

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

SCUOLA DI SCIENZE  
Corso di Laurea in Informatica per il Management

**SVILUPPO DI UN'APPLICAZIONE  
IN AMBITO FIERISTICO:  
TECNOLOGIE DI POSIZIONAMENTO  
E BEACON**

**Relatore:**  
Chiar.mo Prof.  
Luciano Bononi

**Presentata da:**  
Gabriele Carlucci

**Correlatore Aziendale:**  
Dott.ssa  
Yvonne Schmidt

**I Sessione  
Anno Accademico 2016/2017**

*Alla mia famiglia ...*



# Introduzione

Proprio in questi stessi giorni in cui io mi accingo a scrivere, perfezionare e produrre questa tesi, l'Unione Europea ha deciso di abolire i costi di roaming, una semplice scelta su uno dei tanti piccoli grandi argomenti di attualità che caratterizzano questo mondo sempre più connesso. E proprio la connessione è il tema ricorrente in queste pagine, ma non sto parlando solo di quella digitale o di rete, ormai presente ovunque e quasi a chiunque accessibile; mi riferisco al termine nel suo senso lato, cercando di separarlo in queste fasi iniziali del discorso, dal mondo informatico.

*"C'è un app per ogni cosa"*, dice lo slogan di casa Apple, ora forse questo è pretenzioso e potrebbe anche suscitare non poco sdegno in chi non vede di buon occhio l'eccessivo uso che si fa di questi dispositivi. Senza voler entrare eccessivamente nei dettagli e volendo rimanere imparziali nei confronti della "mela", non si può tuttavia dire che l'affermazione sia totalmente falsa: sicuramente è vero che ci sono ancora molte cose che un telefono cellulare di ultima generazione non può fare, ma allo stesso modo si deve prendere atto che molte invece sono le funzioni di cui dispone che sono state in grado di sostituirsi, in modo positivo o negativo che si voglia, all'uso di oggetti prima sicuramente più comuni. In un mondo caotico, in continua evoluzione e che difficilmente si ferma per permettere di mettersi in pari, avere un accesso portatile e diretto ad una fonte inesauribile di materiale e di sicurezza informativa non solo risulta ormai indispensabile ma permette anche di affrontare ciò che ci si para davanti nella maniera più diretta possibile. Nelle seguenti pagine mi accingo ad illustrare un progetto nato da un'esperienza di tirocinio

con l'azienda "BlickDesign", con l'intento di fornire nuove informazioni e un valore aggiunto a visitatori, espositori e organizzatori di un evento fieristico. L'obiettivo è stato quello di fornire una strumentazione che potesse agevolare le diverse fasi che caratterizzano la partecipazione ad una manifestazione di questo genere: dall'arrivo sul luogo dell'evento, alla consultazione di materiale fino ad un aiuto concreto nel posizionamento e nella navigazione all'interno dei padiglioni e fra i vari stand. Partiremo dall'analisi delle specifiche e dalla richieste del committente, valutando le diverse possibilità implementative e i limiti correlati, vedremo ciò che si è riuscito a realizzare per soddisfare quanto richiesto e dove invece è stato necessario fare un passo indietro. Particolare enfasi verrà posta sull'ambito che principalmente mi ha visto partecipare, ovvero quello delle tecnologie di posizionamento: confronteremo aspetti positivi e negativi di ognuna, dandone spiegazione del funzionamento. Concluderemo quindi con una visione più approfondita sui "Beacon", piccoli sensori per la localizzazione che sono stati da me ritenuti, fra tutte le tecnologie, quella che meglio si adattava a scopi, esigenze ed obiettivi del progetto.

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>i</b>
<b>1 Stato dell'Arte</b>	<b>1</b>
1.1 Geolocalizzazione e Navigazione Outdoor . . . . .	1
1.2 Geolocalizzazione e Navigazione Indoor . . . . .	5
<b>2 Progetto "Blick Eye"</b>	<b>9</b>
2.1 Obiettivi . . . . .	9
2.2 Specifiche . . . . .	10
2.2.1 Specifiche di Funzionamento . . . . .	11
2.2.2 Specifiche Tecniche . . . . .	14
2.3 Problemi e Limiti . . . . .	15
2.3.1 Mappatura . . . . .	15
2.3.2 Posizionamento Indoor . . . . .	17
2.3.3 Navigazione . . . . .	18
<b>3 Sviluppo dell'Applicazione</b>	<b>19</b>
3.1 Ambiente iOS . . . . .	19
3.1.1 Software Utilizzato . . . . .	20
3.1.2 Librerie aggiunte . . . . .	20
3.2 Struttura . . . . .	21
3.2.1 Main.storyboard . . . . .	23
3.3 Mappe Outdoor . . . . .	26
3.3.1 Mappe: Google vs Apple . . . . .	26

---

3.3.2	Implementazione . . . . .	28
3.4	Mappe Indoor . . . . .	32
3.4.1	Mappatura con JOSM . . . . .	32
3.4.2	Implementazione . . . . .	41
3.4.3	Posizionamento e Navigazione . . . . .	44
3.5	Settori Merceologici, Espositori, Eventi . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Tecnologie di Posizionamento</b>	<b>49</b>
4.1	Tecnologie per il posizionamento Indoor - Client Based . . . . .	49
4.1.1	Wifi . . . . .	50
4.1.2	Bluetooth . . . . .	53
4.1.3	Visible Light Communication . . . . .	54
4.1.4	Posizionamento Server Based . . . . .	54
4.2	Indoor Tracking . . . . .	55
4.2.1	RFID . . . . .	56
4.3	Indoor in ambiente fieristico . . . . .	56
4.3.1	Vantaggi . . . . .	57
4.3.2	Limitazioni . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Beacon</b>	<b>59</b>
5.1	Bluetooth . . . . .	59
5.1.1	Funzionamento . . . . .	60
5.1.2	Caratteristiche Tecniche . . . . .	63
5.1.3	Stati Operativi . . . . .	64
5.1.4	Bluetooth Low Energy . . . . .	65
5.2	Beacon . . . . .	66
5.2.1	iBeacon . . . . .	68
5.2.2	Eddystone . . . . .	70
5.2.3	Caratteristiche Tecniche . . . . .	71
5.3	Incidenza degli IBeacon sull'Applicazione . . . . .	73
5.3.1	Mappatura tramite iBeacon . . . . .	73

5.3.2	Posizionamento e Navigazione Indoor attraverso gli iBeacon . . . . .	74
5.4	Proximity Marketing . . . . .	74
<b>6</b>	<b>Sviluppi Futuri</b>	<b>77</b>
	<b>Conclusioni</b>	<b>79</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>81</b>



# Elenco delle figure

1.1	Posizionamento dei satelliti per il GPS . . . . .	2
1.2	Principio della Trilaterazione . . . . .	3
2.1	Esempio interfaccia grafica . . . . .	13
2.2	Esempio mappatura indoor . . . . .	16
3.1	TabBarController . . . . .	21
3.2	TabBar . . . . .	22
3.3	MainStoryboard dell'applicazione . . . . .	23
3.4	Schermata Home . . . . .	24
3.5	Schermata Home con Menù laterale . . . . .	25
3.6	Icona Mappe Google e Apple . . . . .	26
3.7	Mappe Google per l'outdoor . . . . .	29
3.8	Percorso visualizzato su Google Maps . . . . .	30
3.9	Codice per l'uso di PXGoogleDirection . . . . .	31
3.10	Zona fieristica su JOSM . . . . .	34
3.11	Zona fieristica orientata su JOSM . . . . .	35
3.12	Zona fieristica con stand . . . . .	35
3.13	Stand Mapping su JOSM . . . . .	37
3.14	Door Mapping su JOSM . . . . .	37
3.15	Progettazione griglia interna su JOSM . . . . .	38
3.16	Progettazione griglia esterna su JOSM . . . . .	39
3.17	Visualizzazione Mappe Indoor dall'App . . . . .	41
3.18	Codice per la visualizzazione Indoor . . . . .	42

---

3.19	File csv per il posizionamento degli Stand . . . . .	43
3.20	Menù di navigazione . . . . .	45
3.21	Navigazione all'interno dell'applicazione . . . . .	46
3.22	Visualizzazione dei Settori Merceologici . . . . .	48
5.1	Allocazione internazionale delle frequenze radio . . . . .	61
5.2	Caratteristiche Tecniche Bluetooth e BLE . . . . .	66
5.3	Diversi tipi di Beacon . . . . .	67
5.4	Informazioni chiave iBeacon . . . . .	68
5.5	Esempio d'uso degli iBeacon . . . . .	69
5.6	Specifiche Tecniche degli iBeacon utilizzati . . . . .	72

# Capitolo 1

## Stato dell'Arte

I capitoli successivi andranno prima a descrivere l'applicazione che ho contribuito a creare, per poi focalizzarsi sulle tecnologie di posizionamento, e in particolare sui Beacon; dato che sono state principalmente queste le mie aree di lavoro. Prima di proseguire tuttavia credo sia necessario fornire una breve "overview" generale delle metodologie usate nel campo della localizzazione e della navigazione. Andremo quindi a distinguere quelle utilizzate in ambienti esterni, dette "Outdoor" da quelle utilizzate all'interno di stabili o edifici, o dove in definitiva non abbiamo un collegamento diretto con i satelliti e quindi ci è precluso l'utilizzo del GPS, dette invece "Indoor".

### 1.1 Geolocalizzazione e Navigazione Outdoor

Per quanto concerne la tecnologia di posizionamento Outdoor questa è ormai ben sviluppata e la maggior parte dei dispositivi fa uso specialmente della tecnologia GPS, questa ormai è presente praticamente ovunque e rappresenta il principale monolite di riferimento in questo campo.

#### GPS

Il GPS, acronimo di "Global Positioning System", è un sistema di posizionamento e navigazione satellitare civile che, attraverso una rete dedicata di

satelliti artificiali in orbita, fornisce ad un terminale mobile o ricevitore GPS informazioni sulle sue coordinate geografiche, la localizzazione in particolare avviene tramite la trasmissione di un segnale radio da parte di ciascun satellite e l'elaborazione dei segnali ricevuti da parte del ricevitore. In particolare il suo funzionamento è legato alla presenza di 27 satelliti orbitanti, di cui 24 realmente operativi e 3 di riserva. Questi si trovano circa a 20 chilometri dalla Terra e compiono due rotazioni del pianeta al giorno mantenendo un'inclinazione di 55 gradi rispetto al piano equatoriale e muovendosi su 6 piani orbitali paralleli, il tutto è calcolato per fare in modo che in ogni momento ogni punto del pianeta venga visto da 4 satelliti contemporaneamente.[1]



Figura 1.1: Posizionamento dei satelliti per il GPS

Tuttavia la gestione di questi non è totalmente automatica, infatti viene affiancata da 4 stazioni di controllo a terra che si occupano di correggere le diverse orbite e di regolare gli orologi atomici di ogni satellite, senza questo ulteriore supporto il sistema non sarebbe in grado di funzionare e senza un continuo controllo diventerebbe inaccurato e in breve tempo inutilizzabile.[2] Il principio di funzionamento si basa sulla misura del tempo impiegato da un segnale radio per percorrere la distanza satellite-ricevitore, che viene calcolata a partire da un metodo di posizionamento sferico detto "trilaterazione". Questa si basa sul concetto matematico che afferma che per identificare in modo univoco un punto all'interno di un'area abbiamo bisogno esattamente di 3 punti di riferimento.[3]

