configurati da un'app mobile, rendendoli altamente scalabili e portabili. Inoltre, operando con una versione a basso consumo del Bluetooth, il BLE, possono durare anni con una singola carica. Diversamente da sistemi universali come il GPS, è richiesta l'installazione e la manutenzione per la sostituzione delle batterie o dei beacon stessi. Un grande vantaggio dei sistemi che utilizzano beacon è il fatto di poter utilizzare device mobili come ricevitori. E siccome questi dispositivi sono ormai onnipresenti (anche in aree remote e in paesi in via di sviluppo), la rete dei ricevitori è altamente accessibile.

**Accuratezza** I beacon operano alla frequenza dei 2.4 GHz che è quella comunemente usata dalle reti wifi. Come tutti i segnali radio ad alta frequenza, l'affidabilità del segnale Bluetooth viene influenzato dall'ambiente. Data la loro grande flessibilità, i problemi relativi alla "line of sight" e alla ricezione del segnale che solitamente porta ad un calo considerevole dell'accuratezza di altri sistemi può essere compensata alterando la rete di beacon semplicemente manipolando i beacon già presenti o aggiungendone di nuovi. Il raggio dei beacon può essere configurato per proiettare il segnale ad una distanza che va dai 3 ai 50 metri circa (valori che variano anche in base al tipo di beacon).

**Sicurezza** Siccome questi beacon trasmettono segnali in uscita, non c'è alcun rischio di sicurezza intrinseco nella trasmissione. Il rischio risiede nelle app e quindi nei dispositivi che utilizzano questi segnali, non sono quindi migliori o peggiori rispetto ad altri sistemi per il posizionamento che comunicano attraverso dispositivi mobili. Un loro punto di forza rimane quello della privacy. A differenza del Wifi che è in grado di rilevare la presenza di individui senza consenso, i beacon permettono all'utente di controllare e gestire le proprie impostazioni attivando o disattivando il Bluetooth e i servizi di posizione. E le autorizzazioni vengono richieste all'utente quando effettuano il download dell'applicazione. Un comune concetto erraneo è quello che i beacon stessi traccino e immagazzino informazioni riguardante la posizione dei device. Infatti

la maggior parte dei beacon effettua solo trasmissione di segnale, senza ricevere o immagazzinare alcuna informazione, l'immagazzinamento delle informazioni può essere invece effettuata dal dispositivo o infrastruttura ricevente.

**Costo** I costi principali associati ad un sistema beacon sono: l'hardware (incluso i costi di installazione), il data service e i ricevitori.

I beacon sono relativamente economici, possono costare intorno ai 5-30 dollari in base al volume richiesto e questo costo è destinato a calare sensibilmente una volta che questa tecnologia sarà maturata. Infatti un report dell'ABI Research indica un totale di 60 milioni di unità per il 2019 con ricavi di 500 milioni, quindi 8\$ per beacon. Il numero di beacon richiesti dipende dalla grandezza dell'ambiente e il range richiesto. Per un'azienda è più costoso del GPS ma meno dei reader RFID o access point Wifi. Il costo dei ricevitori o device dipende dal caso d'uso. Per usi di tipo consumer è generalmente nullo perché vengono usati solamente smart devices già esistenti. Per situazione enterprise, è possibile preferire fornire i device agli impiegati o nel caso in cui la quantità di beacon sia molto elevata, utilizzare infrastrutture che utilizzano dei gateway come ricevitori. Altre spese sono quelle relative all'app mobile, integrazione con altri sistemi o licenze.

# Capitolo 3

## Beacon

Nel seguente capitolo si approfondirà maggiormente la tecnologia del beacon introdotta nel capitolo precedente.

### 3.1 Introduzione al Bluetooth Low Energy

Il Bluetooth SIG (Special Interest Group) annunciò la versione 4.0 del Bluetooth nel 2009 introducendo con essa il protocollo BLE, pensato appositamente per l'IoT. Il BLE rappresenta un notevole salto in avanti rispetto al Bluetooth BR/EDR (Basic Rate / Enhanced Data Rate) o Bluetooth Classico, introdotto negli anni 90 ed usato oggi in moltissimi dispositivi. L'obiettivo del BLE era quello di definire una nuova versione che potesse operare per anni con una batteria a grandezza di moneta e potesse meglio adattarsi all'invio di piccoli quantitativi di dati in maniera discretizzata. Come il Bluetooth Classic anche il BLE utilizza la banda 2.4 GHz e la tecnica del salto di frequenza, che divide il segnale su più canali. Ma a differenza del br/edr utilizza 40 canali a 2 MHz di ampiezza al posto di 79 da 1 MHz. Di conseguenza le due versioni sono incompatibili. I dispositivi che supportano entrambe le tecnologie fino a marzo 2016 era definiti Bluetooth Smart Ready. La maggior parte dei dispositivi mobili, tablet e altri ricadono in questa categoria. BLE riduce la latenza al 10% di quella del classic e introduce l'abilità di fare broadcast di dati. Il risparmio energetico è dato anche dalla durata della sleep mode: diversamente dal Bluetooth Classic, il BLE rimane costantemente in questa modalità fino a quanto non avviene la connessione. I tempi di connessione sono solamente di pochi ms, diversamente dal Classic che ne impiega a centinaia. La ragione di connessioni così brevi è dovuto al piccolo quantitativo di dati trasmesso. In sintesi, le tecnologie Bluetooth e Bluetooth Low Energy sono utilizzate per scopi molto differenti. Il primo può gestire una mole di dati superiore, ma consuma batteria molto più velocemente e ha costi maggiori,

è tutt'ora il protocollo scelto per lo streaming di musica o voce. Il secondo è invece utilizzato per applicazioni che non richiedono lo scambio di grandi quantitativi di dati, e possono quindi funzionare a batteria per anni a costi minori, meglio adattandosi a sensori wireless e applicazioni di controllo.

### 3.1.1 GATT Profile

Il SIG (Special Interest Group), l'ente che sovrintende lo sviluppo degli standard Bluetooth e la concessione in licenza delle tecnologie e dei marchi Bluetooth ai produttori, ha anche semplificato l'utilizzo della tecnologia del BLE utilizzando il profilo GATT (Generic Attribute), una lista strutturata che definisce servizi, caratteristiche e attributi di una data applicazione, indicando come deve avvenire il trasferimento dei dati. I profili GATT possono utilizzare servizi definiti dal SIG o servizi personalizzati definiti dall'OEM. Ogni servizio del profilo GATT è contraddistinto da un Universally Unique Identifier (UUID) che può essere di 16 bit nel caso di servizi adottati dal SIG o 128 bit per servizi definiti dallo sviluppatore. Un beacon può includere servizi multipli. Quando deve essere eseguito l'advertise di un servizio, viene effettuato broadcast dell'UUID di quest'ultimo nel pacchetto di advertising. Successivamente, quando uno scanner Bluetooth riceve il pacchetto di advertising, l'UUID viene registrato dal sistema operativo e indirizzato verso una specifica applicazione che intraprenderà le azioni ad esso associate.

## 3.2 L'advertising packet del BLE

3 dei 40 canali utilizzati dal ble (37, 38 e 39) sono riservati per il broadcast degli "advertising packets" che contengono informazioni sulle funzionalità dei nodi. Questi pacchetti sono posizionati strategicamente in frequenze tra i 3 canali dei WiFi a 2.4 GHz per evitare interferenze con esso. I beacon operano traendo vantaggio dall'abilità del Bluetooth di fare broadcast di pacchetti con un piccolo quantitativo di dati personalizzabili integrati nei suoi 3 canali di advertising. Uno scanner BLE effettua scansioni per questi pacchetti con una certa frequenza per poi decodificarli per ricavarne il contenuto ed eseguire le azioni appropriate. Sia gli advertising packet che i pacchetti di dati utilizzano lo stesso formato (Fig.3.1). I beacon seguono il formato standard per l'advertising packet, ma formattano la parte di payload seguendo una struttura predefinita in base allo pseudo-standard utilizzato. Questo permette all'OS di trattare l'advertising packet del Beacon in modo diverso da altri advertising packet.

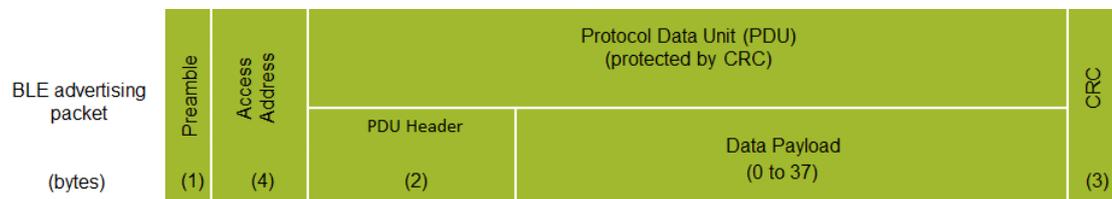


Figura 3.1: Il formato del pacchetto BLE è lo stesso per i pacchetti di dati e quelli di advertising

I dispositivi BLE trasmettono i pacchetti di advertising con un intervallo selezionabile che può variare dai 20 ms fino a diversi minuti. Lo stesso pacchetto viene inviato in tutti e 3 i canali ogni volta che il dispositivo effettua advertising, rendendo più probabile che il pacchetto venga ricevuto dallo scanner. All'interno del pacchetto, il payload è strutturato in una o più terzine:

- *Campo lunghezza*: definisce la dimensione combinata dei due campi successivi.
- *Campo tipo*: indica il tipo di dato. Può essere un nome, un UUID, un URI o altro.
- *Il pacchetto dati stesso*

La frequenza utilizzata è un compromesso tra consumo energetico e latenza dell'applicativo. In un'applicazione più convenzionale che non fa utilizzo dei beacon, l'advertising packet fornisce informazioni identificative circa il servizio e sono seguite da un periodo in cui l'emettitore resta in ascolto per richieste di connessione da scanner che vogliono accedere a questi servizi. Per applicazioni che utilizzano i beacon tipicamente vengono utilizzati metodi di comunicazione non collegabili, utilizzando la tecnica fire-and-forget: fornire tutte le informazioni utili nell'advertising packet stesso, utilizzando quindi solo una parte della classica comunicazione Bluetooth.

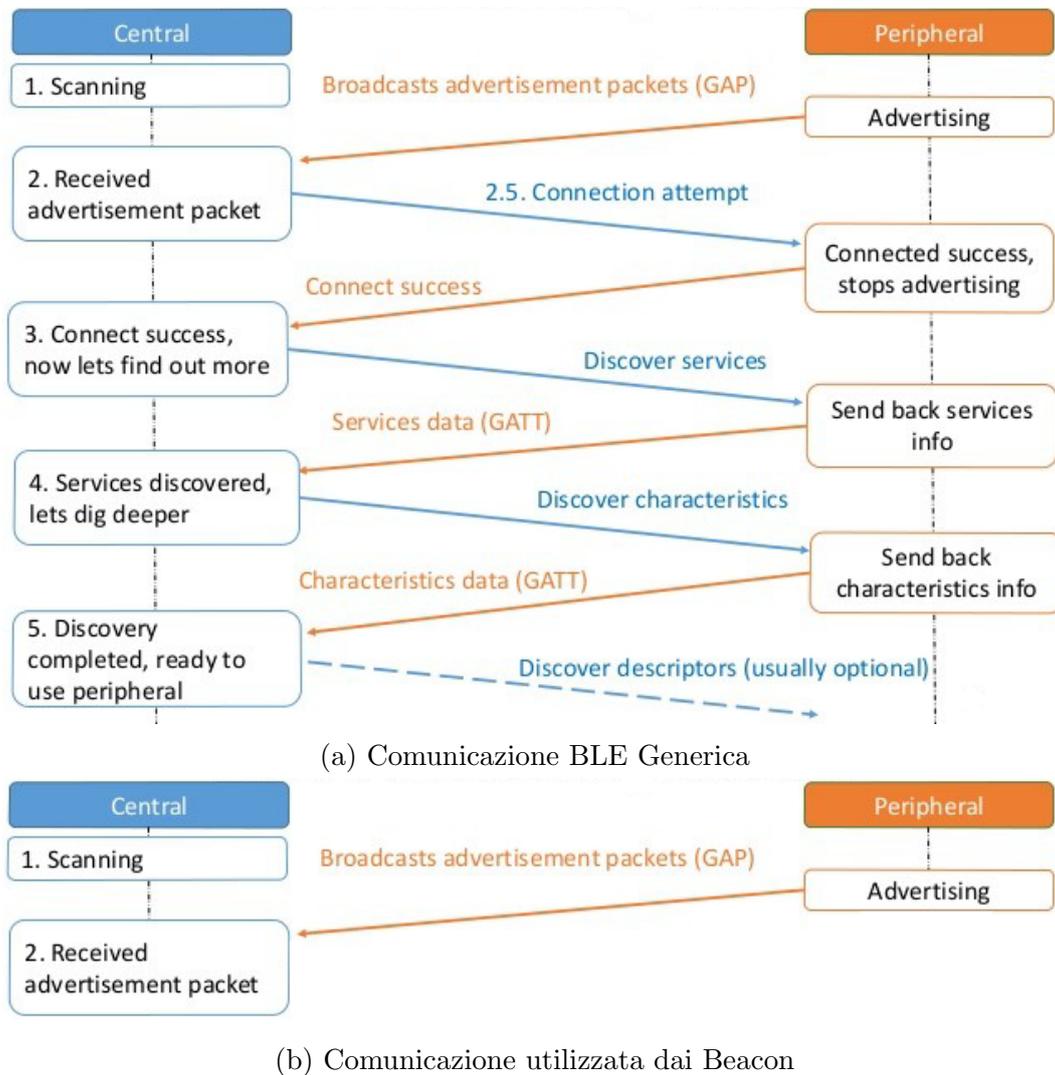


Figura 3.2: Differenze tra comunicazione BLE e quella Beacon

In Fig.3.2 viene mostrata la differenza tra la comunicazione BLE dei beacon e quella classica. Non essendo in ascolto di segnali radio, l'antenna dei beacon può essere disattivata immediatamente dopo l'emissione del segnale, estendendo così l'autonomia. È importante far notare che alcune applicazioni che lavorano con i beacon includono altri servizi GATT in aggiunta a quello del beacon, e questi servizi possono far convivere pacchetti di advertising non connettibili e connettibili. In questo caso il beacon esegue un ciclo di advertising più tipico con operazioni di trasmissione e ascolto.

### 3.3 Pseudo-Standard dei Beacon

I beacon portano la struttura del pacchetto BLE ad uno step avanti, definendo una sotto-struttura dentro il campo dati. Poichè non esiste un unico standard ufficiale Bluetooth rilasciato dal SIG per i beacon, tutte le loro implementazioni sono dette pseudo-standard, implementate da una o più compagnie e adottate da chi ne vuol fare uso. A seguire verranno elencati quelli principali, fornendo ulteriori dettagli sulla struttura dei pacchetti.

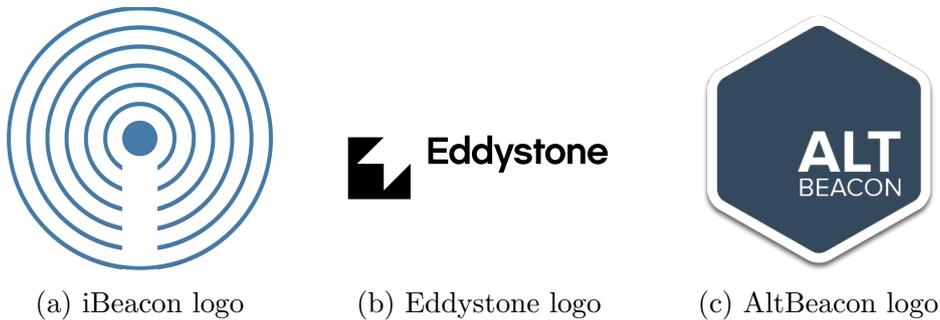


Figura 3.3: Principali pseudo-standard

#### 3.3.1 iBeacon

iBeacon è il termine introdotto da Apple, che fu una delle prime ad adottare questa tecnologia. I venditori che vogliono vendere prodotti che seguono questo standard o che utilizzano il logo iBeacon devono ottenere una licenza gratuita da Apple.

iBeacon specifica un pacchetto di 30 byte che deve essere inviato a intervalli di 100 ms (anche se i vari OEM non sempre aderiscono a questo requisito). La struttura del pacchetto è mostrata in Fig.3.4.

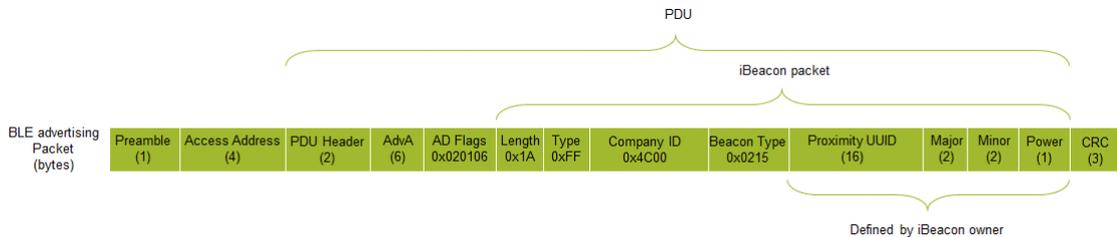


Figura 3.4: Advertising packet di iBeacon

- *Data Length*: la lunghezza del pacchetto dati, solitamente 26 byte
- *Data Type*: dati specifici del produttore

- *Company ID*: 2 byte che identificano dell'azienda produttrice
- *Beacon Type*: 2 byte che indicano il tipo di beacon, solitamente beacon di prossimità
- *Proximity UUID*: un valore di 16 byte impostato dal possessore del beacon
- *Mayor*: 2 byte che possono essere utilizzati per definire una sotto-regione all'interno della regione più ampia definita dall'UUID. Un esempio potrebbe essere quello di utilizzare questo campo per definire un particolare negozio di una catena. Un valore di 0 sta a indicare che non è ancora stato impostato.
- *Minor*: 2 byte che possono essere utilizzati per suddividere ulteriormente la regione definita dal campo Mayor. Ad esempio per indicare una particolare sezione all'interno del negozio identificato dal Mayor. Anche in questo caso un valore pari a 0 indica che il campo non è stato ancora impostato.
- *Measured Power*: un byte che indica la potenza di output a cui è stato impostato il Beacon, misurata in dBm alla distanza di un metro. Questo valore permette al dispositivo di migliorare l'accuratezza basandosi sull'RSSI (Received Signal Strength Indicator) dei pacchetti ricevuti. Questo valore è un intero a 8 bit, e tipicamente è negativo, in quanto solitamente il livello di potenza ricevuta è inferiore a 1 milliwatt

Le app iOS che utilizzano il Core Location Framework possono richiedere al sistema operativo di monitorare in continuazione gli eventi di una determinata regione come l'entrata o uscita dal una regione definita dall'UUID/Mayor/Minor di un Beacon. Questo monitoraggio avviene sia l'app sia un'esecuzione o no, e può anche innescare l'avvio di un'app se questa è chiusa. Questa funzionalità è utilizzabile solamente se l'utente ha abilitato i servizi di localizzazione.

### 3.3.2 Eddystone

Eddystone è un formato open-source e cross-platform introdotto da Google, supporta dispositivi Android e iOS. Diversamente da altri standard, definisce diversi tipi di frame che possono essere utilizzati individualmente o in combinazione:

- **Eddystone-UID** effettua broadcast di un ID univoco di 16 byte, suddiviso in un namespace identifier di 10 byte e un instance identifier di 6

byte, entrambi assegnati dal possessore del beacon. Il primo può essere utilizzato per identificare un determinato gruppo di beacon mentre il secondo identifica il singolo beacon all'interno del gruppo. La divisione in questi due componenti è stata fatta anche per ottimizzare le strategie di scansione BLE, ad esempio filtrando per il namespace.

- **Eddystone-URL** effettua broadcast di un Uniform Resource Locator (URI) compresso, in modo da poter essere contenuto all'interno dello spazio limitato messo a disposizione dall'advertising packet. Una volta decodificato, può essere utilizzato da qualsiasi client dotato di un accesso a internet.
- **Eddystone-TLM** può essere utilizzato per fare broadcast di dati di telemetria del beacon stesso, come stato della batteria, temperatura del dispositivo, conteggio dei pacchetti inviati.
- **Eddystone-EID** ideato per applicazioni che richiedono una maggior sicurezza. Effettua broadcast di un identificatore temporaneo criptato che cambia periodicamente con un periodo stabilito durante la configurazione iniziale. Questo identificatore può essere descritto utilizzando il servizio utilizzato per la configurazione, ma ad altri osservatori sembrerà cambiare randomicamente.

In Fig.5.4 sottostante viene mostrato il formato del pacchetto.

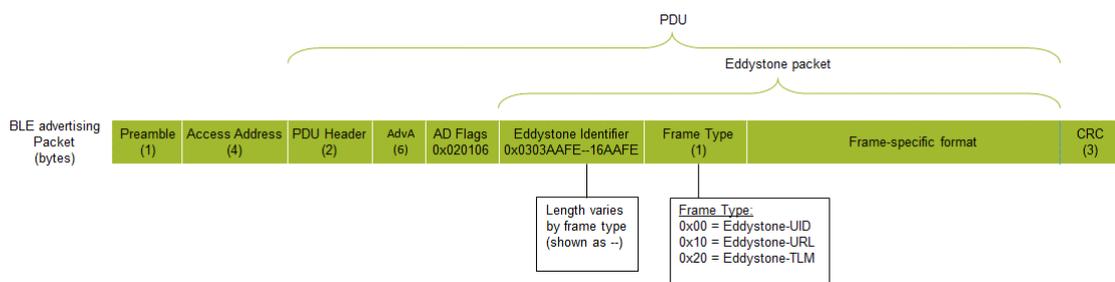


Figura 3.5: Advertising packet di Eddystone

- **Identifier:** composto da 8 byte che identificano il beacon, ogni frame Eddystone deve contenere la Complete List of 16-bit Service UUIDs e il Service Data 15-bit UUID

*Length* = 3 byte, uno per type, due per value, servono a rendere più facile trovare gli elementi successivi all'interno del pacchetto

*Type* = il type descriptor per Complete List of 16-bit Service Class UUIDs. Deve contenere l'Eddystone Service UUID del valore di 0xFEAA. Questo serve a permettere la scansioni in background ai dispositivi IOs.

*Value* = 16-bit Eddystone Service UUID

*Length* = lunghezza del campo successivo, anche qui 3 bytem uno per il tipo e due per il valore

*Type* = type descriptor per Service Data

*Value* = nuovamente Eddystone Service UUID

- **Frame Type:** indica il tipo di frame utilizzato(Eddystone-UID/URL/TLM)
- **Frame-specific format:** la rimanente parte dell'advertising packet può contenere altri frame Eddystone. Il tipo di frame è definito dal primo byte del Service Data.

### 3.3.3 AltBeacon

Le specifiche di questo standard sono state definite da Radius Network con l'intento di creare uno standard che fosse open-source e indipendente dall'OS che non favorisse alcun produttore in particolare. È possibile utilizzarlo senza alcuna licenza. Come per altri standard, utilizza pacchetti non-connectable e unidirezionali. Il formato di quest'ultimo è mostrato e descritto nella figura 5.5. La specifica corrente non definisce un particolare intervallo di scansione.

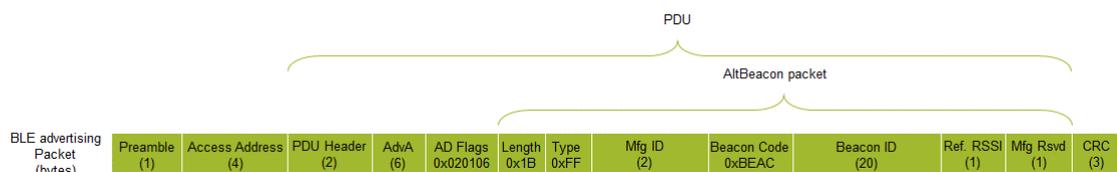


Figura 3.6: Advertising packet di AltBeacon

- *Length*: indica la lunghezza della parte di dati successiva, 27 byte
- *Type*: dati specifici del produttore
- *Manufacture ID*: due byte che indicano l'identificatore del produttore del beacon dal database del Bluetooth SIG
- *Beacon Code*: due byte che mantengono il codice di advertising dello standard AltBeacon

- *Beacon ID*: un valore di 20 byte che identifica univocamente il beacon. I primi 16 identificano univocamente l'azienda produttrice, composti da UUID di 16 byte e da due valori Major e Minor di 2 byte.
- *Reference RSSI*: un valore di un byte che indica la potenza media di segnale ricevuta a un metro dal beacon in un ambiente aperto. Il range va da 0 a -127
- *Manufacture Reserved*: un valore di un byte riservato all'uso a funzionalità che possono essere introdotte dal produttore.

## 3.4 Strumenti per l'interazione con i beacon

I beacon sono dispositivi che si adattano a molteplici utilizzi. L'unica azione che eseguono è il broadcast di pacchetti bluetooth. I ricevitori possono però sfruttare questa informazione per molteplici applicazioni. In questa sezione verranno trattati alcuni degli strumenti a disposizione degli sviluppatori per poter creare sistemi che utilizzino i beacon.

### 3.4.1 Strumenti del produttore

Le aziende che producono beacon solitamente forniscono anche una serie di strumenti per poterli configurare e creare applicazioni che interagiscano con essi.

- **Applicazione per la configurazione**: generalmente per device mobile, permette di configurare i parametri di emissione del segnale del beacon e tutte le informazioni trasmesse nel pacchetto BLE. Può essere scelto lo pseudo-standard da utilizzare, i vari identificatori trasmessi, la frequenza e la potenza di emissione del segnale, abilitare funzionalità di risparmio energetico (se presenti) ecc..
- **SDK**: permette di sviluppare applicazioni che utilizzino i beacon. Forniscono metodi per effettuare scansioni in background e foreground, ricevere informazioni telemetriche trasmesse dal beacon e tante altre funzionalità che variano in base al produttore e al tipo di beacon.
- **Rest API**: alcuni produttori come Kontakt ed Estimote, mettono a disposizione dei servizi cloud con cui poter associare dati ai beacon e delle api da utilizzare all'interno delle applicazioni per poter ricevere questi dati al momento della rilevazione.

- **Pannello Web:** un'interfaccia web da cui è possibile gestire tutta la flotta di beacon acquistati.

Quando vengono acquistati dei beacon, decidere di utilizzare gli strumenti forniti dal produttore ha il vantaggio di avere a disposizione una piattaforma sviluppata ad hoc per quel tipo di beacon e in grado di sfruttare appieno tutte le sue caratteristiche. Di contro, soluzioni di questo tipo solitamente non funzionano affatto con beacon di altre marche.

### 3.4.2 Google Beacon Platform

Google Beacon Platform è la piattaforma messa a disposizione da Google per poter operare con i beacon. Questa piattaforma è composta da diversi strumenti che permettono di associare dati a dei beacon e di attivare azioni sul dispositivo che li rileva. Queste azioni possono essere l'apertura di un sito web o di un'applicazione, la ricezione di notifiche o di informazioni di telemetria riguardanti il beacon. Verranno ora elencati i principali elementi di cui si compone questa piattaforma:

- **Applicazione Beacon Tools:** un'applicazione sviluppata da Google presente su Play Store e Apple Store che permette di registrare i propri beacon ad un account Google.
- **Standard Eddystone:** lo pseudo-standard per i pacchetti Bluetooth trasmessi da Google trattato nelle sezioni precedenti.
- **Google Beacon Dashboard:** piattaforma web con la quale è possibile gestire i beacon registrati, decidendo quali dati associare a ciascuno di essi.
- **Nearby Notifications:** è il componente per la scansione dei beacon della Google Beacon Platform. Fa parte dei Google Play Services ed è disponibile in tutti i dispositivi dotati di Android KitKat. È un servizio che può essere attivato quando l'utente ha abilitato i servizi di localizzazione e permette di ricercare automaticamente i beacon e scatenare notifiche a bassa priorità sul dispositivo quando vengono rilevati beacon nelle vicinanze. Queste notifiche possono avviare un'applicazione, portare alla sua pagina di download se questa non è installata o aprire un sito web.
- **Proximity Beacon API:** un servizio cloud che permette di gestire i dati associati ai beacon utilizzando un'interfaccia REST. Consiste in una rappresentazione REST della Beacon Dashboard. Un aspetto interessante di queste API è la possibilità di monitorare lo stato dei beacon da

remoto attraverso i dati telemetrici inviati dai beacon che implementano Eddystone-TLM. Questi dati vengono inviati automaticamente nella Google Beacon Platform dalle app che utilizzano le API Nearby.

Questa libreria ha lo svantaggio di essere progettata per restituire dati ad alto livello e non fornisce accesso a basso livello delle rilevazioni dei beacon (identificatori, livello di segnale registrato), solitamente non viene infatti utilizzata in applicazioni che effettuano il monitoraggio della posizione.

### 3.4.3 Apple Core Location API

Core Location è il framework di Apple che include servizi legati alla determinazione della posizione del dispositivo. Dal 2013 comprende anche funzionalità per l'interazione con beacon che seguono lo standard iBeacon (standard introdotto da Apple stessa). Questo strumento permette di monitorare un'area alla ricerca di beacon secondo due modalità:

- **Monitoring:** permette di notificare l'applicazione quando un dispositivo entra o esce da una regione definita da un beacon. Questa regione può essere specificata indicando l'UUID contenuto nell'advertising del beacon opzionalmente in combinazione con i valori di minor e mayor. Se l'applicazione non è in esecuzione quando si rileva un evento di entrata o uscita essa viene avviata in background e la notifica consegnata. Questa opzione non funziona se l'utente disabilita l'avvio delle app in background. Una volta ricevuta la notifica di entrata e uscita da una regione, l'applicazione può decidere l'azione da intraprendere.
- **Ranging:** consente di determinare la prossimità relativa ai beacon presenti all'interno di una regione e di notificare il dispositivo al variare di questa distanza. Questa funzione è consigliata solamente quando l'applicazione si trova in foreground. Quando un'app è in foreground, è probabile che il dispositivo si trovi nelle mani dell'utente, questo fa sì che ci siano meno ostacoli tra il device e il beacon con una conseguente precisione maggiore.

Tutti i dispositivi iOS che supportano la condivisione di dati utilizzando il Bluetooth Low Energy possono essere utilizzati come iBeacon. È una funzionalità che può essere utilizzata solo con l'applicazione in foreground, è consigliata solamente per scopi di test o per applicazioni che vengono eseguite solamente in foreground.

### 3.5 Autonomia

Come ogni prodotto, la combinazione della dimensione della batteria e consumo energetico ne determinerà l'autonomia. La dimensione della batteria a volte è dettata dal design del beacon, perciò deve essere fatto un compromesso tra autonomia e vincoli fisici sul prodotto finale. La potenza di trasmissione del beacon e l'intervallo di emissione del segnale giocano un ruolo importante nell'autonomia. Questi parametri determinano il raggio del segnale e l'accuratezza. Potenze di segnale elevate forniscono raggi maggiori e una larga area di copertura, ma richiedono un maggiore consumo energetico per ogni emissione. È anche da tenere in considerazione l'utilizzo dell'applicazione: beneficerà di un raggio maggiore? O è meglio avere prossimità limitata in un raggio di pochi metri? Come già spiegato in precedenza, il funzionamento del beacon avviene alternando periodi di emissione del segnale, in cui il consumo può raggiungere diversi milli-ampere, a periodi di deep sleep, in cui la richiesta di energia sarà nell'ordine delle micro-ampere.