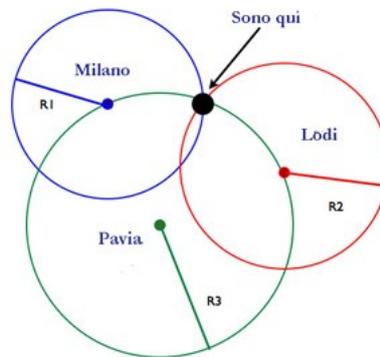


Figura 1.2: Principio della Trilaterazione

Possiamo vedere in dettaglio il concetto spiegato in Figura 1.2: sapendo di essere ad una certa distanza da Lodi, riesco a circoscrivere un'area circolare entro la quale potrei trovarmi, aggiungendo l'informazione della distanza da Milano riesco quindi ad identificare due possibili punti in cui potrei trovarmi, dati dalle intersezioni delle due circonferenze e infine aggiungendo la distanza da Pavia riesco a capire esattamente la mia posizione. L'unica differenza nel caso del GPS è che questo procedimento viene sviluppato con le 4 dimensioni, perciò dobbiamo immaginarci delle sfere al posto delle circonferenze. La parte restante del procedimento riguarda invece un "GPS Receiver", che nel dettaglio si occupa di localizzare i satelliti necessari e di misurare la distanza, questo riesce a comunicare con i satelliti utilizzando le alte frequenze con cui essi trasmettono segnali a terra. Per il calcolo della distanza fra receiver e satellite viene invece misurato il tempo che un segnale impiega per arrivare: ad un orario preciso, satellite e receiver generano un preciso codice da trasmettere, perciò quando questo arriverà al ricevitore, quest'ultimo sarà in grado di calcolare il tempo impiegato e da qui risalire alla distanza, considerando nell'operazione aritmetica la velocità della luce. La parte critica del processo è l'estrema precisione che i diversi orologi devono avere, perché anche un errore millesimale nel calcolo dell'orario si ripercuote con svariate centinaia di chilometri di incertezza sulla posizione.[4] Per ottenere una precisione

del genere, ogni satellite imbarca quattro costosissimi orologi atomici, che sfruttano le oscillazioni degli atomi di cesio e rubidio e che garantiscono uno standard di precisione assoluto, mentre per i receiver sono usati orologi che permettano un'assoluta precisione nel breve periodo, effettuando ad intervalli regolari una calibrazione a partire da quelli satellitari. In conclusione il GPS è sicuramente lo strumento più affidabile, preciso e anche più usato per effettuare una localizzazione e navigazione in ambienti esterni, tuttavia presenta anche degli svantaggi: primo fra tutti l'impossibilità di utilizzo dove non vi è una chiara visione e collegamento con i satelliti, motivo che lo rende inutilizzabile per gli ambienti "Indoor". Inoltre altra problematica principale è il forte consumo energetico del dispositivo richiesta per attivare e mantenere questa metodologia, in particolare dobbiamo considerare che all'accensione vi è un periodo di ricerca dei satelliti vicini ai quali collegarsi che comporta un notevole dispendio di risorse, tuttavia ad oggi con l'introduzione del GPS Assistito (A-GPS) si è in parte giunti a soluzione, attraverso la rete di telefonia mobile si fanno pervenire al terminale GPS le informazioni sui satelliti visibili dalla cella radio a cui l'utente è agganciato. In questo modo un telefono A-GPS può in pochi secondi ricavare la propria posizione iniziale.[1]

### **Localizzazione Cellulare**

Un altro tipo di tecnologia che credo sia opportuno accennare è la localizzazione cellulare tramite rete mobile delle telecomunicazioni, questa non fa uso di GPS e per tanto risulta meno precisa, ma rappresenta un'alternativa per tutti quei dispositivi che non implementano la tecnologia GPS, anche se oramai sono molto pochi. In questo caso la posizione è calcolata sfruttando le antenne radio a cui un cellulare è connesso per i servizi di telefonia mobile. Potenza e precisione dipendono grandemente dalla disposizione delle antenne su cui sono situate le diverse celle. Essendo il funzionamento vincolato al numero di queste che sono visibili e alla potenza del segnale, avremo di conseguenza differenti livelli di efficienza a seconda del luogo in cui ci troviamo, ad esempio lo sarà poco fuori dai centri urbani dove le antenne radio sono

più rade, mentre lo sarà di più nelle città più grandi.[5]

## 1.2 Geolocalizzazione e Navigazione Indoor

La navigazione "Indoor" rappresenta la nuova frontiera di scoperte per quanto riguarda posizionamento e navigazione, dispone di più alternative rispetto a quelle viste per gli ambienti "Outdoor" che vanno valutate e considerate a seconda dei casi, poiché alcune si rivelano più efficienti di altre solo in alcuni contesti. Nei capitoli successivi avremo modo di vedere diverse tipologie di implementazioni e spiegherò quali sono i principali metodi di posizionamento, quindi per evitare eccessive ripetizioni andrò qui solo a delineare linee guida che è possibile seguire per differenziare queste tecnologie.

### Localizzazione Radio

In questo caso ci si basa su infrastrutture interne o esterne costituite da trasmettenti e ricevitori: solitamente le apparecchiature che fungono da antenne vengono situate in posizioni ben precise e conosciute a priori, in modo che si possa effettuare una triangolazione a partire da questi dati e combinandoli con la differenza di potenza dei diversi segnali ricevuti dal dispositivo ricevente. In sistemi di questo tipo solitamente l'utente ha possibilità di visualizzare la sua posizione e i suoi spostamenti in tempo reale su mappa, che è solitamente costruita dall'utente stesso a livello di mappatura dell'ambiente interno. Molti di questi sistemi di navigazione permettono il tracking indoor a tre dimensioni e si basano su reti radio UWB (Ultra Wide Band), Bluetooth, ZigBee o Wi-Fi con il supporto di chip RFID (Radio Frequency IDentification o identificazione a radio frequenza). [6] Gli inconvenienti legati a questo tipo di localizzazione sono dovuti alle possibili interferenze e cadute di segnali che si possono avere all'interno di un ambiente chiuso, vista la presenza di numerosi ostacoli, inoltre molto spesso un altro limite è posto dal costo delle infrastrutture necessarie.[7]

### **Dead reckoning**

Questo processo, come già detto per quelli precedenti, richiede sempre una mappatura interna dell'edificio, tuttavia a livello di costi presenta notevoli vantaggi offrendo un'infrastruttura necessaria piuttosto minima. Il principio di funzionamento non è altro che una stima della posizione utente partendo da una conosciuta posizione iniziale, queste stime possono essere quindi ottenute, ad esempio, mediante l'uso dei diversi sensori presenti all'interno di uno "smartphone" come può essere il barometro al fine di scoprire esattamente a che piano di un edificio l'utente si trova, o il giroscopio per calcolare velocità di movimento e spostamento. Chiaramente in un'ottica di questo genere maggiori sono i dispositivi e quindi le informazioni che si possono ottenere più è precisa la stima conclusiva, in ogni caso a livello di localizzazione ha incertezza maggiore rispetto ai metodi precedenti.[8]

### **Riconoscimento ambientale**

Una diversa tecnologia basata sempre su sensori dello "smartphone", in questo caso possiamo utilizzare la fotocamera e un "database d'immagini" per riconoscere punti chiave del luogo all'interno del quale ci stiamo muovendo e avere così una stima della nostra posizione. Anche in questo caso abbiamo bassi costi a livello della tecnologia hardware e una localizzazione abbastanza accurata, tuttavia è limitato l'aspetto della navigazione.[9]

### **Campo Magnetico**

Infine fra le ultime tecnologie, ci sono delle mappature che oltre ad avere la disposizione interna dello stabile mappano anche il campo magnetico, ne è un esempio la piattaforma online "Indoor Atlas".[10] Avendo quindi delle informazioni sul magnetismo è possibile attraverso i sensori del dispositivo, quali la bussola, avere una localizzazione precisa con bassi costi. In ogni caso possono sorgere diverse problematiche in luoghi particolarmente affollati in quanto l'alta concentrazione di individui influisce non poco sulla variazione

di campo magnetico che quindi potrebbe poi non riuscire ad interfacciarsi con quella effettuata precedentemente.



## Capitolo 2

# Progetto "Blick Eye"

In questo secondo capitolo è descritta l'esperienza di tirocinio per tesi svolta con "Blick Design", che mi ha portato allo sviluppo dell'applicazione. Partendo dagli obiettivi andrò a discutere delle scelte implementative che ho adottato e come si è sviluppato l'intero percorso che mi ha portato all'utilizzo della tecnologia "iBeacon" per la localizzazione Indoor . Prima di iniziare vorrei inoltre sottolineare che l'intero lavoro è stato sviluppato in forte legame e correlazione con quello dello studente "Giovanni Londei", che occupandosi della parte di mappatura, mi ha permesso di progredire in modo spedito ed efficiente; in merito a questo nei paragrafi successivi, là dove presente il plurale, identifica un lavoro congiunto di entrambi i componenti del gruppo sulla tematica in questione.

### 2.1 Obiettivi

L'idea alla base dell'applicazione mobile chiamata "Blick's Eye", è quella di fornire un valore aggiunto ad eventi espositivi per espositori, visitatori ed organizzatori offrendo informazioni importanti sulla manifestazione e rendendole facilmente accessibili.

Vediamo un elenco descrittivo delle principali caratteristiche:

**Client-based solution** per iOS e Android;

**Navigazione Indoor** su mappa digitale considerando padiglioni fieristici su più livelli, eventuale spazio "outdoor", ecc..;

**POI** personalizzazione dei punti d'interesse;

**Database** gestione e ricerca di informazioni;

**Spazi Pubblicitari** per eventuale advertising;

**Integrazione GPS** consentendo all'utente una navigazione "da casa all'evento"

In sintesi, l'intento è stato quello di creare una modalità di consultazione efficiente di quanto offerto dalla fiera e allo stesso tempo lasciare spazio a funzionalità che permettessero un'agevole esperienza, cercando di trovare soluzione ai classici intoppi che potrebbero essere presenti durante un'attività di questo genere: come arrivare, localizzare gli stand più interessanti, organizzare la visita, avere "un'overview" complessiva di ciò che viene offerto, ecc...

In ogni caso il prodotto finale non è inteso per un singolo utilizzo, o meglio, quello che viene prodotto è sì basato su uno specifico evento, tuttavia l'obiettivo è appunto quello di creare una singola struttura che possa quindi essere facilmente modificabile e adattabile da fiera a fiera, potendo così vendere un servizio agli organizzatori che con poche settimane di anticipo sia completamente trasformabile per essere poi utilizzato nello specifico evento di riferimento. In definitiva il contenuto è variabile ma struttura di utilizzo e funzionalità implementate rimangono invariate.

## 2.2 Specifiche

Di seguito andiamo a vedere più nello specifico quali sono le specifiche su cui si basa l'intero progetto, queste ci furono richieste dall'azienda a seguito del primo incontro, ma non tutto venne poi realizzato, questo perchè in parte si è optato per soluzioni alternative che meglio rispettavano i traguardi finali

e in parte perchè visto il non poco lavoro da svolgere, si è deciso di implementare per prime le funzionalità assolutamente necessarie per un corretto funzionamento e utilizzo dell'applicazione. Partiremo analizzando le "specifiche di funzionamento", ovvero gli intenti e il "concept" di usabilità, che l'azienda, ritiene debba essere proprio dell'app. Successivamente passeremo alla parte tecnica evidenziando le implementazioni più interessanti e in che ottica si è passati dall'idea di partenza alla vera e propria realizzazione.

### 2.2.1 Specifiche di Funzionamento

Come è stato detto, l'obiettivo principale da raggiungere è la possibilità per l'utente di avere a disposizione uno strumento facile, accessibile e completo che lo guidi, e dove possibile lo aiuti, durante un evento fieristico, perciò per non mettere limiti in questo senso abbiamo rinunciato ad un sistema di "autenticazione/login", in modo da fornire accesso diretto e completo, fin dai primi istanti, a tutte le funzionalità.

Queste a seconda del tipo di informazioni che forniscono, possono essere divise in diversi gruppi:

1. Informazioni di navigazione
2. Informazioni di localizzazione
3. Informazioni di consultazione

Le prime, come si evince dal nome, permettono di avere consigli sugli spostamenti sia interni che esterni alla fiera, questo comprende sia il "come arrivare" sul luogo, sia il "come visitare" l'evento stesso. Per quanto riguarda la parte di navigazione esterna la richiesta è quella di fornire all'utente tutte le informazioni che potrebbero rendergli più agevoli lo spostamento in tal senso, ad esempio eventuali treni con orari annessi nel caso in cui si trovi in un'altra città rispetto a quella del luogo della fiera, piuttosto che gli orari degli autobus o il percorso pedonale più breve, nel caso in cui si trovi già nelle vicinanze. Tuttavia la richiesta di funzionalità per l'assistenza negli spostamenti non si

limitano a quelle per raggiungere il luogo designato, ma devono essere presenti anche per una navigazione interna allo stesso: in particolare ci si riferisce all'individuazione di un percorso "da stand a stand" o "da posizione utente a stand" a seconda di quanto richiesto dall'utente stesso, comprendendo anche una guida sui diversi livelli dell'area fieristica e su eventuali spazi aperti.

Ovviamente affinché tutto questo risultasse possibile sono state richieste anche funzionalità di localizzazione che permettessero l'individuazione, non solo della posizione utente, ma anche della precisa disposizione degli stand, contrassegnando ciascuno di essi in modo da renderlo univocamente riconoscibile dagli altri.

Sempre restando in un'ottica di informazione, all'applicazione viene anche richiesto di fornire tutti i dettagli riguardanti settori merceologici ed espositori: una struttura tabellare, che tuttavia risulti facilmente consultabile, contenente informazioni generali che potrebbero essere utili anche al di fuori dell'ambiente fieristico.

Per quanto riguarda l'interfaccia grafica ci è stato richiesto di realizzare, partendo da immagini esempio fornite dal committente, una struttura semplice e facilmente consultabile, che non risultasse troppo complessa e con una lunga sequenza di menù, per favorire il passaggio da una funzionalità all'altra.