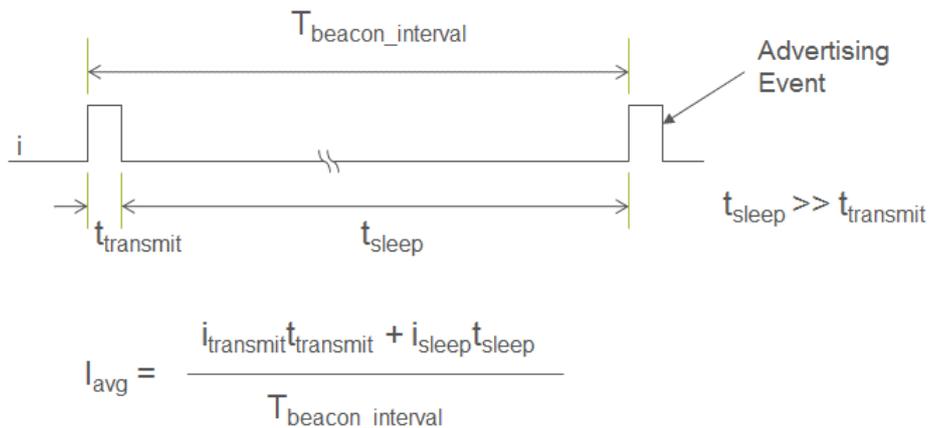


Figura 3.7: Determinazione dell'autonomia media di un beacon

In termini di performance, un intervallo di emissione piccolo comporta l'avere più eventi da catturare, fornendo una maggiore risoluzione del movimento e quindi una migliore accuratezza. Un intervallo maggiore comporterà invece una migliore autonomia ma meno opportunità per l'evento di essere catturato, specialmente nel caso in cui il ricevitore sia uno smartphone in movimento. L'intervallo di un beacon gioca un ruolo anche nel tempo di risposta dell'applicazione. Quando le applicazioni sono in background, il sistema effettua operazioni ad una frequenza minore, perciò un intervallo di emissione inferiore aumenta la possibilità di rilevamento.

## 3.6 Problemi di Privacy e Sicurezza

Recentemente sono state sollevate critiche sul fatto che i beacon traccino i nostri movimenti ovunque. In realtà, tipicamente i beacon non raccolgono dati in quanto effettuano solo broadcast. Forniscono però la facoltà allo smartphone di sapere quando è vicino ad un beacon conosciuto e in alcuni casi lo smartphone è a conoscenza circa la posizione del beacon. Lo smartphone traduce questa informazione per fornire servizi basati sulla posizione, attraverso un'app o il physical web, con risultati di ricerca contestuali. È importante notare che lo stesso smartphone può fornire gli stessi servizi basati sul gps, wifi o rete dati, perciò i beacon non espongono nuove preoccupazioni, ma le rendono solamente più diffuse. In tutti i casi, gli utenti possono semplicemente abilitare o disabilitare servizi basati sulla posizione. In maniera simile, sono state sollevate preoccupazioni sul rischio che essi rappresentano per i sistemi IT. Ma ciò implica capacità che i beacon non hanno. Il tipico beacon è un device standalone non connesso con alcuna rete, sia wireless o cablata. Ci sono comunque beacon progettati con infrastrutture di rete che hanno accesso alla flotta di beacon. In questi casi, il produttore fornisce lo stesso livello di sicurezza che fornirebbe a qualsiasi device collegato alla loro rete. Dal lato del beacon, il dato è, per come è stato progettato, inviato a tutti solo per essere ricevuto senza la necessità di essere criptato o protetto in alcun modo. In applicazioni che utilizzano i beacon dove la prossimità ha un valore tangibile, come nel caso di punti di ricompensa (reward point), gli OEM implementeranno sistemi di sicurezza contro lo spoofing dei beacon. Senza di essi, il beacon "finto" potrà ingannare il sistema scatenando eventi troppo frequenti alla persona sbagliata. Questi sistemi di sicurezza possono includere semplici timestamp per ogni evento di prossimità con un test per una frequenza improbabile o inanticipata, l'uso di ephemeral IDs o l'uso di chiavi di sicurezza generate con ogni evento di prossimità e validate dal sistema back-end.

In generale, la sicurezza non è un problema legato ai beacon in quanto sono per definizione dispositivi che effettuano solamente broadcast di segnale con l'intento di far ricevere il dato a chiunque sia in ascolto del segnale. Ma se il dispositivo include altri servizi interni come funzioni di gestione, allora questi servizi devono essere protetti e richiedono autenticazione prima di consentire l'accesso. In questi casi, il beacon userà le funzioni di sicurezza integrate nel protocollo Bluetooth (come pairing, autenticazione, criptazione) e altre misure di sicurezza implementate dal produttore come protezione delle password. Le funzioni di gestione del dispositivo più comuni sono usate per configurare il beacon durante la manutenzione, e l'accesso a questi servizi può essere limitato ad una ristretta finestra temporale dopo il reset del device. Dopo l'accesso la finestra sparisce e il dispositivo diventa un normale beacon che effettua

broadcast e non renderà più disponibile i suoi servizi interni.

### 3.7 Manutenzione e Installazione

Quando i beacon vengono installati sul campo, è spesso necessario per chi li installa configurare il beacon, per esempio stabilendo un valore di major/minor specifico o un id. Il miglior modo per fare ciò è di trarre vantaggio dall'interfaccia over-the-air. Ma esporre i servizi di configurazione al Bluetooth può creare un potenziale canale per l'accesso non autorizzato, e i pacchetti extra per la configurazione possono avere un impatto negativo sull'autonomia. Una semplice soluzione comunemente utilizzata è limitare questi servizi ad una ristretta finestra temporale dopo l'avvio, o dopo l'attivazione attraverso attuatori fisici come un bottone o uno switch. Durante la finestra di configurazione, il beacon può essere connesso (con appropriata autenticazione) in modo da poter consentire la scrittura dei dati di configurazione. Scaduto il tempo, si riconverte al solo broadcast di pacchetti, nascondendo i servizi di configurazione.

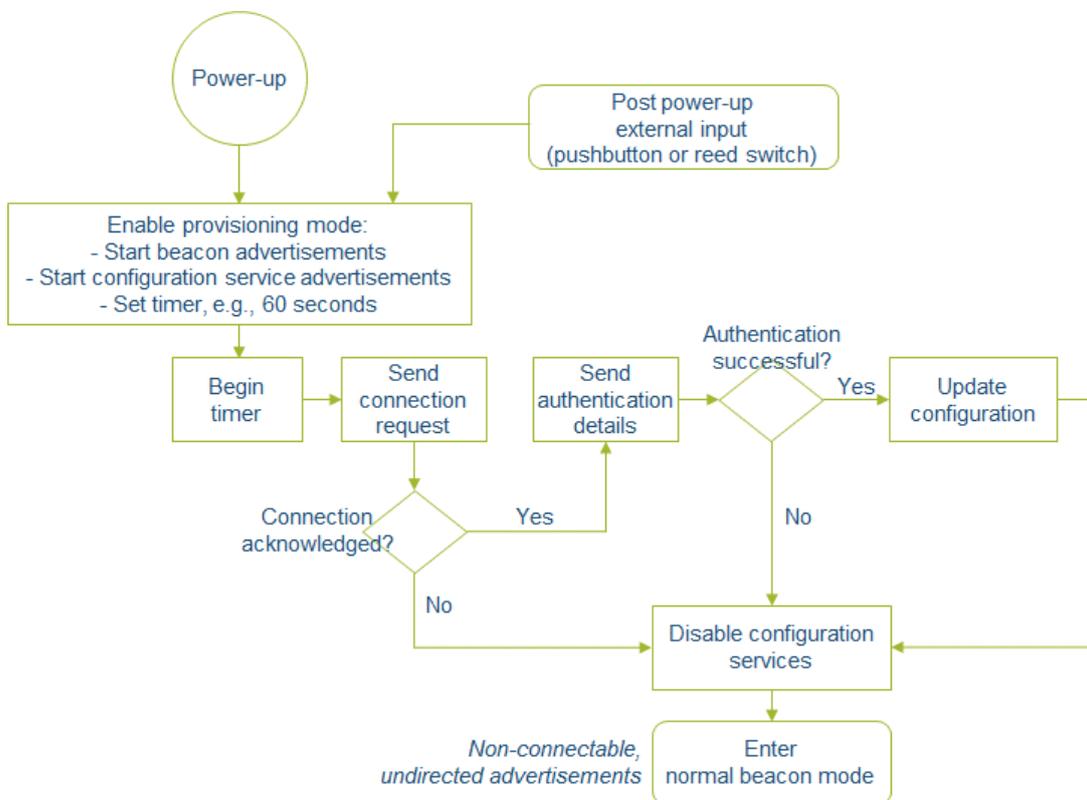


Figura 3.8: Flowchart della finestra di configurazione a tempo limitato

## 3.8 Sviluppi futuri: Bluetooth 5.0

Il Bluetooth 5.0 apre le porta a nuove applicazione IoT. Le nuove specifiche tecniche mostrano un miglioramento significativo rispetto alle versioni precedenti: 4x raggio, 2x velocità, 8x capacità di broadcast messaggi.

- **Dati:** uno degli aspetti di impatto maggiore è probabilmente quello relativo all'aumento della capacità di broadcast di messaggi. Per fare un confronto, il Bluetooth Low Energy era capace di inviare 32 byte, il Bluetooth 5 ben 251. Ma per beacon stazionari e per i tag di localizzazione l'impatto sarà minimo. I beacon hanno bisogno di inviare solo un piccolo quantitativo di dati e tutt'ora riescono ad essere gestiti senza alcun problema. Al contrario per i beacon telemetrici, più dati comportano più possibilità. Più sensori e più opzioni in termini di ciò che può essere monitorato apre la strada a nuovi utilizzi o a infrastrutture che prima non erano attuabili.
- **Range:** mentre il Bluetooth Low Energy può trasmettere fino a circa 70 metri, la versione 5 può arrivare fino a 140. Ovviamente questo valore è ancora influenzato ostacoli come muri e folla. Anche qua l'impatto nel caso dei beacon stazionari non è rilevante. Commercianti o proprietari di musei ad esempio non hanno la necessità di coprire una così grande distanza. Similmente anche per la navigazione indoor, dove le soluzioni solitamente utilizzano distanze inferiori ai 30 metri. Il vantaggio è invece presente per i tag di localizzazione dove un maggiore raggio porta richiede l'utilizzo di un numero inferiore di ricevitori.
- **Throughput:** l'aumento di velocità di trasmissione dei dati a prima vista sembrerebbe un fattore di poca importanza nel mondo dell'IoT. Questo perché la velocità non gioca un ruolo molto importante nelle applicazioni IoT e negli utilizzi che non comprendono streaming. Solitamente la quantità di dati trasmessa dai dispositivi è esigua e l'attuale standard risulta ampiamente sufficiente. D'altra parte, il consumo energetico è uno dei fattori preso maggiormente in considerazione e con il Bluetooth 5.0 i dati viaggiando al doppio della velocità riducono il tempo attivo della comunicazione fino alla metà diminuendo di conseguenza il consumo energetico e incrementando l'autonomia dei dispositivi.

Queste caratteristiche influenzeranno anche le tecnologie per la prossimità, grazie alla possibilità di inviare e ricevere più dati, più velocemente e ad una distanza maggiore.

Con la diffusione di tecnologie wireless sovrapposte, è anche importante che questi standard non interferiscono tra loro. Ma questa versione di Bluetooth è

stata rifinita per ridurre le interferenze. Questo nuovo standard espanderà le possibilità del settore smarthome. Anche tutti i sistemi RTLS basati su Bluetooth ne trarranno giovamento: farà la differenza nell'industria manifatturiera, logistica, settore ospedaliero e anche il retail.

# Capitolo 4

## Il caso di studio: Trauma Tracker

### 4.1 Il sistema Trauma Tracker

La gestione di un trauma di un paziente ferito inizia con il suo trasporto all'interno dell'ospedale per poi continuare nel dipartimento per le emergenze dello stesso. Un'adeguata e completa documentazione degli eventi critici, dei parametri vitali, esami fisici e risultati dei test durante la gestione di un trauma è un fattore critico per diverse ragioni. È stato dimostrato che una scarsa qualità della documentazione è associata a un'elevata percentuale di mortalità dato che i processi che portano al compimento delle decisioni e delle coordinazioni tra gli operatori dell'ospedale si basano su queste informazioni. Trauma Tracker è un progetto sviluppato dall'università di Bologna in collaborazione con il Trauma Center dell'ospedale Bufalini di Cesena a supporto delle operazioni del Trauma Team, il gruppo di persone che all'interno dell'ospedale si occupa di effettuare le prime cure al paziente non appena giunge al pronto soccorso in una situazione di emergenza. La sua funzionalità primaria è quella di tener traccia degli eventi rilevanti che accadono durante la gestione di un trauma. Questo con lo scopo di avere una documentazione accurata, di automatizzare la creazione dei report e di permettere l'analisi di tutti i dati raccolti in una fase successiva, utile per poter valutare le prestazioni e migliorare il lavoro del Trauma Team.

### 4.2 Struttura del sistema

Il sistema Trauma Tracker è strutturato secondo quattro livelli di utilizzo (vedasi Fig.4.1). Quello base abilita il supporto al trauma team permettendo

do di tracciare eventi come procedure o somministrazione di farmaci, senza riconoscere la stanza in cui questi eventi sono stati generati. In questa sezione gli eventi possono essere notificati al sistema solo attraverso l'interfaccia utente. Solamente questi dati e le informazioni temporali possono essere registrate automaticamente nel sistema, insieme alla possibilità di identificare il trauma leader. Le informazioni relative alla posizione possono essere inserite manualmente dal trauma leader per ogni procedura. Il livello successivo, "Basic Plus Level", supporta invece la rilevazione automatica della stanza in cui gli eventi sono stati generati, ed è qui che dovrà essere implementato il sistema di tracciamento.

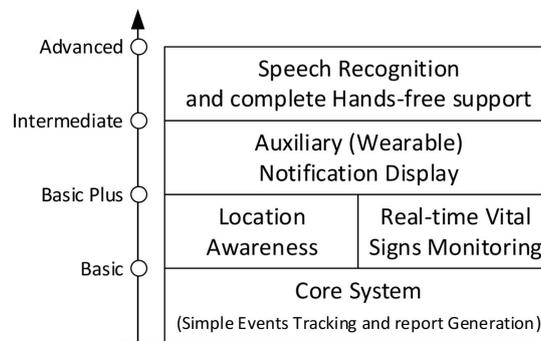


Figura 4.1: Livelli di utilizzo del sistema Trauma Tracker

### 4.3 Il tracciamento in Trauma Tracker

Il sistema permette quindi la registrazione di tutte le informazioni sulla somministrazione di farmaci o esecuzione di procedure, che devono però essere associate ad informazioni temporali (data e ora) e spaziali (posizione). La registrazione della posizione, nello specifico della stanza in cui si trova il paziente, serve non solo per fornire informazioni aggiuntive nei report e ma anche in un discorso completamente context-aware per variare il comportamento del dispositivo o del sistema stesso in base all'ambiente. Ad esempio la frequenza con cui vengono registrati i parametri vitali del paziente sarà diversa se quest'ultimo si trova in shock-room o nella stanza per la TAC. Attualmente queste informazioni vengono immesse manualmente all'interno del sistema attraverso un menu apposito che permette di scegliere la stanza corrente. Tuttavia, la necessità è quella di avere un sistema che sia il più autonomo possibile, in modo da richiedere un intervento minimo da parte del membro del personale che si occupa dell'inserimento dei dati, permettendogli di dedicarsi ad altre attività o di concentrarsi maggiormente sul paziente. È quindi necessario che il sistema rilevi in automatico la posizione corrente. Per far ciò è stato deci-

so di utilizzare la tecnologia del Bluetooth Low Energy applicato ai Beacon. I beacon costituiscono un'opzione dal costo contenuto, elevata accessibilità e flessibilità. Possono essere posizionati in qualsiasi superficie e funzionano con qualsiasi dispositivo che supporti lo standard BLE. Essendo parte del sistema Trauma Tracker in esecuzione su smartphone dotati di BLE e con sistema operativo android è possibile utilizzarli direttamente come ricevitori senza la necessità di mettere in piedi un'infrastruttura dedicata.

## 4.4 Obiettivi del progetto

L'esigenza finale è quella di integrare un sistema di tracciamento all'interno del contesto ospedaliero. Per far ciò è stato deciso di suddividere il progetto in due parti:

1. *Realizzazione di un'applicazione di monitoraggio* su piattaforma Android che permetta di effettuare il tracciamento di un dispositivo che si muove all'interno di un ambiente in cui sono stati posizionati dei beacon. Questo applicativo ha la funzione di permettere la progettazione e realizzazione del sistema senza lavorare direttamente su Trauma Tracker e di fornire tutta una serie di informazioni aggiuntive necessarie alla sua configurazione nell'ambiente target. I beacon pur essendo molto facili da installare all'interno di un ambiente richiedono di scegliere con cura sia la posizione in cui devono essere collocati, sia tutti i valori di configurazione del beacon stesso e dei lettori che vengono utilizzati, come raggio, potenza di trasmissione e frequenze del trasmettitore e del ricevitore. Questa prima applicazione rappresenta quindi sia una piattaforma in cui poter testare il sistema prima di integrarlo all'interno di trauma tracker, sia uno strumento che possa essere utile durante le fasi di installazione o di manutenzione all'interno dell'ospedale.
2. *Integrazione del sistema* installato all'interno di Trauma Tracker una volta terminata la realizzazione del sistema di tracciamento.

### 4.4.1 Requisiti

Il sistema da realizzare deve permettere di monitorare la posizione corrente del dispositivo in base ai beacon che si trovano nell'area circostante. Nello specifico ogni beacon deve essere associato ad una determinata stanza e il dispositivo deve rilevare, oltre alla posizione corrente, anche gli eventi di entrata e uscita dai vari ambienti. Come posizione si intende non solo la presenza all'interno di una stanza, ma anche lo stato in cui ci si trova al di fuori degli ambienti registrati.

L'applicazione di tracciamento da realizzare nella prima fase del progetto deve inoltre permettere non solo di determinare la posizione corrente e gli eventi avvenuti, ma deve anche fornire tutta una serie di informazioni necessarie a comprendere il comportamento del tracciamento e di gestire la flotta di beacon utilizzati, consentendo la memorizzazione delle informazioni identificative di ogni beacon e l'associazione di ciascuno con un ambiente. Non è compresa la configurazione dei parametri dei beacon in quanto può essere effettuata solamente attraverso l'applicazione proprietaria del produttore.

Essendo un'applicazione utilizzabile durante la configurazione iniziale del sistema, si richiede la presenza di menu che permettano di modificare i parametri di scansione come il periodo di scansione del dispositivo. La fase finale consisterà nell'implementazione del sistema di tracciamento realizzato all'interno del progetto Trauma Tracker.

#### 4.4.2 Problematiche da Gestire

Particolare attenzione deve essere posta nella reattività e affidabilità del sistema. Il sistema target Trauma Tracker che necessita del sistema di tracciamento richiede una reattività molto elevata, derivata dai ritmi molto intensi delle operazioni che vengono svolte nell'ambiente ospedaliero, soprattutto nel caso del reparto per la gestione dei traumi. Si dovrà cercare di ottimizzare al massimo i tempi di rilevamento degli eventi di entrata e di uscita dai vari ambienti, cercando di mantenere allo stesso tempo un elevato grado di stabilità. Non essendo beacon e ricevitore sincronizzati e funzionanti alla stessa frequenza, non tutte le rilevazioni saranno esatte: a fronte di una corretta configurazione del sistema, non si dovranno verificare situazioni in cui verrà rilevata l'uscita da una stanza in cui si è ancora all'interno o viceversa.

### 4.5 Tecnologie Utilizzate

Come ricevitori sono stati utilizzati dispositivi android per mandare in esecuzione l'applicativo ed effettuare le scansioni con tutte le operazioni ad esse connesse. Come beacon sono stati utilizzati quelli Estimote, dei beacon prodotti dall'azienda omonima. Sono dotati di una CPU ARM Cortex M0 a 32-bit, 256 KB di memoria, un antenna radio Bluetooth Low Energy a 2.4 GHz, sensore di temperatura e di movimento a 3 assi e un firmware integrato che gli permette di essere configurati over-the-air e di supportare aggiornamenti attraverso l'app Estimote. Sono inoltre alimentati da una batteria a litio che gli permette di funzionare fino a 3 anni. Le dimensioni contenute (spessore di soli 17 mm), unite alla presenza di un layer adesivo posto sulla superficie

inferiore li rende posizionabili in praticamente qualsiasi ambiente e superficie. La configurazione come accennato precedentemente necessita dell'app ufficiale Estimote, con cui possono essere impostati diversi parametri:

- Pseudo-standard utilizzato: possono essere configurati per funzionare con lo standard iBeacon o Eddystone
- Funzionalità di risparmio batteria
- Potenza di trasmissione da -30 a 4 dBm, che corrispondono a distanze da 1.5 a 50m
- Intervallo di trasmissione da 100 a 10000 ms
- Identificatore che variano in base alla standard utilizzato



Figura 4.2: Struttura dei beacon utilizzati



## Capitolo 5

# Applicazione per il monitoraggio della posizione: progettazione e sviluppo

Questo capitolo tratterà dell'applicazione per il tracking indoor realizzata. Verranno inizialmente illustrate le tecnologie utilizzate e l'architettura dell'applicazione con le varie scelte implementative. Infine verrà illustrato il suo funzionamento ed i test effettuati con i relativi risultati. Per la realizzazione del sistema è stato utilizzato un modello iterativo e incrementale, in quanto operare con del materiale esterno ha richiesto di testare il software già nelle prime fasi della progettazione, in modo da valutare le performance e poter effettuare i dovuti cambiamenti. Come già accennato nel capitolo precedente, il compito di questa applicazione è quello di fornire un sistema di monitoraggio della posizione e della flotta dei beacon, utile sia per sviluppare il core di localizzazione che sarà poi integrato anche in Trauma Tracker ma soprattutto per fornire uno strumento utile agli operatori nel momento in cui andranno a posizionare i beacon all'interno dell'ospedale.

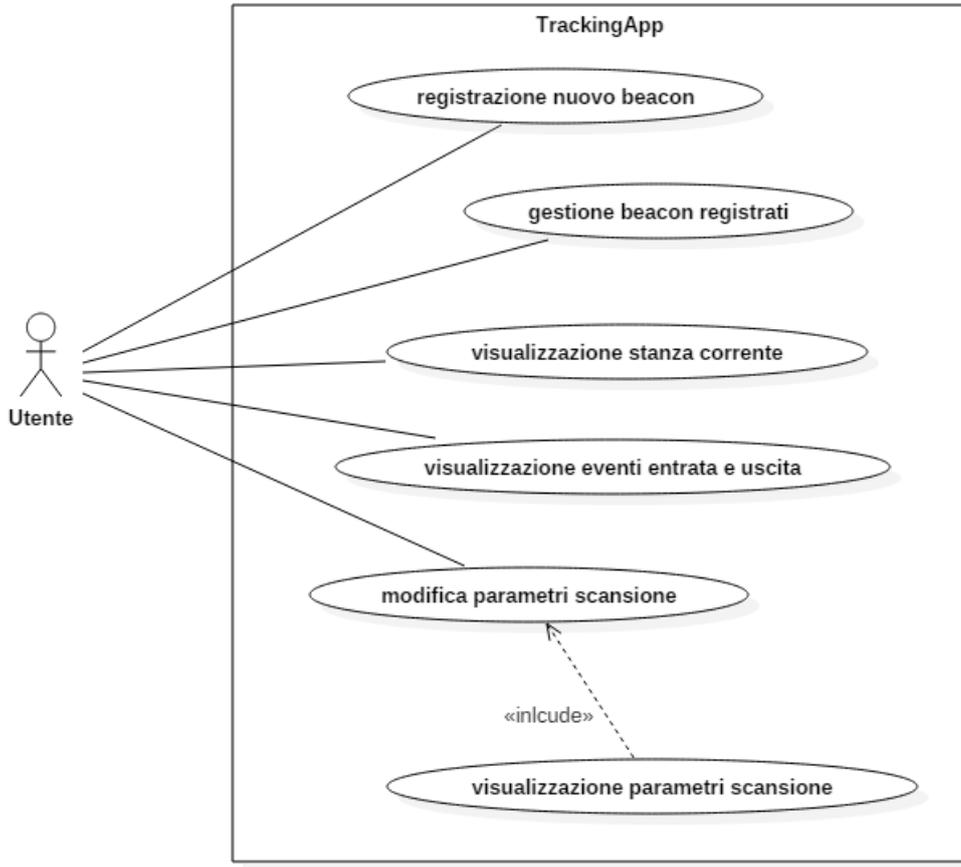


Figura 5.1: Diagramma dei casi d'uso

Il diagramma in figura 5.1 riassume i requisiti descritti nel capitolo precedente.

## 5.1 Progettazione

Analizzando ciò che è stato dettagliato nei requisiti, si procede con la definizione della struttura dell'applicativo da realizzare delineando l'architettura generale del sistema per poi dettagliare maggiormente i vari componenti. Il sistema è costituito da tre sottoinsiemi principali: uno scanner, locator e db. Lo Scanner è quel sistema che si occupa della ricerca dei beacon utilizzando il Bluetooth del dispositivo, utilizza una libreria per la scansione dei beacon per poterli ricercare con una determinata frequenza e restituisce come risultato un elenco di beacon ogni volta che viene completata una scansione.

Il Locator utilizza i risultati ottenuti dallo scanner per determinare la posizione corrente e gli eventi di entrata e uscita.

Il database è quel componente che memorizza tutte le informazioni dei beacon che vengono registrati come identificatori e soprattutto la stanza associata ad ogni beacon.

Il funzionamento della scansione e della determinazione della posizione avviene mediante i seguenti passi:

1. Scansione dei beacon
2. Terminazione scansione con risultati, se non sono stati rilevati beacon si procede al punto 6 verificando la possibilità di un evento di uscita
3. Filtraggio del risultato: si eliminano dall'elenco quelli che non fanno parte del sistema
4. determinazione del beacon con intensità di segnale rilevata superiore
5. ottenimento delle informazioni aggiuntive relative al beacon dal db dei beacon registrati
6. aggiornamento della posizione corrente previa verifica sulla base della posizione precedente e di altre condizioni che verranno dettagliate nei paragrafi successivi

Di seguito è riportato il diagramma di sequenza che mostra le interazioni tra i vari sottosistemi precedentemente descritti.

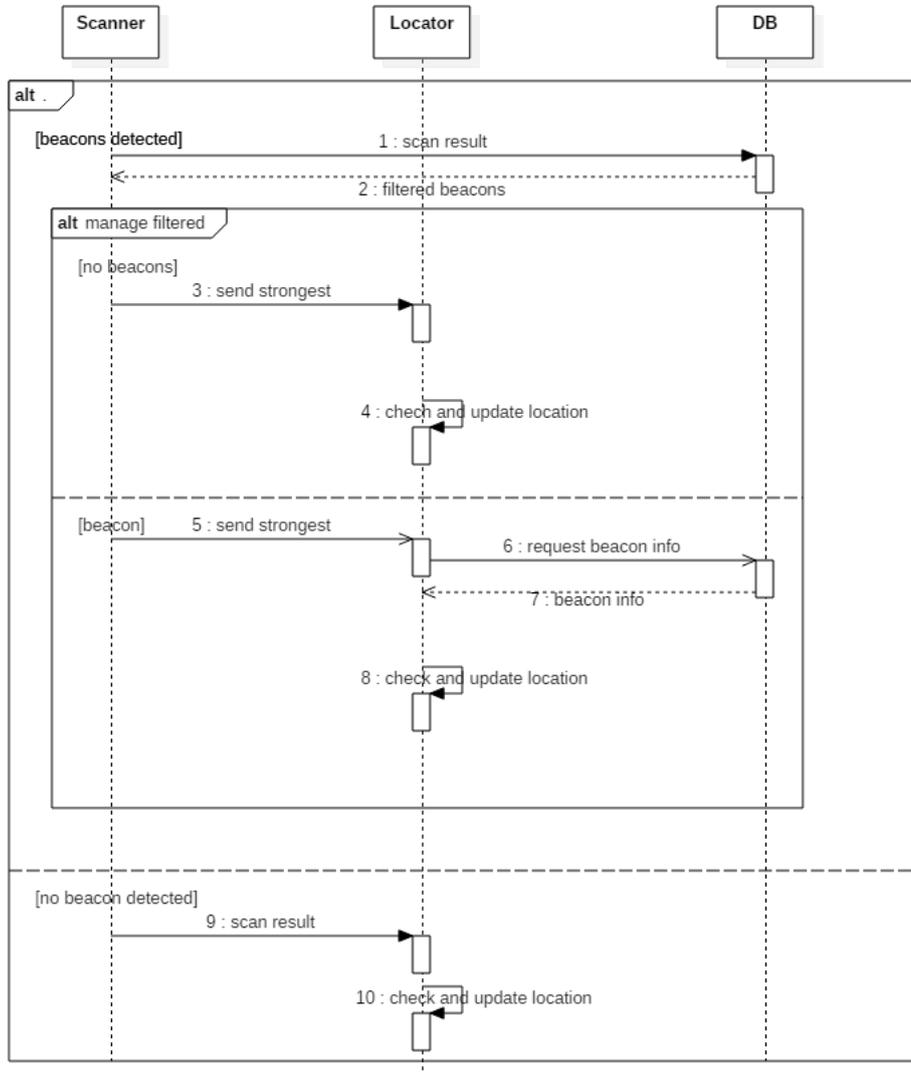


Figura 5.2: Diagramma di Sequenza

Nel diagramma di attività sottostante viene invece dettagliata la sequenza di operazioni necessarie alla determinazione degli eventi di entrata e uscita e quindi al cambio della posizione corrente.

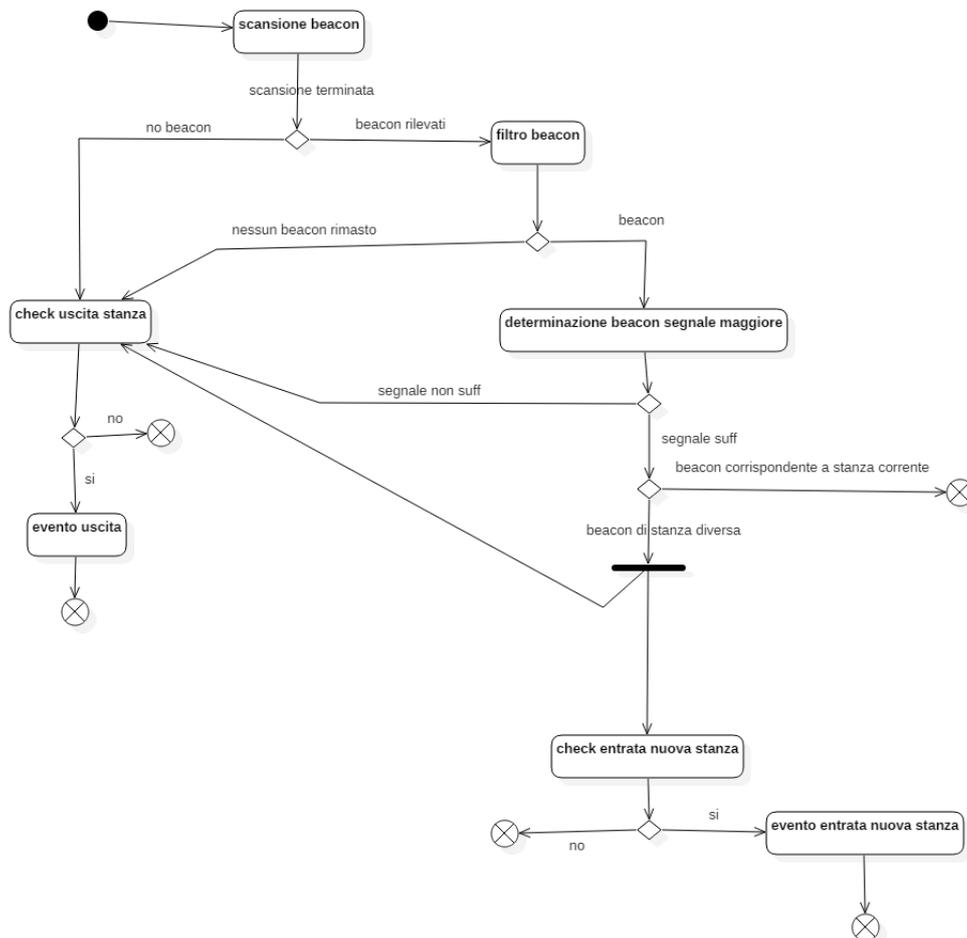


Figura 5.3: Diagramma di Attività

L'evento di uscita consiste nel passaggio da una situazione in cui ci si trova all'interno di una stanza a quella in cui ci si trova nello stato in cui si è fuori dagli ambienti registrati. Questo evento può accadere nei seguenti casi:

- Nessun beacon rilevato
- Nessun beacon presente dopo il filtraggio sulla base dei beacon registrati all'interno dell'applicazione
- Beacon rilevato con segnale maggiore non è associato alla stanza corrente
- Beacon rilevato con segnale maggiore è associato alla stanza corrente ma non raggiunge i livelli di potenza necessari alla registrazione dell'entrata

L'evento di entrata viene registrato quando il beacon rilevato rientra nei valori di potenza necessaria e corrisponde ad una stanza diversa da quella corrente. La funzione di check interviene quando vengono soddisfatti i requisiti per il cambio di posizione. Beacon e ricevitore non sono sincronizzati nello scambio dei messaggi ed hanno frequenze di invio e ricezione diverse, questo porta a non avere una precisione massima dei rilevamenti (è possibile che due scansioni consecutive effettuate nello stesso punto portino a rilevazioni differenti). Questo problema è stato ovviato utilizzando una coppia di contatori che vengono incrementati ogni volta che è possibile effettuare il cambio di posizione e che permettono di registrare un nuovo evento solamente quando il contatore ha raggiunto un certo valore massimo stabilito precedentemente.