Figura 2.1: Esempio di interfaccia grafica fornito dal committente

Questa inoltre prevedeva la presenza di icone personalizzate per location specifiche all'interno dell'area fieristica (POI - Point Of Interest) e per gli stand segnalati come "preferiti" dall'utente stesso. Altre richieste di carattere secondario presenti nelle specifiche, che tuttavia non sono state considerate di primaria importanza fin da subito ma più come eventuali accorgimenti graditi, sono state la predisposizione per eventuali spazi pubblicitari e una gestione dell'applicazione possibile anche a chi non avesse particolari conoscenze informatiche.

In particolare questo ultimo punto riguarda la gestione dei dati inseriti all'interno dell'applicazione che cambiano da fiera a fiera e da evento a evento, ne sono un esempio: l'elenco degli espositori, le informazioni di ognuno di questi e i settori merceologici. Dovendo questi cambiare, a differenza della

struttura dell'applicazione, è essenziale che possano essere modificati e gestiti nel modo più semplice e possibilmente senza dover intervenire direttamente sul codice.

### 2.2.2 Specifiche Tecniche

Dal punto di vista tecnico le limitazioni e richieste che ci sono state fatte sono sicuramente meno dettagliate e stringenti rispetto a quelle di funzionamento, questo perché per l'azienda risultava chiaro quale fosse il senso dell'applicazione che si andava a realizzare mentre erano molto meno salde le conoscenze sul "come farlo". All'interno del primo documento non si faceva riferimento a particolari indicazioni, veniva solo espressa l'intenzione di sviluppare un "posizionamento indoor con navigazione da posizione a posizione su mappa digitale" affiancata da qualche indicazione tecnica facente riferimento alla localizzazione attraverso la tecnologia WiFi con l'aiuto di RSSI (Received Signal Strength Indication), tuttavia come vedremo nel capitolo successivo questa soluzione non sarebbe stata una scelta ottimale poiché presenta diversi problemi, primo fra tutti, la diversa valutazione di potenza del segnale da apparecchio a apparecchio. Sulla localizzazione "outdoor" invece si è fin da subito individuato nella tecnologia GPS la scelta implementativa migliore e si è sempre proseguiti su questa strada. Per tutto ciò che non riguarda localizzazione e navigazione abbiamo avuto la piena libertà di sviluppo e eccezion fatta per alcuni elementi grafici non sono state seguite particolari linee guida iniziali, anche dal punto di vista di librerie,framework e in generale su tutti gli aspetti del codice non abbiamo ricevuto particolari indicazioni, perciò abbiamo scelto di utilizzare gli strumenti che meglio rispondevano alle nostre necessità.

## 2.3 Problemi e Limiti

Fin dalle prime fase di analisi, successive alle prime letture delle specifiche, ci siamo accorti che non erano pochi i punti oscuri e inesatti dal punto di vista implementativo che dovevano essere considerati. Di seguito andiamo a descriverli in dettaglio, analizzando le problematiche principali, alcune delle alternative, come potevano essere affrontate e in definitiva come sono state risolte.

### 2.3.1 Mappatura

Una delle problematiche principali e più ostiche che abbiamo dovuto affrontare è stata sicuramente quella delle Mappature, queste ultime sono essenziali quando ci si trova ad affrontare il problema del posizionamento interno ad ambienti chiusi, poiché è indispensabile possedere un'accurata planimetria dell'edificio o comunque una mappa o cartina che mostri la disposizione interna delle stanze. Dal punto di vista informatico esistono diverse metodologie per affrontare questo tipo di situazione: alcune prevedono l'utilizzo di hardware o dispositivi appositi con i quali monitorare l'ambiente al fine di ricavarne un posizionamento degli stabili e un'analoga immagine digitale, altre prevedono l'utilizzo di piattaforme online che offrono pacchetti completi dediti a fornire questa tipologia di servizi. Considerando queste opzioni e valutandole anche con il committente stesso, tuttavia non abbiamo potuto non notare il presentarsi di ulteriori ostacoli non indifferenti, che andavano inoltre ad aggravarsi all'interno di un contesto fieristico quale quello per cui era stata pensata l'applicazione. Innanzitutto la maggior parte delle soluzioni richiede una presenza "in loco" dell'utente addetto alla costruzione di tali mappature, questo perché è spesso richiesto un sopralluogo dell'ambiente che deve essere mappato, ma questo non risulta sempre possibile in un'ottica di gestione di fiere globali e soprattutto considerato che molte di queste potrebbero avvenire a cavallo di stessi giorni o stesse settimane, aggiungendo a ciò

che l'azienda committente è di piccole dimensioni, questo tipo di risoluzione del problema diventa sempre meno appetibile.

La soluzione ideale doveva non solo eseguire delle mappature abbastanza precise dell'ambiente per poter poi permettere di inserire la corretta disposizione degli stand all'interno dell'area fieristica, ma doveva anche permettere di farlo senza un'obbligata presenza nel luogo dove la fiera si sarebbe svolta.

Altro elemento da considerare è che la mappatura indoor da eseguire è diversa da quella di un edificio, infatti in quest'ultimo le stanze e gli ambienti interni in generale, sono meno suscettibili ai cambiamenti rispetto a quelli di un padiglione fieristico, dove invece ci potrebbero essere dei cambiamenti fino a pochi giorni prima dell'apertura dell'evento; inoltre le variazioni che potrebbe subire non è detto siano uguali da fiera a fiera, perciò una stessa area potrebbe presentare un determinata suddivisione interna solo per un periodo molto limitato di tempo. Tutto questo va a delineare un'altra importante proprietà delle nostre mappature: devono essere facilmente modificabili, nel caso ci fosse un cambiamento a ridosso della data di inizio dell'evento, sarebbe infatti impensabile dover ricalibrare le mappature partendo da zero.

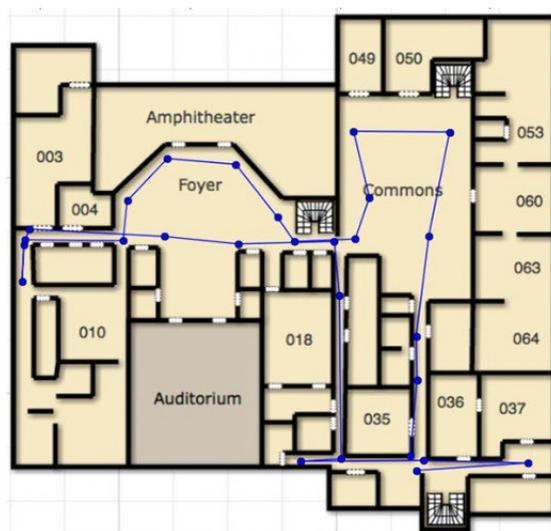


Figura 2.2: Esempio di mappatura indoor

### 2.3.2 Posizionamento Indoor

Il posizionamento è stato meno impegnativo a confronto delle mappature, sebbene i due argomenti siano in larga parte collegati; l'idea di partenza è stata quella di avere una localizzazione automatica dell'utente che permettesse di avere indicazioni a partire della sua attuale posizione. Questo non è stato un particolare problema considerando il posizionamento esterno per le funzionalità che aiutassero l'arrivo in fiera, infatti ci si è semplicemente basati sull'utilizzo della tecnologia GPS. Molto diversa invece è stata la situazione per quanto riguarda l'interno della fiera: come detto nel capitolo sulle specifiche le intenzioni iniziali si basavano su un calcolo della posizione partendo dalla forza dei segnali delle reti presenti (RSSI), ricevuti dal dispositivo. Tuttavia questa soluzione presentava diversi intoppi, in "primis" non tutti i telefoni cellulari valutano uno stesso segnale con la stessa forza di intensità, perciò si sarebbe dovuto trovare un metodo per omogeneizzare la potenza del segnale e oltre a questo, ancora una volta la natura stessa di ambiente fieristico contribuiva ad ostacolare la possibile soluzione: molto spesso all'interno di un padiglione, le diverse aree vengono separate o delimitate attraverso pannelli di sughero e/o cartongesso, questi avrebbero limitato la forza dei segnali ricevuti, che ancora una volta sarebbero stati valutati in modo diverso da dispositivo mobile a dispositivo mobile.

Alla fine la tecnologia utilizzata è stata quella degli iBeacon, che ad una prima analisi potrebbe apparire simile al concetto RSSI, poiché anche in questo caso ci si basa su una localizzazione legata alla diversa potenza dei segnali ricevuti, tuttavia in questo caso l'area di copertura di ogni iBeacon è più frequente, anche se di minore portata e più facilmente gestibile, dipendendo da dove questo viene posizionato. Inoltre un altro aspetto a favore dei sensori di casa Apple è che venendo posizionati prima dell'apertura della fiera, è garantita la loro presenza e quindi di conseguenza anche la ricezione dei segnali da parte dei dispositivi, cosa che non è altrettanto vera nel caso si facesse affidamento solo sulla presenza di una rete WiFi (ad esempio) interna all'area fieristica.

### 2.3.3 Navigazione

Una volta stabilite le implementazioni che permettono di localizzare l'utente e possedendo una mappatura dell'ambiente interno in questione, l'ultimo discorso che può essere affrontato è quello riguardante la navigazione. Anche in questo caso non è tanto la situazione outdoor a rappresentare un problema, questa infatti può essere semplicemente risolta facendo uso delle librerie messe a disposizione da uno dei tanti servizi di mappe (ex. Google Maps, Apple Maps, ecc..), bensì è la navigazione indoor a richiedere un sistema di implementazione alternativo, infatti qui non è possibile fare uso di librerie preimpostate che consentano di tracciare un percorso specifico fra i vari stand, questo anche perché non vi è alcuna informazione riguardante eventuali indicazioni all'interno di un padiglione fieristico.

Una prima possibilità è quella di identificare questi percorsi durante le prime mappature dell'ambiente, in modo da avere un chiaro quadro delle zone attraversabili dall'utente, tuttavia in questo modo si ripresentano tutte le problematiche viste in precedenza. Altro aspetto di cui è necessario tenere conto è la possibilità di dover attraversare anche zone esterne per raggiungere uno specifico stand, oppure dover salire o scendere di piano all'interno dei diversi edifici. Anche in questo caso sono state prese in esame diverse alternative, prima fra le quali la possibilità di adottare una navigazione tramite database fotografico, ovvero l'utente veniva guidato all'interno dello stabile tramite la visualizzazione di "oggetti chiave" che garantivano la sua posizione in prossimità di un particolare luogo, proseguendo quindi in modo analogo fino a raggiungere la destinazione voluta. Uno dei punti di vantaggio è dato dalla possibilità di poter riusare il database fotografico per diverse fiere, anche a distanza di tempo, nel caso si tengano nella stessa area fieristica, tuttavia bisogna anche considerare che una soluzione di questo genere prevede un consumo maggiore di memoria del dispositivo, per la necessità di archiviare le immagini ai fini della navigazione, e comunque richiede un incaricato che si prenda l'impegno di comporre tutto il database grafico necessario, motivazioni che alla fine hanno portato a scartare l'opzione.

## Capitolo 3

# Sviluppo dell'Applicazione

In questo terzo capitolo vado a scrivere e spiegare in dettaglio come si è sviluppata l'applicazione, spiegando alcune scelte implementative e illustrandone il funzionamento. Quanto scritto di seguito è il risultato di diversi cambiamenti, successi e fallimenti; le diverse implementazioni sono spesso state discusse sia fra di noi componenti del gruppo sia con il committente aziendale e sono frutto di diversi pensieri e ripensamenti, non è detto che restino stabili in futuro o che siano le soluzioni migliori presenti, tuttavia molto spesso sono state scelte in virtù di compromessi che riuscivano ad associare ad un buon tempo di sviluppo un risultato funzionale e decoroso.

### 3.1 Ambiente iOS

Nel mercato delle applicazioni di oggi abbiamo solitamente almeno una versione iOS e una versione Android e così sarà anche per la nostra, tuttavia qui di seguito mi concentrerò sulla versione iOS essendo stata la prima versione a essere sviluppata e quindi quella su cui sono stati svolti i diversi "test". In particolare ci siamo serviti sia di un servizio di emulatore messo a disposizione da Apple attraverso il programma "Xcode" per avere una panoramica generale dell'applicativo sui diversi device, sia di dispositivi veri e

propri per le prove finali o che comunque necessitavano di un risultato più pratico.