### 5.1.1 Pattern MVP utilizzato

Il pattern MVP (Model View Presenter) è una derivazione del pattern architetturale MVC (Model View Controller). Consente la separazione del layer di presentazione da quello logico, in modo che tutto ciò che determina il funzionamento dell'applicazione sia separato da ciò che si occupa della visualizzazione sullo schermo. In Android si ha un crescente problema derivato dal fatto che i componenti activity sono fortemente legati sia all'interfaccia che ai meccanismi di accesso ai dati. Quando l'applicazione si arricchisce di funzionalità il codice tende a diventare difficilmente leggibile e mantenibile. Questo problema viene risolto definendo questi componenti separatamente. L'MVP rende la view indipendente dalla sorgente di dati. L'applicazione viene divisa in almeno tre componenti differenti: view, presenter e model. Questo pattern varia in base alla quantità di responsabilità che vengono delegate al presenter.

- Il **presenter** è responsabile di agire come intermediario tra la view e il model. Ottiene dati dal model e li ritorna alla view affinché vengano visualizzati. In maniera contraria riceve input dalla view per effettuare cambiamenti sul model.
- La **view**, solitamente implementata da un'Activity (o un Fragment, in base a come l'app è strutturata), contiene un riferimento al presenter. Solitamente è responsabile per la sua creazione, l'unica cosa che fa è chiamare metodi del presenter ogni volta che si verifica un'azione sull'interfaccia (come la pressione di un pulsante).
- Il **model** è il componente che fornisce i dati necessari ad essere visualizzati

Usando questo pattern è possibile effettuare cambiamenti in un componente senza dover modificare gli altri. Ciò rende facile anche la sostituzione totale

della view o del model con un'altra implementazione. Questa separazione oltre a migliorare la leggibilità e la manutenibilità rende più semplice l'effettuazione di test dei vari elementi che compongono l'applicazione. Ciò sarà di fondamentale importanza nel momento in cui il core del rilevamento della posizione della seguente applicazione dovrà essere integrato all'interno di Trauma Tracker.

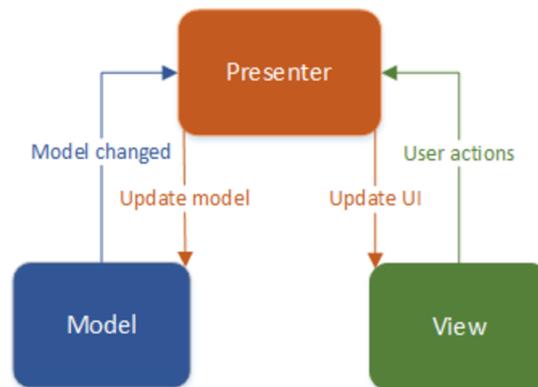


Figura 5.4: Modello di comunicazione tra i componenti nel pattern MVP

## 5.2 Librerie utilizzate per la scansione dei beacon

Per la realizzazione dell'applicativo sono state analizzate e testate due librerie che permettono di effettuare scansioni di beacon: Estimote SDK e Android Beacon Library. Verranno analizzate le caratteristiche e le funzionalità di ciascuna nonché le motivazioni che hanno portato ad utilizzare la seconda.

### 5.2.1 Tipologie di scansione

Entrambe le librerie mettono a disposizione due modi di notificare la presenza di beacon. Prima di elencarle è necessario definire il concetto di regione. Una regione non è uno spazio definito da proprietà geografiche come dati di GPS o altitudine e longitudine. Invece è caratterizzata da uno o più valori che vanno a definire un gruppo di beacon. Questi valori sono rappresentati dagli identificatori emessi dal beacon (UUID, mayor, Eddystone-UID ecc.) Le tecniche di interazione con i beacon sono:

- **monitoring**: consiste nel permettere all'app di sapere quando il dispositivo entra o esce da una determinata regione in modo da poter scatenare eventi personalizzati.
- **ranging**: permette di rilevare tutto ciò che accade in una data regione. Restituisce l'elenco dei beacon rilevati con i valori di potenza misurati insieme ad una approssimazione della distanza da ognuno di essi. Questa tecnica dipende dalla rilevazione del segnale radio. La potenza di segnale registrata e l'approssimazione della distanza possono variare fortemente in base alla posizione del beacon e da quella del dispositivo utilizzato per la scansione (in mano, in una borsa o in tasca). Avere una linea diretta e libera tra il dispositivo e il beacon porta a delle misurazioni molto più accurate.

Per la realizzazione dell'applicativo è stata scelta la tecnica del ranging in quanto consente di acquisire più dati relativamente alla flotta di beacon e con una frequenza più elevata rispetto alla tecnica del monitoring, permettendo una maggior personalizzazione del sistema di tracciamento.

### 5.2.2 Estimote SDK

Estimote SDK è una libreria messa a disposizione dall'azienda statunitense Estimote che abilita l'interazione con i soli beacon e stickers estimote. Questo SDK lavora con sistemi dotati di Android 4.3 o superiore e richiede l'utilizzo di un dispositivo dotato di Bluetooth Low Energy. Mette a disposizione diverse funzionalità:

- Ranging: scansione beacon con la possibilità di filtrarli in base alle loro proprietà
- Monitoring: monitoraggio della regione per rilevare dispositivi che sono entrati/usciti da esse.
- Nearables(a.k.a. stickers), Eddystone, Estimote Telemetry, ricerca di Estimote Location e Mirror
- Soddisfacimento di tutti i requisiti per la rilevazione di beacon come permessi a runtime.
- Gestione dei beacon: modifica dei valori UUID, mayor, minor, potenza di trasmissione e altro.
- Raccolta dei dati di analisi

L'effettuazione delle scansioni con il metodo del ranging necessita dell'utilizzo di due principali oggetti forniti dalla libreria: un `BeaconManger` e un `BeaconRegion`: il primo è l'oggetto principale che permette di avviare la scansione o modificare alcuni dei suoi parametri come la frequenza di scansione del dispositivo, il secondo rappresenta la regione su cui verrà effettuata la scansione.

```
private BeaconManager beaconManager;
private BeaconRegion region;

@Override
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);
    setContentView(R.layout.activity_main);
    beaconManager = new BeaconManager(this);
    region = new BeaconRegion("ranged region",
        UUID.fromString("B9407F30-F5F8-466E-AFF9-25556B57FE6D"),
        null, null);

    beaconManager.setRangingListener(new
        BeaconManager.BeaconRangingListener() {
            @Override
            public void onBeaconsDiscovered(BeaconRegion region,
                List<Beacon> list) {
                //operazioni con il risultato ottenuto
            }
        });
}
```

Listato 5.1: Scheletro del codice fondamentale per l'effettuazione del ranging

L'oggetto `BeaconManager` ha bisogno dell'oggetto `Context` per essere inizializzato, che viene fornito dall'`Activity` o `Service`. L'implementazione più semplice consiste quindi nell'inserire la parte della scansione all'interno di essa. La scansione viene poi avviata e interrotta dai metodi `startRanging` e `stopRanging` di `BeaconManager`. Il risultato di ogni scansione viene restituito all'applicazione attraverso il listener `BeaconRanginListener` che ritorna una lista di `Beacon` con una frequenza di 1 sec, che può essere però configurata attraverso il metodo `setForegroundScanPeriod` fino a un minino di 0.2 sec.

### 5.2.3 Android Beacon Library

Android Beacon Library è una libreria messa a disposizione da Radius Network, la stessa azienda che ha introdotto lo pseudo-standard `AltBeacon`.

Di default opera con lo standard AltBeacon ma può essere configurato per lavorare anche con Eddystone e iBeacon. A differenza della libreria di Estimote ha il vantaggio di non essere legato ad una particolare marca di beacon, ma funziona con qualsiasi beacon che operi con gli standard sopra citati.

```
public class RangingActivity extends Activity implements
    BeaconConsumer {

    private BeaconManager beaconManager;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_ranging);
        beaconManager = BeaconManager.getInstanceForApplication(this);
        beaconManager.bind(this);
    }

    @Override
    protected void onDestroy() {
        super.onDestroy();
        beaconManager.unbind(this);
    }

    @Override
    public void onBeaconServiceConnect() {
        beaconManager.addRangeNotifier(new RangeNotifier() {
            @Override
            public void didRangeBeaconsInRegion(Collection<Beacon>
                beacons, Region region) {
                //gestione del risultato della scansione
            }
        });

        try {
            beaconManager.startRangingBeaconsInRegion(new
                Region("myRangingUniqueId", null, null, null));
        } catch (RemoteException e) { }
    }
}
```

Listato 5.2: Scheletro del codice per l'effettuazione del ranging

Il funzionamento è simile a quello visto con Estimote SDK. È presente un BeaconManager che effettua scansioni su una determinata regione definita su uno o più identificatori. La classe che deve effettuare il ranging deve implementare

l'interfaccia `BeaconConsumer` ed avere un riferimento ad un oggetto `Context`, sia esso `Activity` o `Service`. Per avviare e terminare la scansione bisogna richiamare i metodi `bind` e `unbind` con cui si lega l'oggetto `BeaconManager` con la classe che implementa `BeaconConsumer`. Anche in questo caso i risultati della scansione sono ritornati per mezzo di un listener che restituisce una collezione non ordinata di `Beacon`.

#### 5.2.4 Scelta della libreria da utilizzare

Inizialmente la realizzazione del progetto era stata avviata utilizzando la libreria `Estimote SDK`, successivamente sono state riscontrate delle problematiche che hanno portato alla ricerca di una libreria alternativa e quindi all'utilizzo di `Android Beacon Library`. Il problema riscontrato con la prima libreria riguarda la reattività nella scansione, che non permetteva di raggiungere i livelli richiesti dai requisiti. Nello specifico la rilevazione della scomparsa di un beacon impiega tra i 20 e i 30 secondi: anche se un beacon viene portato fuori dal raggio del dispositivo ricevitore o viene disattivato (ad esempio tramite la funzione `flip to sleep` che interrompe il broadcast quando viene capovolto), continua comunque a comparire nella lista dei beacon rilevati per il tempo indicato con l'ultimo valore di potenza registrato. Questo comportamento non è modificabile, probabilmente è stato adottato per una questione di affidabilità della scansione: siccome le rilevazioni a volte possono restituire risultati errati a causa della non sincronizzazione tra i beacon e gli smartphone, il sistema notifica la scomparsa del beacon solamente se ne è veramente certo, questo però comporta una reattività non ottimale nella rilevazione dell'uscita. `Android Beacon Library` invece non presenta questo tipo di problemi, in quanto il risultato di ogni scansione è indipendente dalle precedenti. Questo porta ad avere una minore affidabilità delle singole scansioni, ma una reattività superiore. Altro vantaggio riguarda la frequenza di scansione impostabile sul dispositivo: utilizzando lo stesso device android, uno `Xiaomi Mi 5` nello specifico, con `Android Beacon Library` ci si è potuti spingere fino ad una frequenza di scansioni di 200 ms, mentre con `Estimote SDK` intorno ai 500 ms. Infine la libreria di `Radius Network` può operare con beacon di qualsiasi produttore, a patto che implementino uno dei 3 pseudo-standard precedentemente trattati, dando quindi la possibilità di cambiare beacon in futuro senza dover apportare modifiche al codice dell'applicazione.

## 5.3 Implementazione

### 5.3.1 Scansione e Posizionamento

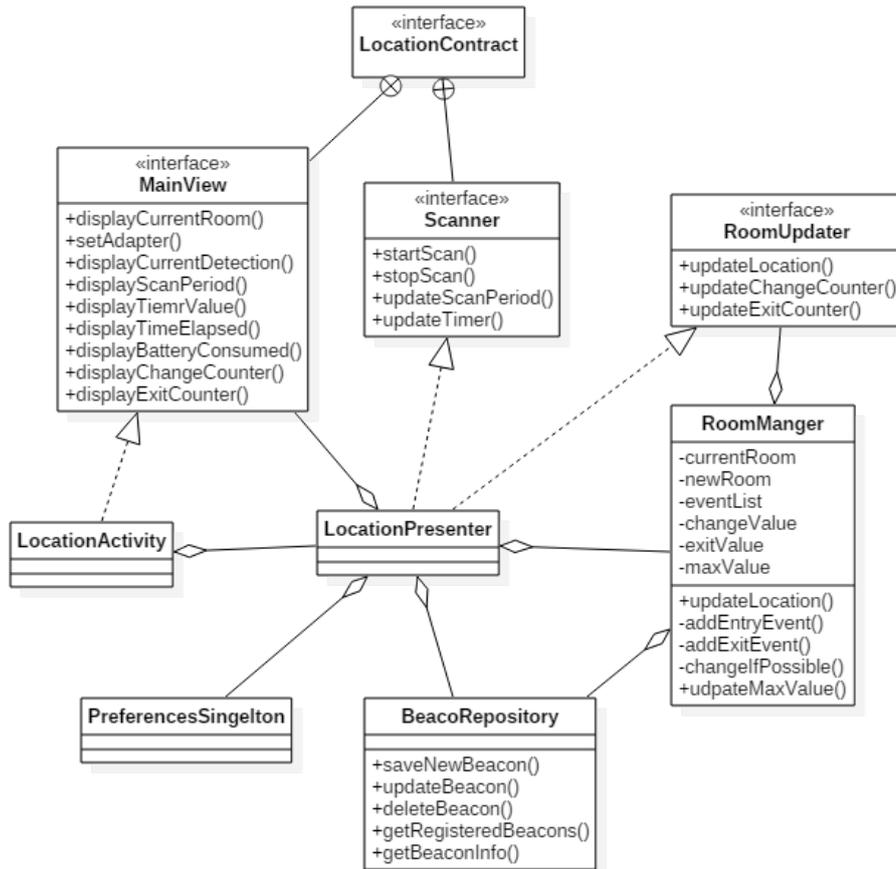


Figura 5.5: Diagramma delle classi per la scansione e determinazione della posizione

La scansione è stata effettuata all'interno della classe LocationPresenter, la classe che si occupa di comunicare con l'activity principale per mostrare tutte le informazioni relative al tracciamento. Per permettere la scansione dei beacon è stata implementata l'interfaccia BeaconConsumer della libreria android beacon library. Le informazioni relative alla scansione vengono prelevate da un oggetto Singleton che memorizza le variabili indicanti la frequenza di scansione e il valore massimo del timer all'interno delle Shared Preferences del dispositivo, in modo da poterle mantenere anche dopo il riavvio dell'applicazione. Il

risultati di ogni scansione sono ritornati da un oggetto RangeNotifier sottoforma di Collection di Beacon, un oggetto che contiene tutte le informazioni ricavate dal beacon. In questo metodo viene effettuato anche un primo filtro dei beacon rilevati, eliminando dalla lista quelli che non sono stati registrati nell'applicativo. Il beacon con maggior segnale della lista risultante viene poi passato all'oggetto della classe RoomManager. RoomManager è la classe che si occupa di determinare la posizione corrente, presenta le variabili che memorizzano la posizione, i contatori utilizzati e la lista di eventi. Di seguito i metodi principali che permettono di determinare il cambio di posizione:

- `updateLocation`: è il metodo chiamato dal presenter che riceve il beacon con segnale maggiore. Attraverso una serie di controlli condizionali precedentemente dettagliati nel diagramma di sequenza della fase di progettazione, si determina se il beacon rilevato appartiene ad una stanza diversa da quella attuale e se il segnale è tale da permettere il cambiamento di stanza.
- `changeIfPossible`: metodo privato chiamato da quello precedente solo se i requisiti per il cambiamento di stanza sono stati soddisfatti. Questo metodo fa uso di due contatori, `exitValue` e `changeValue`. Il primo serve per determinare se è possibile effettuare l'uscita dalla stanza corrente mentre il secondo viene utilizzato per l'entrata. L'evento può avvenire solo se il contatore relativo raggiunge il valore massimo stabilito nelle impostazioni.