### 3.1.1 Software Utilizzato

Prima di iniziare fornisco una panoramica generale sul software utilizzato durante questo periodo di lavoro:

**Xcode** Ambiente di sviluppo integrato per sistemi iOS

**Swift** Linguaggio di programmazione object-oriented per sistemi iOS

**Google Maps** Servizio offerto da Google per la visualizzazione di mappe

**Open Street Map** Servizio collaborativo libero per la visualizzazione di mappe

**JOSM** Editor Java per OpenStreetMap

**Sketch** Programma per la creazione Design

**GitHub** Servizio di hosting per progetti software

**Dropbox** Servizio di condivisione file

### 3.1.2 Librerie aggiunte

Oltre ai software e programmi sopra elencati sono state usate anche alcune librerie esterne che permettevano di svolgere particolari compiti richiesti nel modo più efficiente possibile, in particolare :

**SWRevealViewController** Libreria utilizzata per la creazione di un side Menù di collegamento fra la Homepage dell'applicazione e le funzioni secondarie [11]

**PXGoogleDirection** Libreria utilizzata per ottenere le indicazioni stradali fornite da GoogleMaps, arricchite di informazione sui trasporti.[12]

## 3.2 Struttura

L'applicazione è stata pensata per garantire un ulteriore aiuto e un valore aggiunto ad organizzatori e visitatori di un evento fieristico, perciò le diverse funzionalità dovevano essere facilmente raggiungibili, intercambiabili fra loro e intuitive, al fine di raggiungere questo traguardo abbiamo lavorato per ottenere una struttura semplice e non troppo caotica, che ponesse le implementazioni principali in bella vista e le secondarie in modo che fossero raggiungibili senza sforzo ma che non andassero a confondersi con le precedenti.

Il risultato raggiunto è mostrato in Figura 3.3; il punto di partenza è stata l'implementazione di un "Tab-bar-Controller", citando la guida sviluppatore Apple, questo "risulta utile quando si vuole organizzare la propria app con una struttura basata su linee funzionali, volendo fornire diverse prospettive di uno stesso set di dati" (Guide Apple Developer, View Controller Catalog for iOS) [13].



Figura 3.1: Componenti del TabBarController

Nella Figura 3.1 soprastante, possiamo vedere nel dettaglio i diversi elementi che compongono il "TabBarController": la "view" è ciò che appare sullo schermo dell'utente ed è composta da un contenuto personalizzato a seconda di ciò che viene selezionato dalla "Tab bar". Quest'ultima nell'applicazione, Figura 3.2, permette la navigazione attraverso "Home", "Indoor Map", "Lista Espositori", "Settori Merceologici" ed "Eventi".



Figura 3.2: TabBar dell'applicazione

Per il collegamento fra le diverse view si è anche fatto largamente uso del "Navigation Controller", così facendo ci è stato possibile mantenere determinati elementi di visualizzazione durante i passaggi fra le schermate, quali titoli e bottoni di navigazione.

## 3.2.1 Main.storyboard

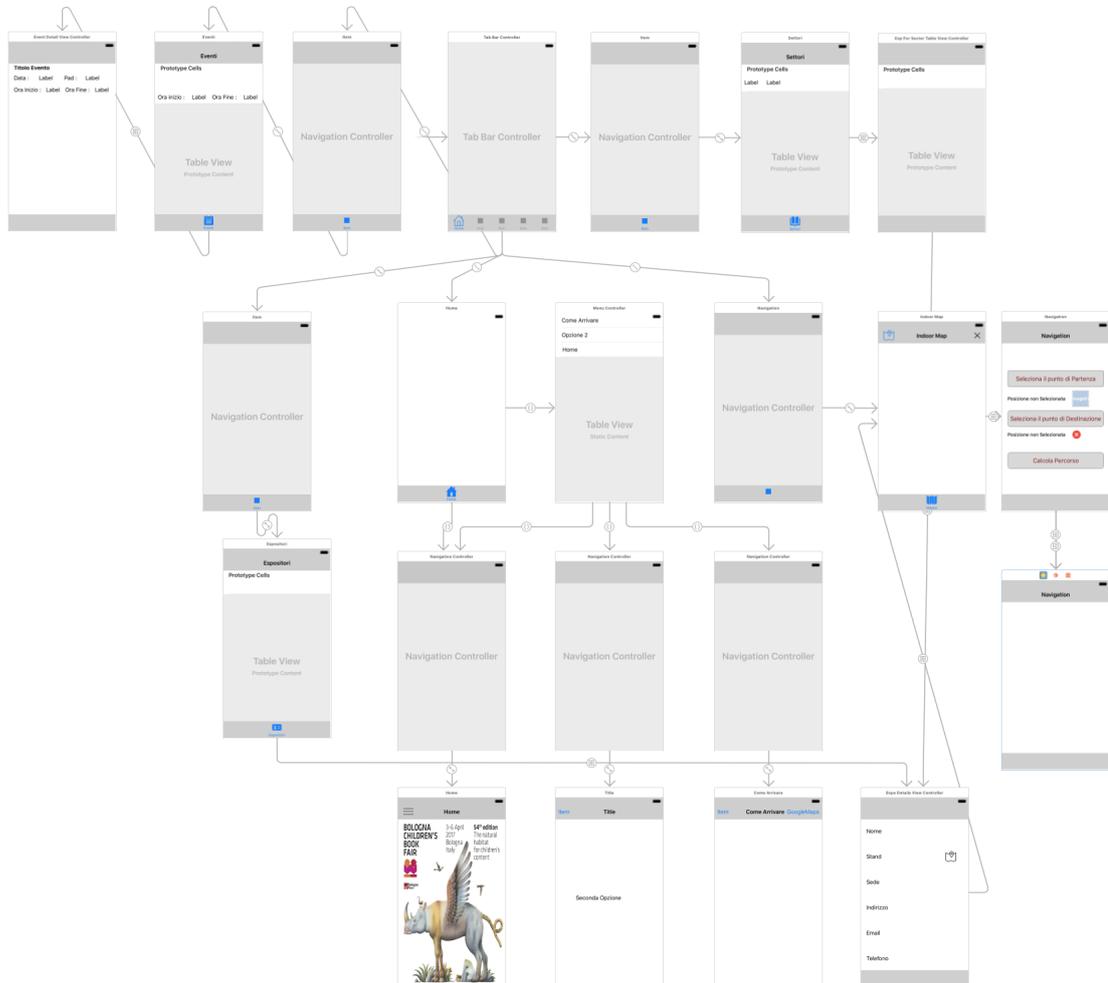


Figura 3.3: Storyboard dell'applicazione

Nel seguito del capitolo mi soffermerò nel dettaglio sull'implementazione delle funzionalità principali dedicando loro sezioni apposite, tuttavia qui vorrei prima soffermarmi su altre parti di progetto che meritano poche righe di spiegazione su quale sia la loro funzione e su come siano state pensate, progettate e strutturate.

### Menù ed Home

All'avvio dell'applicazione, la prima pagina ad essere visualizzata è quella della "home", questa contiene poche cose e principalmente di carattere descrittivo: una locandina della fiera riportante le informazioni principali quali giornate e luogo di svolgimento, e un menù laterale che permette l'accesso alle funzionalità secondarie o comunque a tutte quelle aggiunte considerate come contorno dell'applicazione.



Figura 3.4: Schermata Home

Ho già menzionato il "SWRevealViewController", ovvero la libreria utilizzata per l'implementazione del menù laterale. Questa permette di creare una schermata a comparsa e di "nasconderla" dietro ad un'altra view che avrà lo scopo di funzionare da immagine di facciata; nel nostro caso il menù è appunto coperto inizialmente dalla schermata Homepage, che è pronta a farsi da parte appena questo viene richiamato.

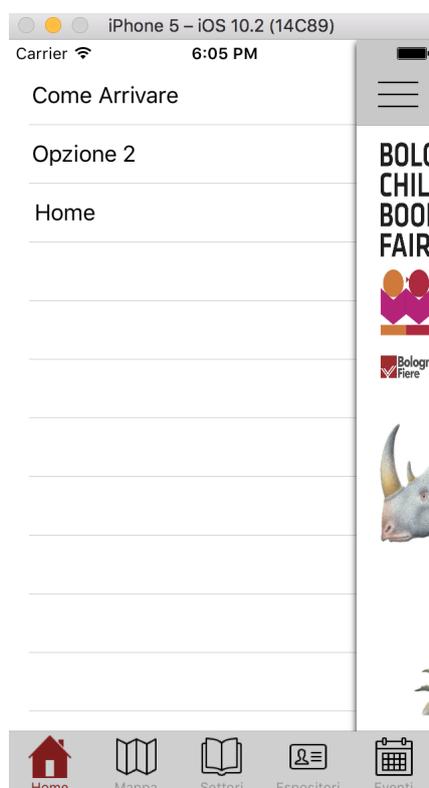


Figura 3.5: Schermata Home con Menù laterale

Inoltre essendo la libreria stata scritta e sviluppata in Objective-C, sono ricorso all'uso del "Bridging-Header" per poterla importare con successo: questo infatti permette di comunicare con le diverse classi di un progetto precedente (o come in questo caso di una libreria) sebbene questi non siano in linguaggio "Swift".[14]

## 3.3 Mappe Outdoor

Fra le diverse implementazioni richieste per l'applicazione, le prime a cui ho lavorato sono state quelle per la geolocalizzazione e navigazione "outdoor", ovvero riguardanti il come arrivare in fiera a partire dal luogo in cui si trova l'utente. L'obiettivo era di dare più di semplici indicazioni stradali, volevo che l'utente avesse anche la possibilità di scelta fra i diversi mezzi di trasporto, sapendo anche quali sarebbe stato più opportuno prendere e gli orari in cui avrebbe potuto usufruire del servizio. Per quanto riguarda gli aspetti di realizzazioni ho optato per l'appoggio a mappe e servizi già avviati, conosciuti e completi, su questo fronte le scelte sono state dominate da due opzioni : servizi "GoogleMaps" e servizi "AppleMaps".

### 3.3.1 Mappe: Google vs Apple

Due strade erano possibili per raggiungere le finalità proposte, entrambe molto valide e fornite, due diversi servizi che ad un primo utilizzo potrebbero presentare aspetti simili e poche differenze, basate soprattutto su preferenze personali, eppure l'ago della nostra bilancia si è infine spostato verso quelli di Google. Perché ?



Figura 3.6: Icona Google Maps e Icona Apple Maps

Innanzitutto andava considerato, che nonostante la prima versione dell'applicazione sarebbe stata per dispositivi iOS, questa sarebbe poi stata

sviluppata anche in Android, in merito a questo l'utilizzo di Google permetteva di andare ad utilizzare le stesse mappe su entrambe le versioni, cosa che non sarebbe stata possibile usando i servizi Apple poiché questi sono presenti solo sui suoi dispositivi. Ovviamente questa non è l'unica motivazione, infatti sarebbe stato comunque possibile creare due applicazioni, ognuna con i suoi servizi di mappe a seconda del sistema operativo dello smartphone che l'avrebbe utilizzata, ma questo comportava il doversi documentare su due diverse tipologie di funzionamento e utilizzo, particolare che avrebbe sicuramente allungato i tempi di sviluppo, "svantaggio" che non sarebbe stato ben visto dal committente in quanto era sua premura riuscire ad avere una versione di prova il prima possibile. Tuttavia anche l'utilizzare servizi di Google su dispositivi Apple, sebbene questi siano presenti, ha i suoi lati negativi: all'uscita di una nuova "release" del linguaggio Swift - usato per sviluppare le applicazioni iOS - buona parte del codice che potrebbe risultare obsoleto dopo le possibili aggiunte della nuova versione, viene automaticamente aggiornate in modo da consentire di avere un codice pulito e sempre in pari con le ultime novità, ovviamente questa possibilità viene meno se si fa uso di librerie non sviluppate da Apple stessa, come appunto sono quelle delle mappe Google, perciò questo comporta un maggiore lavoro dal punto di vista della manutenzione in un'ottica di versioni future dell'applicazione. Da entrambe le scelte consegue quindi un ritardo e considerando che quello derivante dall'aggiornamento rischia di ripetersi più volte durante il ciclo di vita dell'applicazione, sarebbe più conveniente accettare quello che dipende dall'utilizzo dei due servizi diversi, ognuno sul rispettivo sistema; tuttavia va anche considerato che in un contesto di mercato, per noi avere un prototipo nel minor tempo possibile potrebbe fare la differenza a livello di concorrenza, visto che molte sono le aziende che cercano di offrire una tecnologia simile, ne consegue l'aver preferito uno sviluppo più rapido a fronte di un qualche rischio futuro. Non è questo l'unico motivo che mi ha spinto ad usare i servizi di Google, infatti anche dal punto di vista della navigazione questi al momento forniscono una migliore attendibilità: non sono pochi i quartieri o

locali che compaiono sulle mappe Google ma che allo stesso tempo sembrano non trovare posto in quelle di Apple; situazione analoga per i trasporti, che soprattutto a livello europeo sembrano avere maggiori dettagli e informazioni.