### 5.3.2 Struttura dati per i beacon registrati

Tutte le informazioni relative ai Beacon registrati vengono memorizzate in una struttura dati che fa utilizzo della libreria android Realm.

Realm è una libreria per la gestione dei dati non basata su Sqlite e/o su ORM, non richiede le consuete conversioni tra modello ad oggetti e relazionale ma offre una gestione dei dati completamente ad oggetti. Non richiede di pensare a tabelle, chiavi esterne ma solamente a normali relazioni tra oggetti java. È stato scelto di utilizzarla in quando permette di realizzare e interagire con i dati in maniera molto rapida. L'inizializzazione di Realm, necessaria al suo utilizzo, viene fatta all'interno della classe `BaseApplication` che estende `Appication` invocando il metodo statico `init` della classe `Realm`.

```
public class BaseApplication extends Application {

    @Override
    public void onCreate() {
        super.onCreate();
    }
}
```

```
    Realm.init(this);
    RealmConfiguration confi = new
        RealmConfiguration.Builder().build();
    Realm.setDefaultConfiguration(confi);
}
}
```

Listato 5.3: Inizializzazione di Realm

Application è la classe base di android che mantiene lo stato globale dell'applicazione. Inizializzando realm al suo interno si mette a disposizione una sua istanza ovunque serva. Per utilizzarla basterà ottenerne il riferimento con il metodo getDefaultInstance della classe Realm. Questo compito è affidato alla classe BeaconRepository che si occupa di ottenere l'istanza di realm e di effettuare tutti i metodi di lettura e scrittura delle informazioni dei beacon registrati presenti nella "tabella" MyBeacon. Quest'ultima è definita all'interno della classe omonima che estende RealmObject che mantiene informazioni su id, nome, potenza minima e stanza associate a ciascun beacon.

### 5.3.3 Gestione dei beacon registrati

La visualizzazione e la gestione dei beacon registrati è fornita attraverso due schermate distinte: BeaconListActivity che mostra la lista dei beacon registrati attraverso una RecyclerView e BeaconDetailsActivity che mostra i dettagli di ciascun beacon tramite una semplice form. Quest'ultima viene utilizzata sia per l'inserimento di un nuovo beacon che per la modifica di uno già esistente. Per l'interazione con il database viene utilizzata la stessa classe BeaconRepository utilizzata nella sezione di scansione.

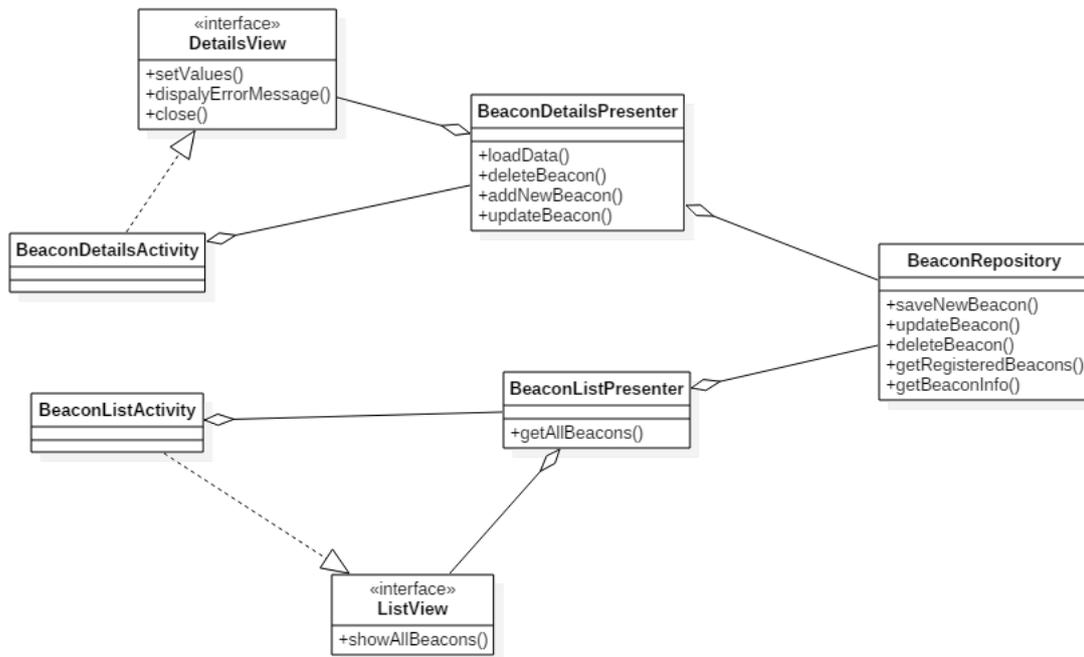


Figura 5.6: Diagramma delle classi per la gestione dei beacon registrati

### 5.3.4 Monitoraggio Batteria

Il monitoraggio della batteria avviene mediante la classe BatteryInfo che mantiene l'informazione sul tempo di utilizzo dell'applicazione e utilizza un IntentFilter di tipo ACTION\_BATTERY\_CHANGE per ottenere informazioni sullo stato di carica del dispositivo attraverso un BroadcastReceiver e quindi della percentuale di batteria utilizzata. Queste informazioni vengono richieste dalla classe BatteryPresenter, istanziata all'interno dell'activity principale LocationActivity che si occupa di visualizzare le informazioni sul consumo quando vengono richieste dall'utente. È stato scelto di fornire queste informazioni su richiesta e non in maniera costante in quanto il monitoraggio continuo dei livelli di batteria è sconsigliato poichè può avere un notevole impatto sulla stessa.

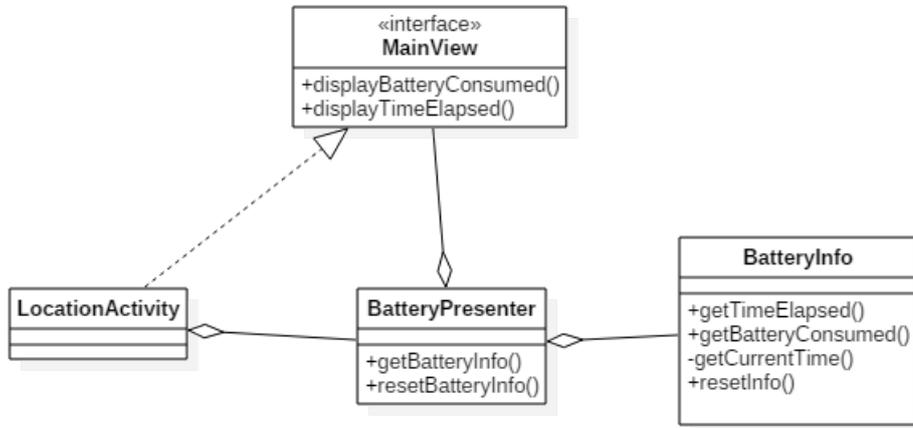


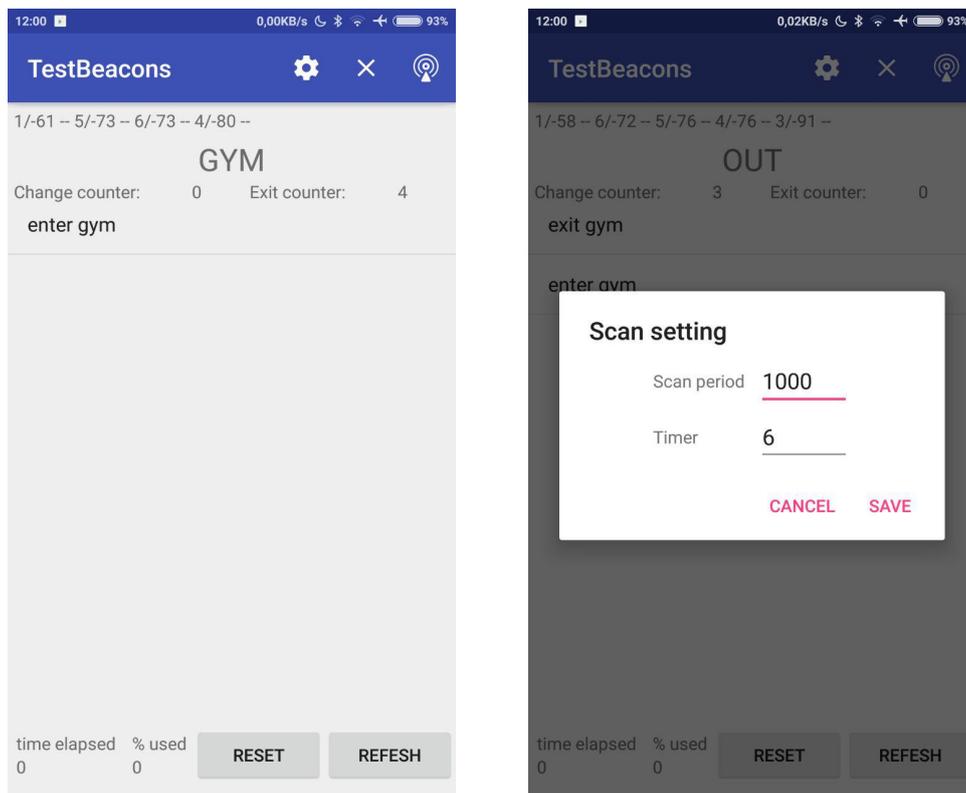
Figura 5.7: Diagramma delle classi per il monitoraggio della batteria

## 5.4 Funzionamento

In questa sezione si andrà a descrivere il funzionamento dell'applicazione e l'interfaccia di gestione del posizionamento. Quando l'applicazione viene avviata inizia automaticamente a effettuare ranging di beacon. La schermata principale racchiude tutte le informazioni necessarie al tracciamento mostrate in Fig.5.8a

- una label superiore che indica i beacon rilevati con la potenza registrata, non vengono mostrati i beacon rilevati che non sono registrati nel sistema. Queste informazioni sono molto utili nella fase iniziale di posizionamento dei beacon all'interno dell'ambiente in quanto aiuta a capire come varia la ricezione del segnale in base alla posizione scelta.
- label che mostra la posizione corrente
- due label che mostrano lo stato dei due contatori utilizzati per determinare gli eventi di entrata e uscita dai vari ambienti
- una lista che elenca tutto lo storico di eventi di entrata e uscita
- label per la visualizzazione dello stato della batteria con il tempo di esecuzione dell'applicazione e il consumo di batteria
- pulsante per il reset dei due valori della batteria
- pulsante di refresh delle informazioni sulla batteria

- pulsante clear nella toolbar per azzerare i dati raccolti fino a quel momento



(a) Schermata Home

(b) Dialog di modifica parametri

Figura 5.8: Schermata principale dell'applicazione

In Fig.5.8b viene invece mostrata la dialog di modifica dei parametri della localizzazione: frequenza di scansione e timer massimo usato dai due contatori.

## 5.5 Test Effettuati

Per l'effettuazione dei test tutti i beacon sono stati impostati alla loro frequenza di trasmissione massima (periodo di 100ms). I beacon utilizzati permettono potenze di trasmissione che vanno dai -30 dBm ai 4 dBm, durante i test sono stati utilizzati valori di inferiori ai -30 dBm, che meglio si adattano ad utilizzi in ambienti indoor di medie dimensioni. Il cambio di stanza viene registrato solo se la rilevazione è la medesima per 6 volte consecutive. Come ricevitori sono stati utilizzati i seguenti dispositivi:

- Xiaomi Redmi Note 3 dotato di chipset Mediatek MT6795 Helio X10, Bluetooth 4.1 e Android 5.1 Lollipop
- Xiaomi Mi 5 dotato di chipset Qualcomm MSM8956 MSM8996 Snapdragon 820, Bluetooth 4.2 e Android 7.0 Nougat
- Xiaomi Mi4c dotato di chipset Qualcomm MSM8992 Snapdragon 808, Bluetooth 4.1 e Android 5.0 Marshmallow

### 5.5.1 Test sul range

I test sono stati effettuati all'aperto e al chiuso, per comprendere il comportamento del segnale nelle varie situazioni. In entrambi gli ambienti le misurazioni sono state fatte in assenza di ostacoli in linea diretta tra beacon e ricevitore.

Potenza di trasmissione	Distanza massima produttore	Distanza massima outdoor	Distanza massima indoor	Potenza max registrata
-30 dBm	1.5 m	2 m	2 m	-61 dBm
-20 dBm	3.5 m	12 m	9 m	-40 dBm
-16 dBm	7 m	15 m	13 m	-39 dBm
-12 dBm	15 m	15 m	> 13 m	-33 dBm

Tabella 5.1: Distanza massima in cui sono stati rilevati i beacon nelle varie condizioni

I risultati della tabella 5.1 mostrano come la distanza a cui è stato possibile rilevare i beacon in ambienti outdoor sia paragonabile a quella indoor e come i valori indicati dal produttore si avvicinino a quelli reali, potendo quindi essere tenuti in considerazione durante le fasi di installazione dei beacon all'interno dell'ambiente.

### 5.5.2 Errore nella rilevazione

Questo test ha il fine di mostrare come varia la correttezza della rilevazione in funzione della distanza dal beacon, dal periodo di scansione del ricevitore e dal ricevitore stesso. Le misure sono state effettuate impostando i beacon alla potenza di -20 dBm e -16 dBm, le due potenze di segnale che meglio si adattano ad stanze di medie dimensioni. La percentuale è riferita a una quantità di scansioni pari a 100. Tutte le misurazioni sono state effettuate al

chiuso, mantenendo beacon e dispositivo in linea d'aria diretta ad una altezza di circa 1.5 m senza la presenza di ostacoli tra i due, in modo da avere una misurazione più corretta possibile.

	1000ms	500ms	300ms	200ms	100ms	50ms
<b>2m</b>	0	1	5	9	24	59
<b>4m</b>	1	3	5	10	27	49
<b>6m</b>	1	1	7	11	21	50
<b>8m</b>	3	6	12	14	28	64

Tabella 5.2: Percentuale di errore alla potenza di -16 dBm con Xiaomi Mi5 come ricevitore

	1000ms	500ms	300ms	200ms	100ms	50ms
<b>2m</b>	1	1	5	8	22	52
<b>4m</b>	1	2	6	10	29	52
<b>6m</b>	1	2	5	12	26	51
<b>8m</b>	1	7	37	41	59	78

Tabella 5.3: Percentuale di errore alla potenza di -20 dBm con Xiaomi Mi5 come ricevitore

	1000ms	500ms	300ms	200ms	100ms	50ms
<b>2m</b>	1	2	18	41	71	84
<b>4m</b>	1	6	20	42	69	83
<b>6m</b>	1	2	8	11	35	71
<b>8m</b>	1	15	33	40	70	82

Tabella 5.4: Percentuale di errore alla potenza di -20 dBm con Xiaomi Redmi Note 3 come ricevitore

I risultati mostrano come l'aumento della distanza e la diminuzione del periodo di scansione comportino un aumento dell'errore. Le tabelle 5.2 e 5.3 mostrano la variazione dell'errore in funzione della distanza. Questa differenza

è accentuata alla distanza di 8m dove le rilevazioni effettuate con potenza di -20 dBm sono caratterizzate da valori molto più elevati, soprattutto con periodi di scansione molto bassi.