### 3.3.2 Implementazione

Come ho già più volte ribadito, all'utente viene data la possibilità qualora non si trovasse nel luogo della fiera, di avere accesso ad una modalità di GPS che gli fornisca informazioni su come raggiungere l'evento a partire dalla sua posizione, questa funzionalità è raggiungibile dal menù presente nella schermata di "Home", come è possibile vedere dalla precedente Figura 3.5.

Una volta richiamato il servizio il primo controllo che viene eseguito riguarda il controllo dei servizi di localizzazione, ovvero del GPS che si rivela necessario per il corretto funzionamento della funzionalità. A questo proposito vorrei anche sottolineare che l'applicazione fa presente all'utente, attraverso l'apparizione di un "alert", che i servizi di localizzazione sono sì necessari, ma che allo stesso tempo devono essere autorizzati per chiare motivazioni di privacy. Nel caso in cui questi siano correttamente attivati e autorizzati, risalgono alla posizione dell'utente e calcolano automaticamente il tragitto (in auto) più breve per raggiungere il luogo dove si tiene l'evento.

Nel dettaglio sulla mappa compaiono due puntatori, uno rosso che indica la posizione attuale dell'utente e uno verde che rappresenta la destinazione; il percorso più veloce viene messo in risalto, evidenziandolo. Ho previsto che la mappa segua anche un eventuale spostamento dell'utente, aggiornandosi quando la sua posizione cambia, in modo che sia sempre aggiornato riguardo la distanza corrente che lo separa dalla fiera.

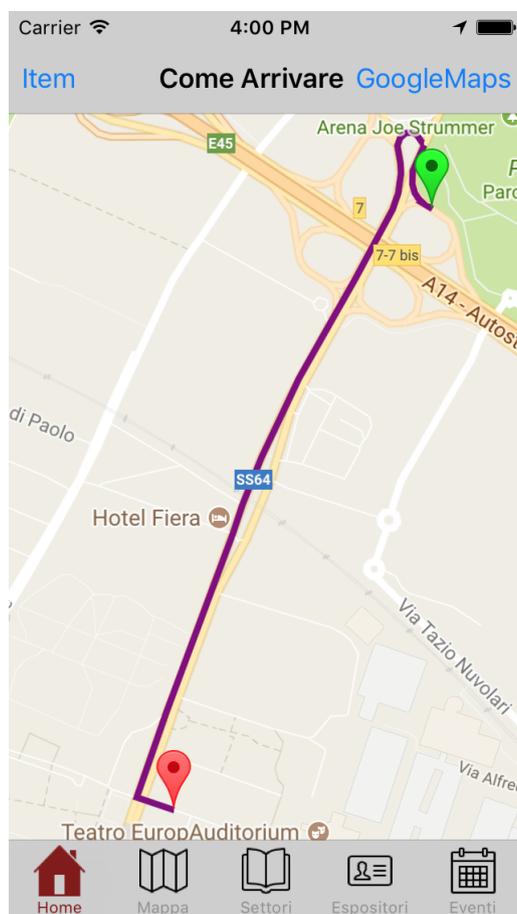


Figura 3.7: Navigazione Outdoor per l'arrivo in fiera

In alto la "navigation bar" oltre a identificare la schermata nella quale l'utente si trova, permette di richiamare il menù laterale per tornare alla home o di spostarsi sull'applicazione di "Google Maps", nel caso questa non fosse installata viene fatto presente all'utente il problema, che può sia decidere di scaricarla dallo "store" o semplicemente aprire i servizi Web di Google per il percorso voluto. Indipendentemente da dove si viene reindirizzati, è quindi possibile avere un maggior numero di informazioni assieme ad un servizio di navigazione GPS "turn-by-turn". Nel caso l'utente non fosse in macchina avrebbe comunque la possibilità di avere orari riguardo treni, servizi pubblici o anche indicazioni pedonali nel caso in cui la distanza che lo separa dall'e-

vento non fosse eccessiva e dove il servizio risulta attivo, l'applicazione di Google permette anche la prenotazione di un "Uber". Oltre a quanto detto consente anche di mostrare la situazione del traffico e di programmare un particolare itinerario da seguire, assieme ad altre utili funzionalità. Da qui è comunque possibile in qualsiasi momento tornare all'applicazione precedete tramite il pulsante in alto a sinistra, che può essere visto in Figura 3.8.

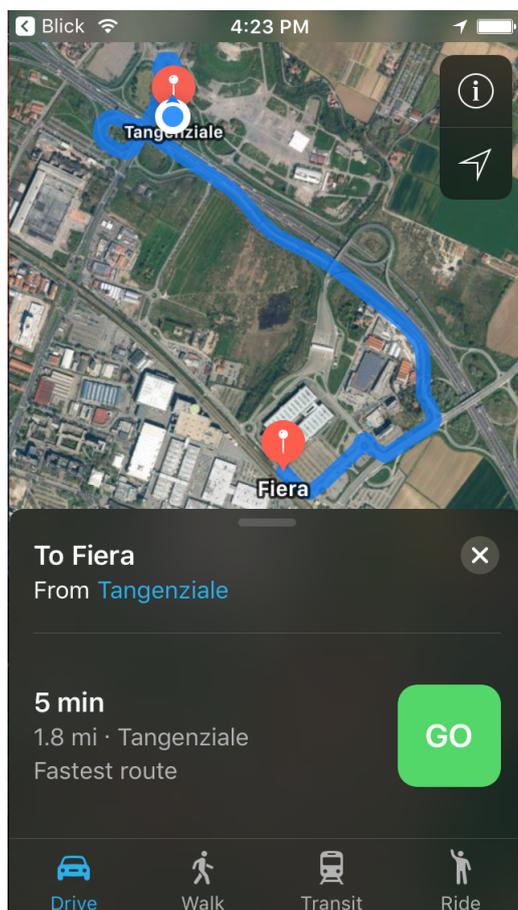


Figura 3.8: Percorso visualizzato su Google Maps

Passando all'analisi tecnica, per sviluppare quanto visto ci siamo affidati a servizi basati sulle tecnologie Google, in particolare ho fatto uso dei "GMServices" e della libreria PXGoogleDirection, dotandomi della necessaria "ApiKey", obbligatoria per il corretto funzionamento di questi servizi.

La libreria in particolare, in Figura 3.9, permette di ottenere "un array" di punti, partendo da uno iniziale, che nel nostro caso è variabile poiché si tratta della posizione dell'utente e uno di destinazione, che invece è fisso: il luogo in cui si tiene la fiera. Avendo quindi il nostro itinerario all'interno di questo "array", lo si va ad analizzare per intero, disegnando il percorso che ne deriva, il quale quindi mostrerà il tragitto dalla posizione dell'utente fino alla fiera.

```
extension ComeArrivareControllerView : CLLocationManagerDelegate{
    // Princip.
    // Handle incoming location events.
    func locationManager(_ manager: CLLocationManager, didUpdateLocations locations: [CLLocation]) {
        self.mapView.clear()
        let location: CLLocation = locations.last!
        print("Location: \(location)")

        let directionsAPI = PXGoogleDirections(apiKey: "AIzaSyCBjyBvAddWfaqpNV5QGzwkJz93c-4t8Kw",
                                                from:
                                                    CLLocation.coordinateLocation(CLLocationCoordinate2DMake(location.coordinate.latitude, location.coordinate.longitude)),
                                                to: CLLocation.specificLocation("Bologna Fiera", "Bologna", "Italia")
        )
        directionsAPI.calculateDirections({ response in
            switch response {
            case let .error(_, error):
                // Oops, something bad happened, see the error object for more information
                print("errato")
                print (error)
                break
            case let .success(request, routes):
                // Do your work with the routes object array here
                print("entrato")
                self.richiesta = request
                for i in 0 ..< routes.count {

                    routes[i].drawOnMap(self.mapView, approximate: false, strokeColor: UIColor.lightGray, strokeWidth: 3.0)

                }
                self.mapView.animate(with: GMSCameraUpdate.fit(routes[0].bounds!, withPadding: 40.0))
                routes[0].drawOnMap(self.mapView, approximate: false, strokeColor: UIColor.purple, strokeWidth: 4.0)
                routes[0].drawOriginMarkerOnMap(self.mapView, title: "Origin", color: UIColor.green, opacity: 1.0, flat: true)
                routes[0].drawDestinationMarkerOnMap(self.mapView, title: "Destination", color: UIColor.red, opacity: 1.0, flat: true)
                //directions.reloadData()
                break
            }
        })
    }
}
```

Figura 3.9: Codice per l'uso di PXGoogleDirection

## 3.4 Mappe Indoor

La soluzione Indoor ci ha richiesto molto più tempo, in parte perché avevamo vincoli molto più stringenti e in parte perché tecnicamente parlando la situazione è sicuramente più complessa. Ricordo che l'obiettivo da raggiungere è quello di avere una suddivisione interna degli stabili in cui si sarebbe tenuta la fiera, e un posizionamento preciso dei diversi stand con tanto di navigazione interna. I limiti e problematiche principali sono dati dal fatto che sia richiesta una mappatura per la grande maggioranza dei servizi utilizzabili, ma questa oltre ad un notevole dispendio in termini di tempo, richiede anche una di trovarsi sul luogo della fiera e che questo non cambi per tutta la durata dell'evento, cosa che ben raramente succede in ambito fieristico.

Idealmente ciò di cui avevamo bisogno era una mappatura che si potesse creare senza dover essere sul posto, facilmente modificabile e allo stesso tempo il più precisa possibile. Altro aspetto fortemente legato con la mappatura è quello della navigazione, infatti molte delle tecnologie attuali prevedono che fin dall'inizio vengano delineati i percorsi "indoor" che sono possibili per l'utente, vedremo a proposito che la nostra soluzione presenta un'implementazione piuttosto singolare.

### 3.4.1 Mappatura con JOSM

Il primo punto da realizzare nell'ottica di avere un posizionamento indoor funzionante, è farsi un'idea di quale sia la tecnologia alla base della mappatura, il nostro punto di partenza è stato quello di ricercare elementi che potessero integrarsi con le mappe di Google di cui stavamo già facendo largo uso, tuttavia in questo senso non abbiamo avuto successo; esiste un sistema offerto chiamato "My Map" che permette di personalizzare un'apposita area sulla mappa, ma ciò non era sufficiente.

Nonostante il fallimento di questa ipotesi, il ragionamento alla base era valido, perciò proseguendo su una strada analoga, abbiamo continuato a cercare un qualche metodo per andare ad inserire noi stessi sulla mappa

ciò di cui avevamo bisogno. Tutto si basava sulla disposizione degli stand all'interno dei padiglioni, e cercando fra diversi set di dati appartenenti a fiere passate, abbiamo notato che nella totalità dei casi vi erano cartine in formato digitale rappresentanti l'organizzazione dell'evento; di conseguenza è stato deciso di partire da questi per avere una prima visione interna dell'edificio: utilizzando la funzione di "overlay" messa a disposizione nelle librerie di Google Maps è infatti possibile inserire un'immagine in corrispondenza di una precisa area sulla mappa e se necessario farla visualizzare solo ad un determinato livello di zoom. Di conseguenza utilizzando le cartine come immagine per l'overlay e ponendole esattamente in corrispondenza dell'area dell'edificio di riferimento è possibile avere sulla mappa una visione interna dello stesso, ovviamente come si può intuire anche dalla spiegazione questa risoluzione appare notevolmente spartana e andava raffinata prima di poterla proporre al committente. Oltre a problematiche evidenti dal punto di vista grafico, dovute alla natura stessa di overlay con immagine, erano presenti anche problemi di adattamento dell'immagine all'area voluta, che appariva imprecisa. Era chiara la necessità di uno step intermedio che ci permettesse di gestire e risolvere queste limitazioni, una modalità con cui fosse possibile avere un'efficiente gestione della zona. Non dobbiamo dimenticare, inoltre, che fino ad ora abbiamo parlato di lavori compiuti su un'immagine, ma questa avrebbe dovuto rappresentare sia percorsi che stand, perciò avevamo bisogno di differenziare i diversi elementi all'interno di questa, per evitare ad esempio che durante il calcolo degli itinerari per l'utente si andassero ad attraversare altre strutture o stand. La risoluzione dei problemi sopra esposti è stata data utilizzando il software "JOSM", un editor sviluppato in java per la gestione di mappe di "OpenStreetMap", che a sua volta è un servizio collaborativo libero per la visualizzazione di mappe. Qui potevamo avere una visione precisa di qualunque zona fosse quella voluta, semplicemente selezionandola, questo permette non solo di avere informazioni incredibilmente dettagliate, ma di poter anche regolare nel modo migliore la sovrapposizione fra la cartina dei diversi stand e il padiglione associato.



Figura 3.10: Zona fieristica visualizzata su JOSM

Avendo quindi la giusta disposizione dell'area fieristica, il passo successivo è quello di adattare l'immagine voluta, contenente la disposizione degli stand, all'area di riferimento. Questo permette di garantire la sua precisione anche una volta spostata sull'applicazione all'interno del dispositivo. Volendo ripetere quindi ancora una volta gli step che vengono seguiti per la creazione dell'immagine indoor: prima procediamo alla corretta calibrazione degli stand in riferimento all'area dei padiglioni considerati, come possiamo vedere in Figura 3.11, di seguito viene invece, Figura 3.12, mostrata un'anteprima

finale dell'intero lavoro svolto.

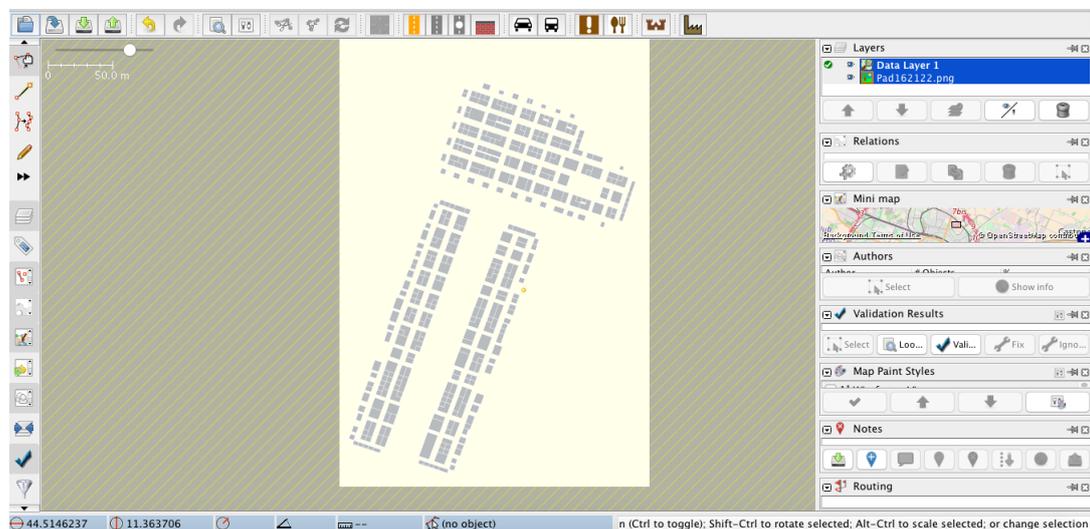


Figura 3.11: Orientamento su JOSM



Figura 3.12: Padiglioni con stand

Quanto illustrato fino ad ora ci permette di avere una prima versione di "indoor mapping" della disposizione degli stand all'interno dei diversi padiglioni, tuttavia fermarsi a questo punto non sarebbe sufficiente, infatti non bisogna dimenticarci che fino ad ora abbiamo parlato e lavorato facendo riferimento ad immagini, gli elementi al loro interno quindi vengono visti come

semplici pixel e non c'è alcuna differenza fra un corridoio, uno stand e delle scale. Ovviamente dobbiamo rimediare a questa situazione cercando di avere una geo-referenziazione per ogni elemento, in modo da essere non solo individuabile nello spazio, ma anche distinguibile da tutti gli altri. Altro elemento da considerare in questa fase è l'individuazione dei percorsi percorribili dall'utente, sia all'interno di uno stesso padiglione sia fra padiglioni diversi. Anche in questo caso JOSM ci viene in aiuto, infatti è possibile individuare e distinguere diversi punti all'interno dell'immagine e assegnargli opportuni valori, in questo senso è possibile identificare con precisione, ad esempio: uno stand, una rampa di scale e un ascensore, riuscendo anche a distinguerli fra loro; così facendo riusciamo ad attribuire altri valori alla semplice immagine, raggiungendo un maggiore livello di dettaglio. Più complicata rimane invece la questione di navigazione, infatti si dovrebbero evidenziare tutte le diverse zone percorribili per l'utente per poi identificare quella migliore, con l'ulteriore accortezza di avere infine un percorso risultante che non vada a sovrapporsi ad altri elementi, come possono essere gli stand.

Vediamo nel particolare quanto detto, cominciando dalla mappatura degli stand che possiamo osservare in Figura 3.13, vediamo che ognuno viene appositamente mappato identificando il numero e la posizione comprendente di padiglione di appartenenza, questa sarà essenziale poi per il corretto funzionamento dell'algoritmo di calcolo di percorso "da stand a stand" che ha appunto bisogno di conoscere quali sono i padiglioni partenza e arrivo. Notiamo inoltre che in questa fase sarebbe possibile specificare altre informazioni utili da visualizzare poi all'interno dell'applicazione quali eventuali orari di apertura o l'aggiunta di un'immagine rappresentante il logo dell'espositore associato. Quanto detto non vale ovviamente solo per gli stand, infatti JOSM mette a disposizione una serie di icone associabili a seconda dell'elemento che si vuole andare a geo-referenziare, perciò le stesse operazioni sono possibili per le porte ( Figura 3.14 ), scale, ascensori ecc.. Questo è particolarmente utile in ambito fieristico anche perché non è detto che tutti gli accessi o simili siano attivi e utilizzabili dai visitatori durante lo svolgi-

mento dell'evento, perciò mappando solo quelli permessi, saranno solo questi ad essere considerati durante la navigazione tramite applicazione.

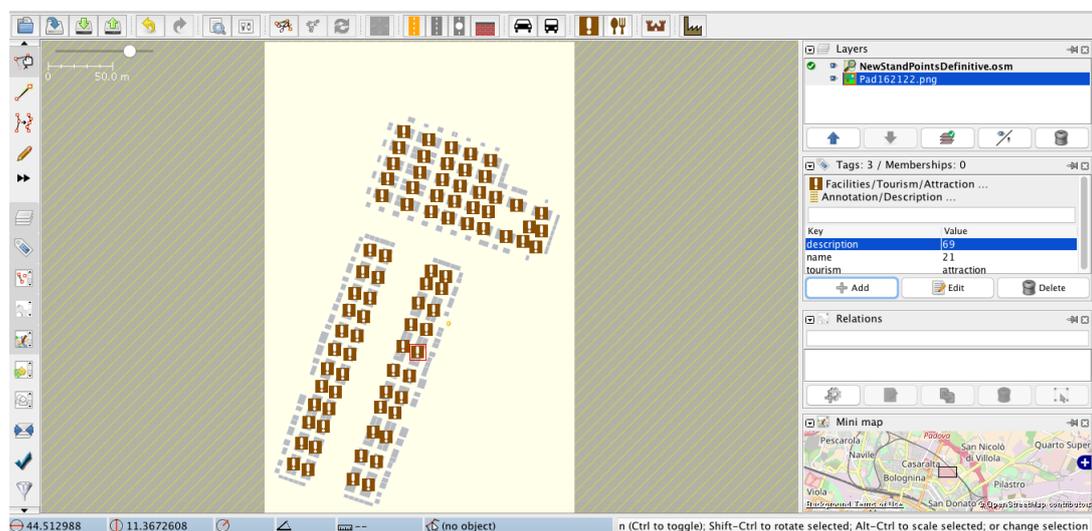


Figura 3.13: Stand Mapping su JOSM

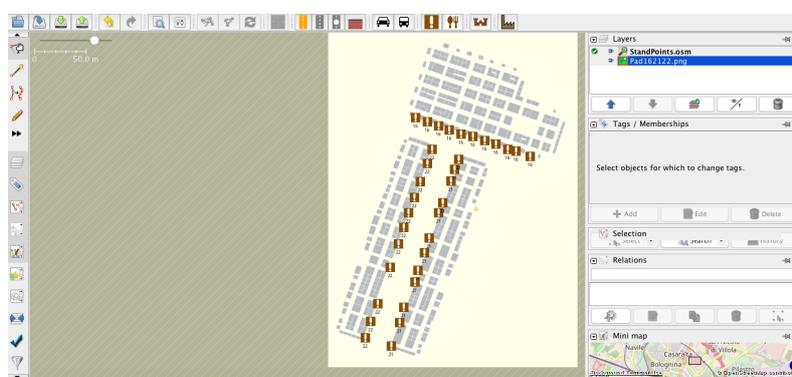


Figura 3.14: Door Mapping su JOSM

Per quanto riguarda la mappatura dei percorsi percorribili, dovevamo trovare una modalità schematica che ci permettesse di poter calcolare il percorso migliore, sia che fosse il più corto sia che fosse quello che passava il più possibile fra i diversi stand della fiera ma che allo stesso tempo fosse preciso da

disegnare e rappresentare sull'applicazione. Abbiamo optato quindi optato per una risoluzione basata su griglia, sfruttando la struttura ordinata che spesso viene assegnata all'organizzazione interna dei padiglioni in una fiera.

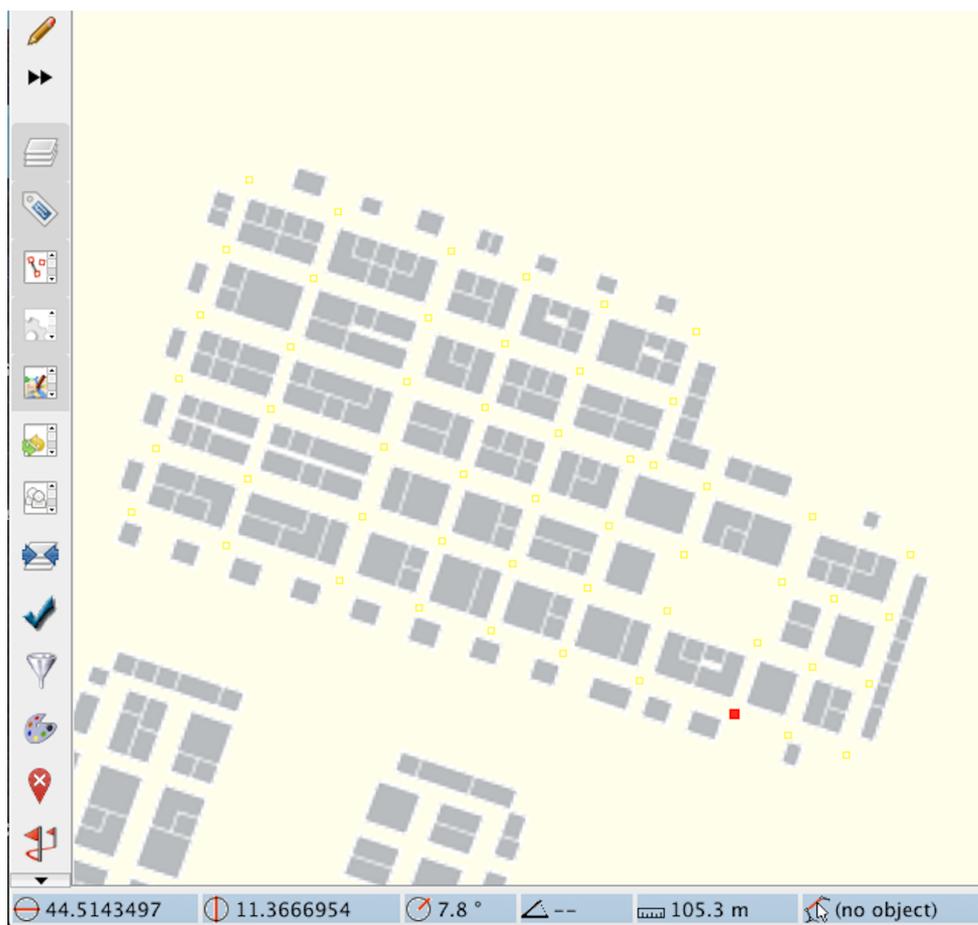


Figura 3.15: Griglia interna per navigazione stand

In Figura 3.15 vediamo un esempio di realizzazione della griglia: i principali incroci formati dalle diverse corsie lungo le quali sono disposti gli stand vengono marchiati e identificati, a questo punto durante la navigazione, una volta identificata la posizione dell'utente viene tracciata una prima parte di percorso che va dal punto preciso in cui si trova quest'ultimo al punto della griglia più vicino e da lì si prosegue verso la destinazione, considerando sem-

pre il successivo punto della griglia che si trova più vicino all'utente ma allo stesso tempo meno lontano dalla destinazione rispetto al precedente, così facendo viene infine tracciato l'intero percorso. Ovviamente il caso qui esposto è direttamente legato ad una navigazione fra due stand che si trovino all'interno dello stesso padiglione, ma il ragionamento funziona analogamente anche per padiglioni diversi solo che in aggiunta vengono considerate le porte per le quali è più opportuno passare. In quest'ultimo caso, ovviamente oltre ai percorsi interni vanno presi in considerazione anche quelli esterni, ma la soluzione non si discosta da quella appena vista e si basa sempre sull'utilizzo di una griglia che identifichi dei punti principali, tramite i quali viene poi stabilito il percorso migliore, Figura 3.16.