In particolare tra i due fattori quello che influenza maggiormente l'errore nella rilevazione risulta la frequenza di scansione del ricevitore. In caso di periodi elevati maggiori di 500 ms l'errore è minimo, mentre l'utilizzo di valori inferiori dipende molto dal dispositivo utilizzato. Le tabelle 5.3 e 5.4 mostrano la differenza di errore tra le scansioni effettuate dagli smartphone Xiaomi Mi5 e Redmi Note 3. Il primo riesce ad ottenere ottimi risultati fino al periodo di 200ms mentre il secondo ha difficoltà a ricevere i pacchetti emessi dai beacon anche con periodo di 300 ms.

### 5.5.3 Ostacoli

La presenza di ostacoli tra emettitore e ricevitore comporta un'attenuazione del segnale con un conseguente aumento della percentuale di errore. Con errore si intende la non rilevazione di un beacon nel caso in cui ci si trovi all'interno di un ambiente in cui è certo che il suo segnale sia presente. Per mostrare questo comportamento sono stati effettuati dei test in cui è stato misurato l'errore alla distanza di 4m con la presenza di ostacoli tra il beacon e lo smartphone e con beacon impostato alla potenza di emissione di -20 dBm.

	<b>1000ms</b>	<b>500ms</b>	<b>300ms</b>
<b>Muro 20cm</b>	/	/	/
<b>Muro 10cm</b>	3	9	32
<b>Nessun ostacolo</b>	1	1	5
<b>Persona a 1m da ricevitore</b>	1	2	7
<b>Persona a pochi cm da ricevitore</b>	30	46	51
<b>Persona a 1m da beacon</b>	1	5	13
<b>Persona a pochi cm da beacon</b>	29	25	39

Tabella 5.5: Percentuale di errore alla potenza di -20dBm con Xiaomi Redmi Note 3 come ricevitore

I risultati della tabella 5.5 mostrano come la presenza di elementi non troppo grandi come persone tra beacon e ricevitore non comportano un aumento importante dell'errore, che invece si verifica quando questi elementi sono posti a distanze estremamente limitate, attenuano in maniera considerevole il

segnale in emissione o ricezione. Ostacoli più grandi come pareti attenuano maggiormente il segnale: nel caso di pareti molto spesse il segnale preso in esame è stato attenuato completamente mentre con pareti poco spesse, porte o muri in cartongesso il segnale rimane comunque stabile. Questi test forniscono informazioni importanti per il posizionamento dei beacon all'interno di un ambiente. Bisogna infatti considerare non solo il modo in cui il segnale si diffonde all'interno di una stanza ma anche al di fuori di essa. L'utilizzo di potenze di emissione molto elevate comportano la presenza di segnale anche al di fuori dell'ambiente con la conseguente impossibilità di registrare un'evento di uscita qualora ci si trovi all'esterno della stanza o in una stanza adiacente non dotata di beacon.

#### 5.5.4 Tempi di rilevazione della posizione

I tempi di rilevamento della posizione sono stati registrati al chiuso e mostrano il tempo necessario a stabilire la posizione corrente al variare di fattori come la distanza e il tempo di scansione del dispositivo, e quindi alla percentuale di errore. I test sono stati effettuati a 2 e 8 metri di distanza, quelle avevano mostrato differenze nei valori di miss rate maggiori nei test precedenti.

	<b>Tempo medio (s)</b>	<b>Tempo min (s)</b>	<b>Tempo max (s)</b>	<b>Miss Rate (%)</b>
<b>500ms</b>	3.61	3.47	3.94	1
<b>300ms</b>	2.14	1.99	3.77	5
<b>200ms</b>	1.68	1.31	2.14	11
<b>100ms</b>	1.5	0.73	3.08	22
<b>50ms</b>	/	/	/	67

Tabella 5.6: Tempi rilevazione registrati da Xiaomi Mi4c a distanza di 2m con beacon con potenza di -20dBm

	<b>Tempo medio (s)</b>	<b>Tempo min (s)</b>	<b>Tempo max (s)</b>	<b>Miss Rate (%)</b>
<b>500ms</b>	3.86	3.43	4.28	12
<b>300ms</b>	31.5	5.64	/	29
<b>200ms</b>	/	/	/	48
<b>100ms</b>	/	/	/	69
<b>50ms</b>	/	/	/	82

Tabella 5.7: Tempi rilevazione registrati da Xiaomi Mi4c a distanza di 8m con beacon con potenza di -20dBm

	<b>500ms</b>	<b>300ms</b>	<b>200ms</b>	<b>100ms</b>	<b>50ms</b>
<b>Tempo minimo(s)</b>	3	1.8	1.2	0.6	0.3

Tabella 5.8: Tempi minimi di registrazione evento con contatore pari a 6

La tabella 5.8 mostra i tempi minimi teorici di registrazione dell'evento, ottenuti moltiplicando il periodo di scansione del dispositivo con il numero di tentativi necessari. Confrontando i tempi presenti in quest'ultima tabella con i tempi ottenuti durante le rilevazioni si può notare come con valori di miss rate del 20% o inferiore si abbiano ottimi tempi di registrazione dell'evento, anche utilizzando frequenze elevate. Sia l'aumento della distanza che della frequenza di scansione portano ad un aumento dei tempi o all'impossibilità di registrazione degli stessi.

# Capitolo 6

## Implementazione in Trauma Tracker

In questo capitolo si descriverà come è stata implementata la funzionalità di tracciamento della posizione all'interno di TraumaTracker.

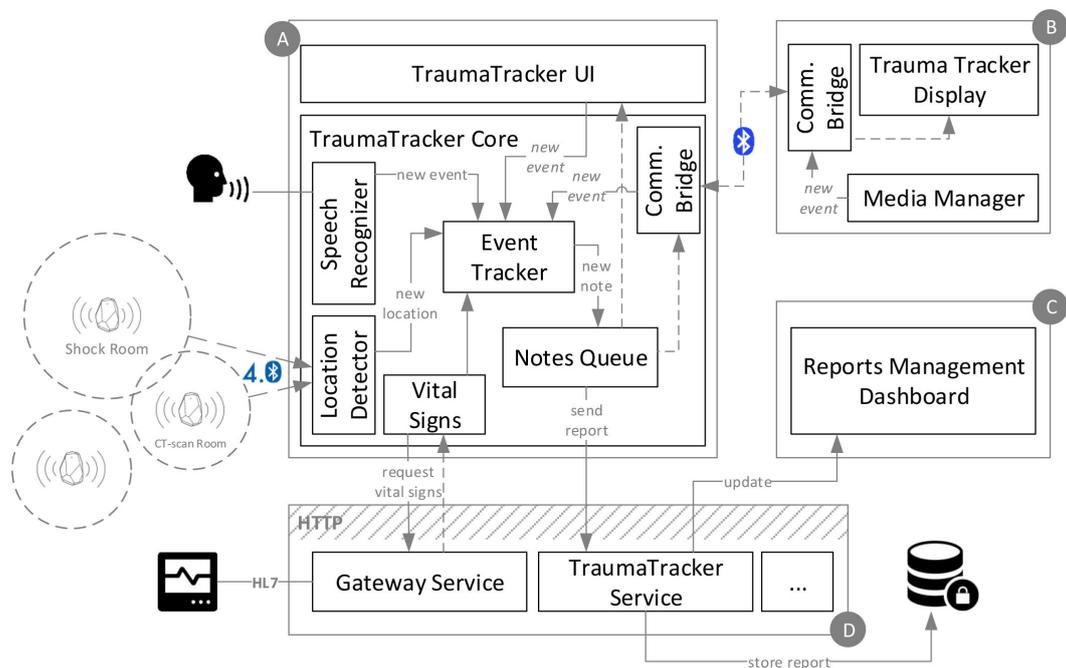


Figura 6.1: Architettura logica del sistema Trauma Tracker, le parti (A) e (B) rappresentano il sottosistema TraumaLeader, la parte (C) il sottosistema per la gestione dei report e infine il (D) l'infrastruttura  $GT^2$

In Fig.6.1 vengono mostrati i principali componenti del sistema: il sottosistema Trauma Leader rappresenta la parte più critica, che deve risultare

molto semplice da utilizzare e efficiente nello svolgere i suoi compiti. Questo sottosistema è dato dalla composizione di diversi moduli, ognuno dei quali responsabile per una determinata funzionalità. Il core di questo sottosistema è dato dall'unione dei componenti *EventTracker* e *NotesQueue*. Il primo si occupa di ricevere tutte le informazioni riguardanti il trauma, a cui aggiunge quelle ottenute dagli altri moduli per poi immagazzinarle nel secondo componente. Il componente da cui *EventTracker* ottiene la posizione corrente è *LocationDetector*, che ha il compito di restituire la posizione/stanza corrente. Il sistema adotta un ambiente ad agenti, utile per modularizzare tutta la serie di comportamenti, resi disponibili da moduli chiamati artefatti, che rappresentano le risorse utilizzate per attuarli. Tra i vari artefatti presenti c'è quello chiamato **Context** che si occupa di tenere traccia e di rendere osservabile la posizione corrente del Trauma Leader attraverso l'infrastruttura composta dai beacon posizionati nell'ambiente.

## 6.1 Implementazione

L'implementazione del sistema di tracciamento è stata effettuata all'interno dell'artefatto *Context*. È stata sviluppata una classe *PhysicalContextAblBased* che estende *PhysicalContext*, una classe astratta che richiede di implementare i metodi relativi all'avvio e alla terminazione della scansione e espone il metodo *updatePlace* che permette di notificare il resto del sistema della nuova posizione. Avendo strutturato l'applicazione di monitoraggio utilizzando il pattern MVP (Model View Presenter) è bastato estrarre la parte di codice relativa alla logica escludendo le parti non necessarie come le opzioni di modifica a runtime delle impostazioni di scansione (periodo di scansione e valore massimo utilizzato dai vari contatori) e di monitoraggio della batteria, insieme a tutte le varie funzioni di debug. Per poter effettuare il ranging è stata implementata la classe *BeaconConsumer*. L'oggetto necessario richiesto da *BeaconManager* per il funzionamento del ranging è un *Context*, che permette di ricavare i dati sullo stato corrente dell'applicazione. Anche qui viene fornito da un'activity, più precisamente dall'activity *MainUI* attraverso il metodo *getActivity("mainUI").getApplicationContext()*. I parametri di scansione vengono inseriti direttamente come costanti, in quanto una volta trovato il valore ottimale durante i test non è più necessaria la sua modifica a runtime. La differenza principale tra le due implementazioni riguarda l'ottenimento delle informazioni relative ai beacon registrati. Nell'applicazione di test era presente una struttura dati implementata tramite la libreria *Realm*, in *Trauma Tracker* non essendo presente una struttura di questo tipo è stata utilizzata una mappa che presenta come chiavi gli identificatori mayor dei beacon e come valore tutte

le informazioni ad esso associate, contenute nell'oggetto RoomBeacon: nome, stanza e valore di potenza massima per la registrazione dell'entrata. Questa mappa è contenuta nell'oggetto della classe BeaconRepositoryImpl, che implementa l'interfaccia BeaconRepository che fornisce tutti i metodi necessari all'ottenimento delle informazioni sui beacon registrati.

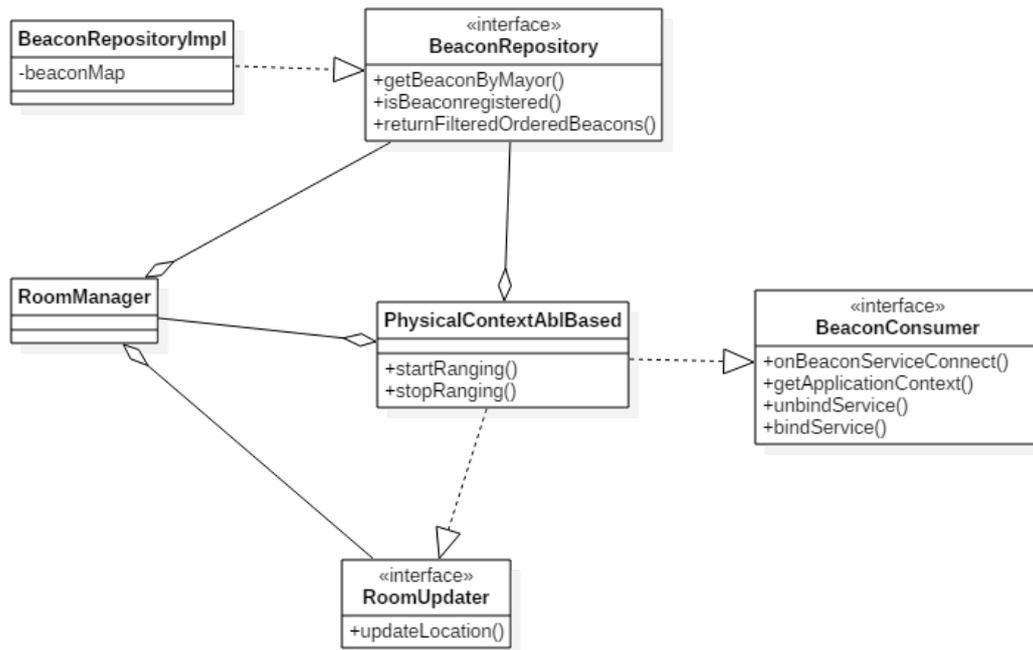


Figura 6.2: Diagramma delle classi utilizzate per l'implementazione del tracking indoor all'interno di Trauma Tracker

## 6.2 Piazzamento dei beacon

Data la validazione del capitolo precedente, in questa sezione, partendo dalle planimetrie delle stanze dell'ospedale Bufalini di Cesena in cui il sistema dovrà operare, si procederà a fornire una prima proposta di configurazione comprendente i parametri di scansione del dispositivo e la posizione dei beacon all'interno dei vari ambienti. Naturalmente quella di seguito è solo una configurazione suggerita, le indicazioni possono variare in base al dispositivo utilizzato e alle caratteristiche dell'ambiente stesso non ricavabile dalle planimetrie. Per analisi più dettagliate sarà possibile utilizzare l'applicativo di monitoraggio sviluppato precedentemente all'integrazione in Trauma Tracker per poter ve-

rificare e testare il tutto. Le stanze di cui il sistema dovrà registrare gli eventi di entrata e uscita sono le seguenti:

- Shock-Room
- TAC PS
- Sala Operatoria: Blocco
- Sala Operatoria: Neurochirurgia
- Sala Angiografica
- Terapia Intensiva: TI-1
- Terapia Intensiva: TI-2

Per il dispositivo mobile utilizzato come ricevitore si consiglia un periodo di scansione pari a 400ms, considerando l'utilizzo di un dispositivo con hardware di fascia media, mentre come contatore per il rilevamento della posizione un valore pari a 5. In questo modo si può ottenere un tempo di rilevazione della posizione in condizioni ottimali poco sopra a 2s. Naturalmente in base alle esigenze e al dispositivo utilizzato questi valori possono variare. Di seguito vengono riportate le planimetrie a disposizione indicando per ognuna di esse la configurazione proposta:

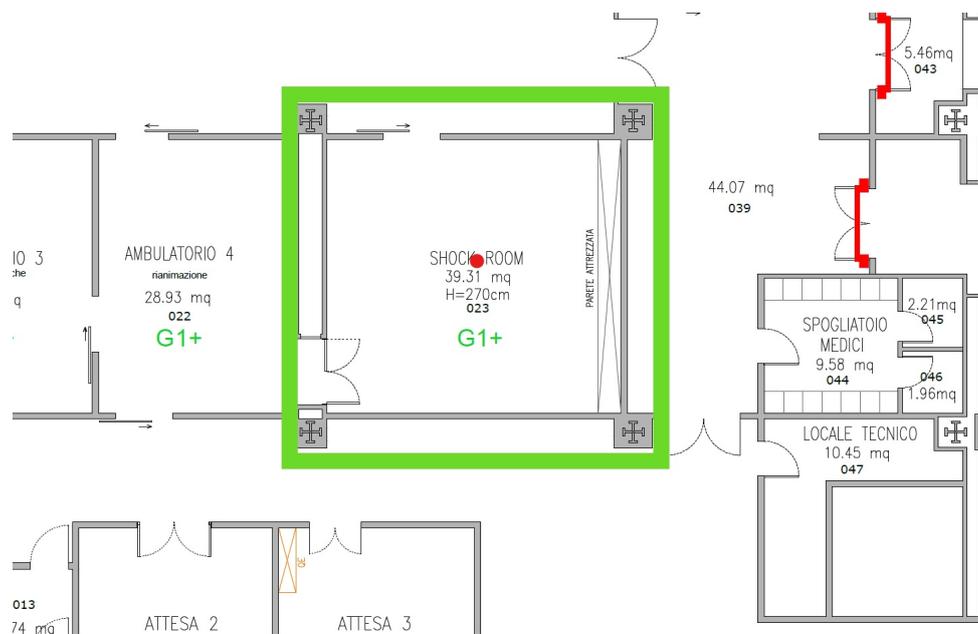


Figura 6.3: Shock Room, in rosso la posizione proposta

La stanza riportata in Fig.6.3 è la più semplice da valutare: avendo una struttura perfettamente quadrata senza pareti che ne separano le sue parti il beacon sarà sicuramente da posizionare al suo centro con una potenza trasmittiva di -20dBm.