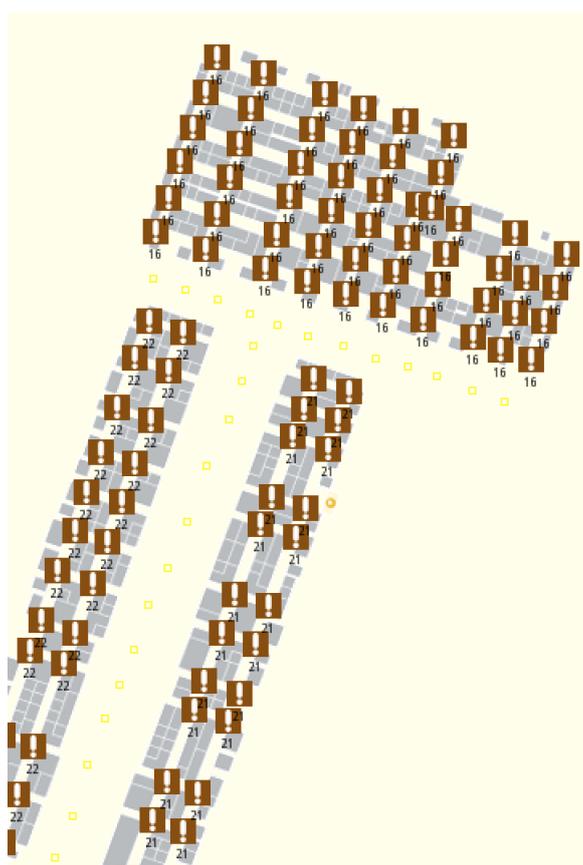


Figura 3.16: Griglia esterna per navigazione stand

Con questo si conclude il lavoro di mappatura effettuato tramite JOSM, tutti i dati e informazioni relativi a stand, percorsi, porte, ecc.. vengono esportati in appositi file CSV. e di seguito caricati sull'applicazione, quindi vengono letti tramite diversi servizi e caricati sulla mappa andando a creare tutto il necessario per implementare correttamente le funzionalità di navigazione. Quanto realizzato inoltre ci permette di rispettare le specifiche del committente, infatti il lavoro non richiede una presenza in loco ma semplicemente che si abbiano delle carte che mostrino la disposizione che avranno gli stand all'interno della fiera; risulta anche estremamente semplice effettuare modifiche all'ultimo momento e per quanto riguarda il tempo di costruzione del materiale, questo non supera certamente quello necessario ad effettuare una vera e propria mappatura tramite hardware specifico. Inoltre l'utilizzo dei file csv permette anche a chi non possiede specifiche conoscenze nel campo della programmazione di poter effettuare un ulteriore controllo o modifica sulle informazioni che saranno poi inserite all'interno dell'applicazione, l'unico requisito richiesto è che non venga cambiata l'impostazione del file stesso, su cui è basato il corretto funzionamento dei meccanismi di parsing dei dati all'interno del codice Swift. Siamo così riusciti a raggiungere un ottimo compromesso fra rispetto delle specifiche richieste, tempo di realizzazione ed eventuali costi necessari, che sono bassi se non pressoché inesistenti dato che non è richiesto l'utilizzo di hardware o l'uso di alcun tipo di servizio a pagamento, nonostante questo non nascondo che molti sono i limiti a cui è soggetta questo tipo di implementazione, primo fra tutti la forte dipendenza dalle mappe Google, infatti ricordiamo che l'intero funzionamento parte ed è basato su un meccanismo di overlay che tutti gli svantaggi che questo comporta; attualmente speriamo di riuscire ad aggirare questo limite con l'introduzione della tecnologia iBeacon che sebbene alzi in minima parte il costo dato dall'attuarsi di tale soluzione, dovrebbe permettere anche una mappatura a se stante, con significativi risparmi di tempo dal punto di vista non solo della mappatura, ma anche di navigazione e localizzazione.

### 3.4.2 Implementazione

Andiamo ora a vedere come il lavoro appena spiegato viene integrato con il resto dell'applicazione: abbiamo già parlato del passaggio dei dati all'interno di file csv e l'uso di quest'ultimi, perciò passiamo direttamente alla visualizzazione della parte riguardante le mappe indoor.



Figura 3.17: Visualizzazione Mappe Indoor dall'App

In Figura 3.17 vediamo come appare la rappresentazione corrispondente all'interno di due Padiglioni dell'area fieristica di Bologna, il meccanismo di realizzazione è ovviamente quello prima esposto, ovvero mediante l'utilizzo di Jasm e le funzioni di Overlay. I punti verdi rappresentano la posizione dei

diversi stand e attraverso interazione touch è possibile sapere esattamente a quali espositori sono associati, i punti rossi rappresentano invece le porte disposte ad uso dei visitatori. Qui è possibile vedere come l'integrazione riesca perfettamente, quasi sembrando parte nativa della mappa.

```

override func viewWillAppear(_ animated: Bool) {
    print("willappear")
    self.mapView.clear()
    let myWaypoints=StandModel()
    for point in myWaypoints.standList{
        let marker = GMSMarker(position: point.location)
        if(selectedExp.idNumber == point.idNumber){
            marker.icon = redIcon
        }else {
            marker.icon = greenIcon
        }
        marker.map=self.mapView
        if(point.expo.nome != ""){
            marker.title = String (point.expo.nome)
        }
    }
    let MyDoor = DoorPoints()
    for door in MyDoor.Points{
        let Mymark = GMSMarker(position : door.position)
        Mymark.icon = redIcon
        Mymark.map=self.mapView
    }
    let myPosition = GMSCameraPosition(target: myWaypoints.standList[0].location, zoom: 16.5, bearing: 0,
    viewingAngle: 0.0)
    self.mapView.animate(to: myPosition)
    let southWest = CLLocationCoordinate2D(latitude: 44.5115043, longitude: 11.3640893)
    let northEast = CLLocationCoordinate2D(latitude: 44.5148539, longitude: 11.3671158)
    let overlayBounds = GMSCoordinateBounds(coordinate: southWest, coordinate: northEast)
    let icon : UIImage = UIImage (imageLiteralResourceName: "Pad162122.png")
    - = CLLocationCoordinate(latitude: southWest.latitude, longitude: southWest.longitude)
    - = GMSCoordinateBounds(coordinate: CLLocationCoordinate2D(latitude: 44.5132267, longitude:
    11.3648875), coordinate : CLLocationCoordinate2D(latitude: 44.5148227, longitude: 11.3671239))
    let overlay = GMSGroundOverlay(bounds: overlayBounds, icon: icon)
    overlay.bearing = 0
    overlay.opacity = 0.35
    overlay.map = self.mapView
    self.mapView.setMinZoom(15.0, maxZoom: 18.0)
    if draw {
        MyLine.map=self.mapView
    }
}

```

Figura 3.18: Codice per la visualizzazione Indoor

Qui viene mostrato il codice utilizzato per l'implementazione della funzionalità indoor, come è possibile vedere vengono salvati nelle variabili "southWest" e "northEast" i "bound" relativi all'immagine di overlay che dovrà combaciare perfettamente con la sua parte associata sulla mappa, viene quindi scelta l'immagine da usare e viene caricata sull'area scelta. Nella prima parte del codice invece viene dapprima controllato se è stato richiamato uno specifico stand da parte dell'utente, infatti è possibile mediante l'elenco degli espositori, ottenere la posizione precisa di uno di essi e evidenziarla sulla

mappa, mentre se non è stata avanzata nessuna richiesta di questo genere si procede con l’inizializzazione degli stand tramite i puntatori verdi; segue una procedura analoga ma specifica solo per le porte utilizzabili durante l’evento. Prima di concludere questa parte riguardante l’implementazione della mappa indoor, voglio mostrare la struttura del file csv contenente tutti i nostri ”Stand Point”, ogni riga qui presente identifica con precisione la posizione di uno stand, mostrandone il numero, le coordinate geografiche e il padiglione di appartenenza. Qui non vengono mostrati, ma all’interno dell’applicazione esistono file simili a questo che tuttavia contengono informazioni degli altri elementi presenti nell’area fieristica, quali porte, scale, ecc...

```
1 type,X,Y,name,desc
2 W,44.513449990,11.366745602,Pad16,35
3 W,44.513480592,11.366627585,Pad16,34
4 W,44.513549447,11.366793882,Pad16,26
5 W,44.513580050,11.366681229,Pad16,25
6 W,44.513660381,11.366804610,Pad16,18
7 W,44.513530321,11.366445194,Pad16,33
8 W,44.513733061,11.366547118,Pad16,17
9 W,44.513572399,11.366257440,Pad16,32
10 W,44.513683332,11.366284262,Pad16,24
11 W,44.513782789,11.366359364,Pad16,16
12 W,44.513629778,11.366064321,Pad16,31
13 W,44.513729235,11.366112601,Pad16,23
14 W,44.513824867,11.366176974,Pad16,15
15 W,44.513928149,11.366241347,Pad16,10
16 W,44.514027606,11.366311084,Pad16,5
17 W,44.513671856,11.365914117,Pad16,30
18 W,44.513775139,11.365957032,Pad16,22
19 W,44.513874596,11.365999948,Pad16,14
20 W,44.513981703,11.366058956,Pad16,9
21 W,44.514077334,11.366107236,Pad16,4
22 W,44.513721585,11.365715634,Pad16,29
23 W,44.513821042,11.365758549,Pad16,21
24 W,44.513916674,11.365822922,Pad16,13
25 W,44.514023781,11.365887295,Pad16,8
26 W,44.514130888,11.365935575,Pad16,3
27 W,44.513786615,11.365468870,Pad16,28
28 W,44.513889897,11.365517150,Pad16,20
29 W,44.513989353,11.365576159,Pad16,12
30 W,44.514084985,11.365640532,Pad16,7
31 W,44.514180616,11.365699540,Pad16,2
32 W,44.513843994,11.365232836,Pad16,27
33 W,44.513947276,11.365281116,Pad16,19
34 W,44.514046732,11.365340124,Pad16,11
35 W,44.514146189,11.365399133,Pad16,6
36 W,44.514249470,11.365447413,Pad16,1
37
```

Figura 3.19: File csv per il posizionamento degli Stand

### 3.4.3 Posizionamento e Navigazione

Avendo quindi a disposizione tutto il materiale necessario, posso illustrare ora come si svolge all'interno dell'applicazione il posizionamento dell'utente e la navigazione "da stand a stand". Ovviamente la soluzione migliore sarebbe una localizzazione precisa effettuata tramite i sensori e le tecnologie integrate del dispositivi mobile, tuttavia questo è impossibile se si considera che ci troviamo in un ambiente "indoor", quindi quanto detto non risulterebbe fattibile senza l'aggiunta di hardware o servizi esterni. Per rendere effettivamente completa una prima versione dell'applicativo non era possibile rinunciare a questa implementazione, si è quindi optato per una localizzazione basata semplicemente sulle informazioni inserite dall'utente stesso: tramite interazione touch viene specificato sia il punto di partenza, ovvero quello in cui si trova l'utente sia quello di destinazione, cioè il punto dove intende arrivare; sebbene molto semplice, anche questo modello può essere arricchito con svariati dettagli, come ad esempio la scelta di due stand come punti di inizio e fine piuttosto che due punti sulla mappa, in ogni caso il principio alla base non cambia. In definitiva, in questa prima versione, i momenti corrispondenti al posizionamento e alla navigazione coincidono; vediamo come questo appaia chiaro in Figura 3.20 rappresentate il menù di navigazione facilmente accessibile cliccando sull'icona presente in alto a sinistra nella stessa schermata di visualizzazione dell'indoor map ( Figura 3.17 ). Qui viene chiesto all'utente di selezionare i due punti di riferimento per i quali verrà poi calcolato il percorso, fino a che entrambi non verranno scelti sarà impossibile proseguire con il "Calcola Percorso"; la mappa su cui viene chiesto di indicare la posizione non è esattamente la precedente, ma una nuova che viene istanziata con un livello di zoom inferiore e senza i diversi "pointer" colorati, questo per facilitare una scelta più chiara e precisa possibile.