(a) Blocco Operatorio 6



(b) Blocco Operatorio 1-2

Figura 6.4: Blocco Operatorio, in rosso e blu le posizioni proposte

I due ambienti in Fig.6.4 rappresentano il blocco operatorio. Come si può notare dalle planimetrie l'ambiente in Fig.6.4b ha una superficie esattamente doppia rispetto a quello in Fig.6.4a. All'interno di quest'ultimo il beacon sarà posizionato all'interno della stanza più grande in prossimità della parete inferiore in posizione centrale, con potenza di trasmissione di -12dBm, in modo che il segnale si diffondi correttamente anche nella stanza adiacente. Nel blocco operatorio in Fig.6.4b possono essere posizionati due beacon in modo analogo a quello dell'ambiente precedente. In alternativa, a seguito di misurazioni, può essere valutata la presenza di un solo beacon in posizione centrale rispetto all'intero ambiente, aumentando però la potenza trasmessa (-8/-4 dBm).

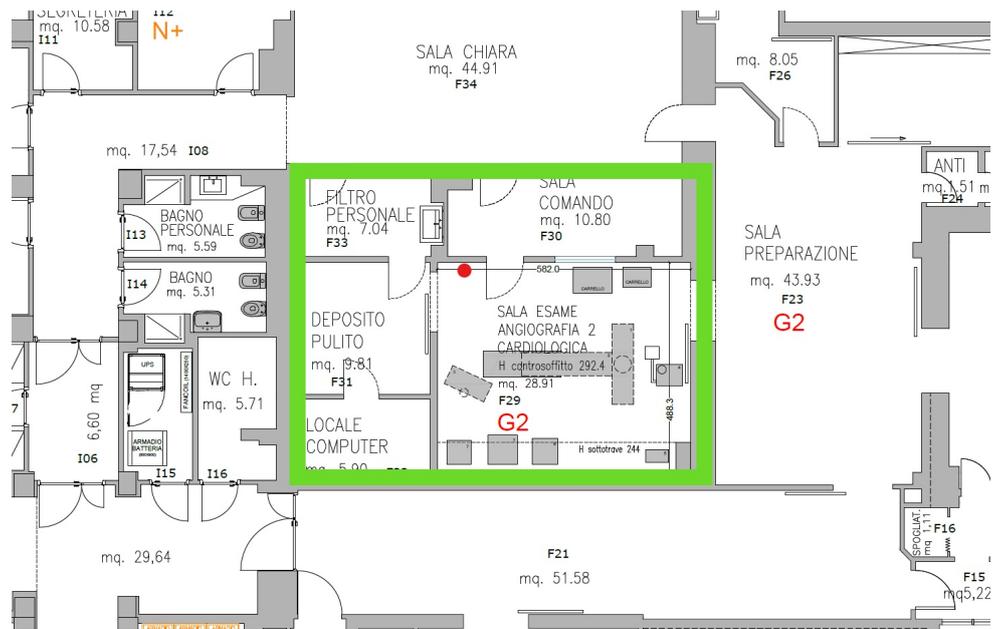


Figura 6.5: Sala Angiografica, in rosso la posizione proposta del beacon

Per la sala angiografica in Fig.6.5 essendo gli ambienti adiacenti alla stanza principale molto piccoli può essere sufficiente la presenza di un solo beacon nella posizione indicata con una potenza di -20/-16 dBm, a seconda dell'attenuazione data dalle molteplici pareti e macchinari presenti.

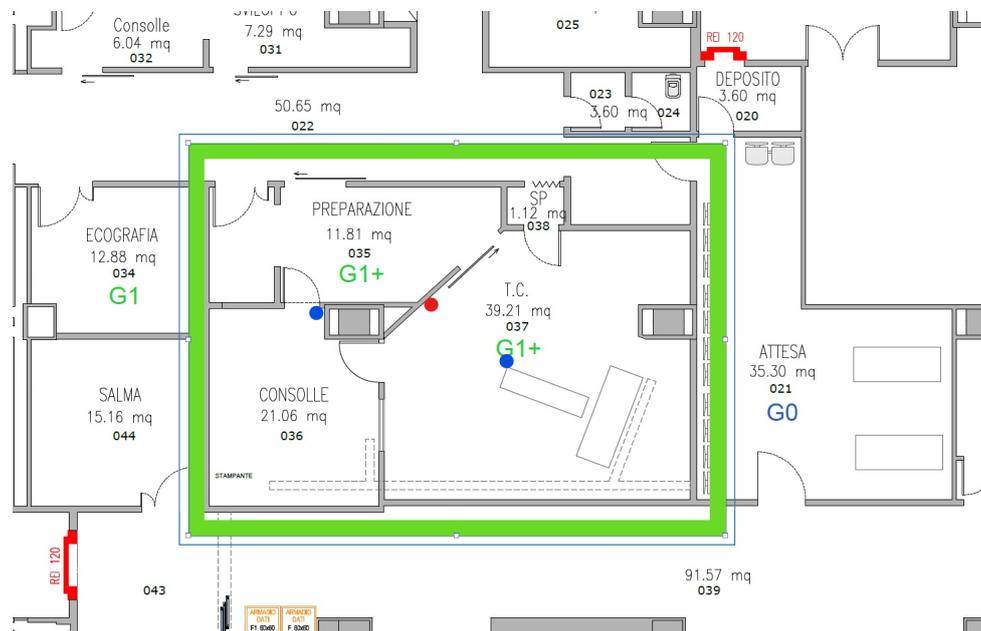


Figura 6.6: TAC PS, in blu e rosso le due varianti proposte

Infine per la stanza per la tac in Fig.6.6 il beacon sarà posizionato in una posizione centrale relativamente all'intero ambiente con una potenza di trasmissione pari a  $-12\text{dBm}$ . In alternativa posso essere usati due beacon per permettere al segnale di raggiungere meglio i vari angoli delle stanze, con una potenza inferiore di  $-16/-9\text{dBm}$ .



# Conclusioni

I sistemi di tracciamento indoor possono essere integrati in moltissime delle realtà moderne, fornendo uno strumento prezioso capace di migliorare molti degli aspetti che le caratterizzano, come la sicurezza o la produttività. In questo panorama i beacon si sono rivelati una tecnologia molto valida per l'utilizzo indoor, grazie ai costi contenuti, alla grande versatilità e alla possibilità di poterli utilizzare con una gamma di dispositivi sempre più ampia. Ed è proprio attorno a questa tecnologia che si è sviluppato il progetto di tesi. L'adozione di Android come sistema operativo ha reso il sistema integrabile non solo all'interno di device "classici" come smartphone e tablet, ma potenzialmente anche in dispositivi wearable come smartwatch e smartglasses. I requisiti che hanno portato alla realizzazione del progetto sono nati dalle esigenze del settore ospedaliero e nello specifico del sistema Trauma Tracker, dove l'introduzione del sistema di tracciamento sviluppato è funzionale sia come dato per arricchire le informazioni raccolte durante gli eventi del trauma center, ma anche per andare a modificare il comportamento del sistema stesso in base al contesto in cui ci trova. Infine i test effettuati hanno evidenziato ottimi risultati sia in termini di velocità di rilevazione della posizione che di correttezza della rilevazione stessa e hanno permesso di comprendere meglio il comportamento del segnale e dei ricevitori in diverse condizioni, consentendo di fornire una prima proposta di configurazione del sistema all'interno degli ambienti dell'ospedale.

## 6.3 Sviluppi futuri

In questa sezione si vanno ad esporre gli sviluppi futuri riguardanti il sistema di tracciamento in Trauma Tracker, il primo riguarda un aspetto del progetto corrente mentre il secondo uno sviluppo del sistema generale di tracciamento e della sua infrastruttura:

- Il miglioramento principale che può essere apportato al sistema riguarda la *memorizzazione dei beacon registrati*. Quando il sistema sarà in esecuzione su più dispositivi mantenere le informazioni sull'associazione

beacon-stanza all'interno dell'applicazione potrà risultare scomodo nel caso in cui siano necessarie delle modifiche dovute alla manutenzione o all'aggiunta di nuove stanze e beacon da tracciare. Questo perchè sarà necessario effettuare delle modifiche direttamente al codice e reinstallare l'applicazione sui vari dispositivi. Mantenendo queste informazioni in una struttura dati all'interno dell'ospedale permetterebbe ai vari dispositivi di aggiornare queste informazioni qualora si verificano dei cambiamenti.

- Il sistema di tracciamento utilizzato risulta efficace qualora l'oggetto o la persona da monitorare sia accompagnata da un dispositivo android capace di fungere da ricevitore. Nel caso in cui la mole di dispositivi da tracciare risulti molto elevata è consigliabile passare a *un'infrastruttura di tipo server-based*, che diversamente dal caso di studio preso in esame in questa tesi utilizza dei gateway fissi come ricevitori e i beacon come dispositivi da tracciare. Il dipartimento di informatica di Cesena e l'ospedale Bufalini si stanno già muovendo verso questo tipo di infrastruttura, in particolare verso le soluzioni offerte dall'azienda italiana BlueUp, che mette a disposizione una vasta gamma di beacon tra cui beacon tag, beacon con autonomia maggiorata, beacon per ambienti esterni e dotati di sensori ambientali oltre a gateway e software per poterli utilizzare per la localizzazione. Questo tipo di soluzione permetterà non solo di gestire un maggior numero di elementi, ma anche di arricchire il sistema con nuove funzionalità. Naturalmente ciò non esclude il sistema realizzato, che potrà continuare ad operare in combinazione con la nuova tecnologia.

# Ringraziamenti

A conclusione della seguente tesi vorrei ringraziare prima di tutto la mia famiglia per avermi dato la possibilità di intraprendere e portare a termine questo percorso di studi.

Un grazie anche ai miei amici e ai miei compagni di università, che mi hanno accompagnato durante la carriera univesitaria.

Un sentito ringraziamento al Prof. Ricci e all'Ing. Croatti per avermi dato l'opportunità di lavorare a questo progetto, per la grande professionalità dimostrata e per tutti i consigli che mi hanno dato durante le fasi di sviluppo e di stesura della tesi.

Infine vorrei anche ringraziare i medici e gli operatori del trauma center dell'ospedale Bufalini di Cesena, per l'impegno e la costanza che mettono tutti i giorni nel loro lavoro.



# Bibliografia

- [1] Chouchang Yang, Huai-Rong Shao, *WiFi-Based Indoor Positioning*, IEEE Communications Magazine, 2015.
- [2] Mathieu Cunche, Célestin Matte, *On Wi-Fi Tracking and the Pitfalls of MAC Address Randomization*, Univ Lyon, INSA Lyon, Inria, CITI, France.
- [3] www.silabs.com, *Developing Beacons with Bluetooth® Low Energy (BLE) Technology*.
- [4] Kontakt.io, *Modernized Real-Time Location Systems Empower Major Verticals*.
- [5] 2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), *Fundamental Limits of RSS Fingerprinting based Indoor Localization*.
- [6] Vivek Chandel, Nasimuddin Ahmed, Shalini Arora, Avik Ghose *InLoc: An End-to-End Robust Indoor Localization and Routing Solution using Mobile Phones and BLE Beacons*, Innovation Labs Tata Consultancy Services Limited Kolkata, India (700156).
- [7] Croatti Angelo, Sara Montagna, Alessandro Ricci, *A Personal Medical Digital Assistant Agent for Supporting Human Operators in Emergency Scenarios.*, 2017.
- [8] Bouet, Mathieu, Aldri L. Dos Santos, *RFID tags: Positioning principles and localization techniques*, Wireless Days, 2008
- [9] Koyuncu, Hakan, Shuang Hua Yang, *A survey of indoor positioning and object locating systems*, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 2010.
- [10] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, *Survey of wireless indoor positioning techniques and systems.*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2007.

- 
- [11] Petr Sedlacek, Martin Slanina, Dominik Kovac, *An Overview of Indoor and Outdoor Positioning Technologies with Focus on their Precision*, 2016.
- [12] Mathieu Cunche, Célestin Matte, *On Wi-Fi Tracking and the Pitfalls of MAC Address Randomization*
- [13] J.Xiao, Z.Liu, Y.Yang, D.Liu, X.Han, *Comparison and analysis of indoor wireless positioning techniques*, 2011 International Conference.
- [14] D.Zhang, F.Xia, Z.Yang, L.Yao, W.Zhao, *Localization technologies for indoor human tracking*, IFuture Information Technology (FutureTech), 2010.
- [15] Kontakt.io, *Modernized Real-Time Location Systems Empower Major Verticals*
- [16] Kontakt.io *Active Monitoring with Beacons in the Healthcare Industry*
- [17] Paek, Jeongyeup, JeongGil Ko, Hyungsik Shin, *A measurement study of BLE iBeacon and geometric adjustment scheme for indoor location-based mobile applications*, Mobile Information Systems 2016.
- [18] Lin, Xin-Yu, et al., *A mobile indoor positioning system based on iBeacon technology*, 2015 37th Annual International Conference of the IEEE.
- [19] Radhakrishnan, Meera, et al., *Smartphones and ble services: Empirical insights*, 2015 IEEE 12th International Conference on. IEEE.
- [20] www.silabs.com, *Developing Beacons with Bluetooth® Low Energy (BLE) Technology*
- [21] lighthouse.io, *Indoor location technologies compared*, <https://lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/>
- [22] Ruadhán O'Donoghue, *Google's Beacon Platform and the Physical Web*, <https://mobiforge.com/design-development/googles-beacon-platform-and-the-physical-web>, 2016.
- [23] Devika Girish, *Bluetooth 5: How it will impact IoT, Beacons and more*, <https://blog.beaconstac.com/2016/06/bluetooth-5-how-it-will-impact-iot-beacons-and-more/>, 2016.
- [24] Apple Developer, *iBeacon*, <https://developer.apple.com/ibeacon/>
- [25] Google Developer, *Google Beacon Platform*, <https://developers.google.com/beacons/>

- 
- [26] Radius Network, *An Android library providing APIs to interact with Beacons*, <https://altbeacon.github.io/android-beacon-library/>
- [27] Estimote, *Developer Docs*, <https://developer.estimote.com/>
- [28] Infsoft, *White Paper Indoor Positioning & Services*
- [29] EM Microelectronic Marin SA, *EMBC Beacon Packet Specification*