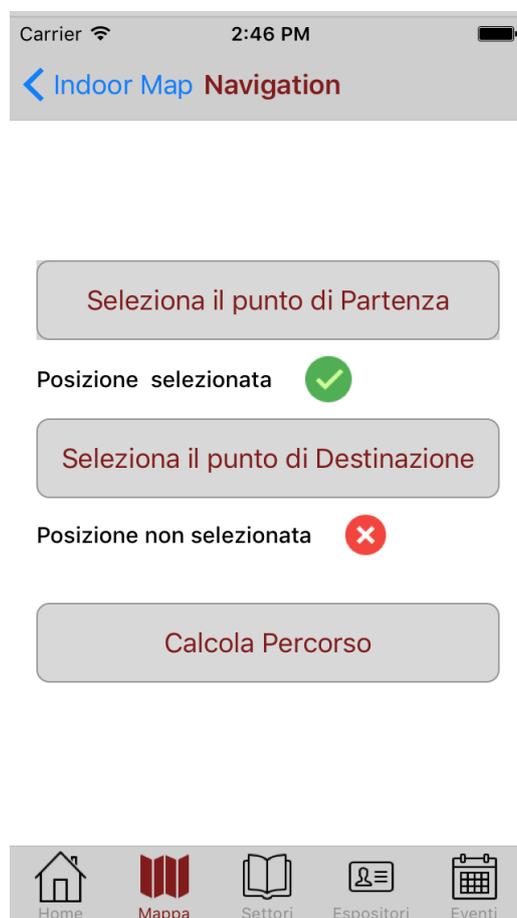


Figura 3.20: Menù di Navigazione

Ogni punto viene quindi salvato e considerato come "Direction Point", questa struttura contiene diverse informazioni quali: padiglione di appartenenza del punto e distanza. Tramite il pulsante "Calcola Percorso" viene richiamato il metodo "CalculateDirectionsPath" che va a disegnare sulla mappa il percorso richiesto. Il lavoro di questa funzione si svolge su più fasi, in un primo momento viene individuato il punto sulla griglia più vicino a quello indicato dall'utente come sua posizione, quindi a seconda dello stand di destinazione, che potrebbe trovarsi o meno nello stesso padiglione si vanno a considerare anche le eventuali porte. Se lo stand di destinazione è nello stesso padiglione semplicemente si prosegue considerando i punti della gri-

glia considerando sempre prima quello più vicino alla posizione utente che però allo stesso tempo si avvicina anche il più possibile a quello di arrivo. Nel caso in cui il padiglione finale non sia lo stesso, oltre al ragionamento sopra esposto, si vanno ad ordinare anche le porte considerando quelle più vicine al punto iniziale e al punto finale, in modo tale da ottimizzare l'intero tragitto; in quest'ottica si potrebbero quindi anche apportare modifiche al codice affinché l'utente cammini per il maggior tempo possibile all'interno degli stabili fieristici.

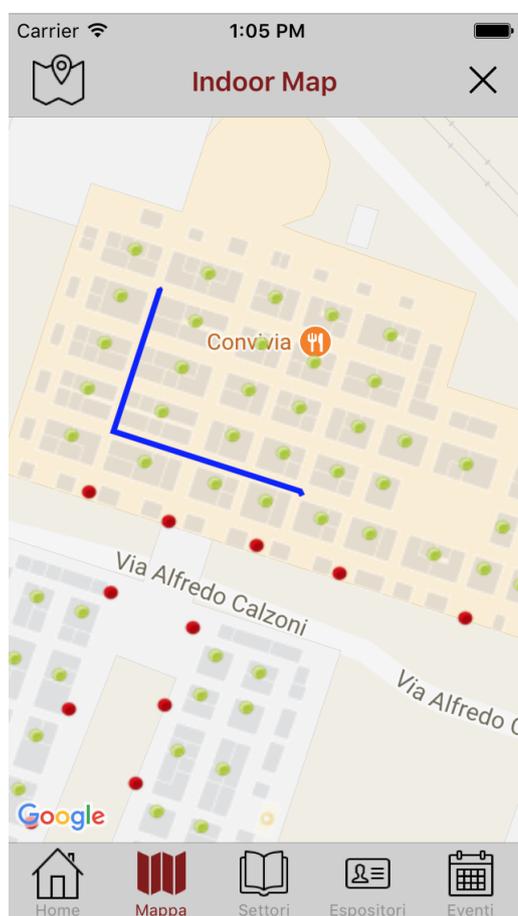


Figura 3.21: Navigazione all'interno dell'applicazione

## 3.5 Settori Merceologici, Espositori, Eventi

Nelle pagine precedenti ci siamo occupati dell'intera parte riguardante le funzionalità di localizzazione e navigazione, tuttavia queste riguardavano solo una piccola parte dell'intero applicativo. L'applicazione non è stata infatti pensata per essere un semplice strumento tramite il quale orientarsi all'interno dell'evento, bensì vuole fornire del valore aggiunto a chiunque la utilizzi, dando un accesso immediato e diretto anche a tutta la parte informativa. Proprio per questo motivo abbiamo previsto fra le implementazioni principali la possibilità di consultare nel dettaglio tutte le informazioni appartenenti ad espositori e settori merceologici. Queste vengono inserite nell'applicazione sempre partendo da file csv formattati nella medesima maniera, per garantire una facile gestione anche a chi non possiede conoscenze riguardanti la programmazione informatica. Le schermate appartenenti a Settori Merceologici ed Espositori sono fortemente collegate: per ogni diverso settore è possibile sapere esattamente che espositori consultare e dove questi sono posizionati all'interno della mappa. Diverse sono le implementazioni future attualmente considerate per questa parte dell'applicazione, in prima battuta verrà inserito un sistema per l'individuazione e la gestione di settori ed espositori preferiti, con la possibilità di effettuare anche pubblicità mirata con "advertising" stabiliti in base alle scelte che sono state individuate dall'utente come favorite. Inoltre tramite la tecnologia dei Beacon è anche possibile fare in modo di fornire all'utente precise informazioni man mano che si avvicina ad uno stand piuttosto che ad un altro. Questi dispositivi in particolare rendono anche possibile un nuovo metodo di cattura di dati che potrebbero permettere di sapere quanto tempo è stato speso dai diversi utenti nei vari stand e di conseguenza quali siano stati quelli maggiormente preferiti, in questo modo anche dal punto di vista organizzativo possono essere raccolte diverse informazioni utili. Infine a completare questa parte più informativa dell'applicazione abbiamo la sezione "Eventi" che racchiude l'elenco di tutti quelli che si terranno durante la fiera, riportando anche una breve descrizione aggiuntiva, il luogo e l'ora alla quale si terranno.

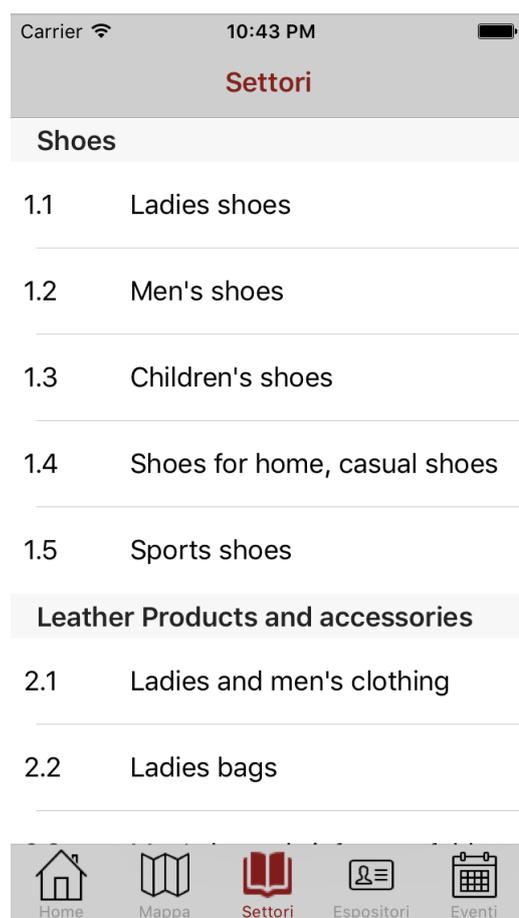


Figura 3.22: Visualizzazione dei Settori Merceologici

# Capitolo 4

## Tecnologie di Posizionamento

Nei capitoli precedenti ho illustrato il lavoro svolto, partendo dalle richieste del committente e arrivando fino a come queste sono state prima analizzate, interpretate e infine realizzate. Ora voglio soffermarmi brevemente sulle diverse tecnologie di posizionamento e sulle alternative che possono essere sfruttate. In particolare mi concentrerò sulle tematiche indoor, in quanto più interessanti e moderne e ancora meno avanzate rispetto a quelle outdoor, di cui abbiamo già in parte discusso. Sappiamo che per la maggior parte delle funzionalità di posizionamento e navigazione offerte da uno smartphone si fa uso di tecnologia GPS, questa ha però diversi limiti in tutti quei contesti dove non disponiamo di un contatto satellitare.

### 4.1 Tecnologie per il posizionamento Indoor - Client Based

Parlando di posizionamento "Client Based", intendiamo una tipologia di localizzazione che si svolge principalmente sul dispositivo, ovvero a partire da un'apposita applicazione vengono misurati ed analizzati i segnali presenti nelle vicinanze, siano questi WiFi, Bluetooth o di altro tipo poco importa; solitamente confrontando la posizione di questi diversi access point e valutandone la potenza del segnale al momento della loro ricezione da parte del

dispositivo è possibile calcolare o quanto meno stimare il posizionamento dell'utente, si noti inoltre che non è richiesto avere direttamente accesso o connessione ai diversi "access point" bensì è sufficiente che il dispositivo riconosca il segnale da questi emesso. Questo molto spesso significa che le informazioni riguardanti la posizione dell'utente vengono processate solamente all'interno del dispositivo e non lo lasciano mai. Questo tipo di sviluppo è solitamente indicato per l'uso all'interno di fiere, musei, aeroporti, ecc.. ed è la tipologia che più si avvicina alla nostra idea d'implementazione e crescita per ciò che abbiamo fino ad ora prodotto. In oltre proprio perché la maggior parte del lavoro è interna al dispositivo, anche i costi di produzione si mantengono bassi, in quanto per la maggioranza dei casi non viene richiesto l'utilizzo di particolare hardware esterno che avrebbe ulteriori costi di approvvigionamento e manutenzione.[15] Tuttavia la natura stessa di questo tipo di tecnologie porta anche diverse limitazioni, infatti come abbiamo detto l'utilizzo è prevalente in quelle aree in cui è solito trovare diversi segnali dati dai punti d'accesso alla rete (ricevitori Wifi, ecc..), ma nel caso questi non fossero presenti o ci fossero inconvenienti che portassero alla riduzione della forza del segnale, ne risentirebbe anche tutto ciò che di conseguenza è legato ad esso, cosa più improbabile nel caso in cui si facesse uso di una propria tecnologia hardware esterna.

#### 4.1.1 Wifi

All'interno degli edifici dove non abbiamo una chiara ricezione del segnale satellitare, una valida alternativa all'uso del GPS è il posizionamento effettuato tramite Wifi, questo presenta infatti diversi vantaggi quali:

- Grande diffusione a basso costo, vista la forte presenza attuale di questo tipo di tecnologia
- Connessione rapida e accessibilità a internet
- Mobilità dei dispositivi all'interno dell'area coperta

- Diverse possibilità di implementazione, fra le quali la misurazione della potenza del segnale RSSI

ma anche diversi svantaggi :

- Distanza di copertura limitata a meno di un centinaio di metri
- limitazioni dovute al calcolo del RSSI
- Necessità di essere alimentati tramite batteria
- Potenza del segnale facilmente ostacolabile dalla presenza di ostacoli

Con rete Wifi intendiamo una rete di telecomunicazioni con possibile accesso a Internet, a copertura piccola, caratterizzata inoltre dalla presenza di diversi Access Point. Per comunicare con i diversi ricevitori all'interno dell'area di copertura, ogni dispositivo deve potersi registrare e de-registrare sull'Access Point della cella di appartenenza. Questa registrazione avviene mediante l'invio di un pacchetto dati contenente gli indirizzi sorgente e di destinazione utilizzati per l'indirizzamento, questo viene poi incapsulato all'interno di una trama a livello MAC per il trasporto sulla parte cablata, ovvero sulla rete di trasporto costituita da rete LAN che si occupa di collegare tutti i diversi Access Point. Gli indirizzi WiFi hanno lo stesso formato degli indirizzi MAC cioè stringhe di 48 bit espresse in forma esadecimale risultando pertanto indistinguibili da questi e sono memorizzati nella scheda di rete Wi-Fi dei dispositivi coinvolti (stazioni e AP). Dal punto di vista strutturale, possiamo avere due diverse reti WLAN (indichiamo genericamente così tutte le reti locali di computer che non utilizzano collegamenti via cavo per connettere fra loro gli host della rete):

**WLAN BSS (Basic Service Set)** infrastruttura che si basa su un Access Point centrale collegata ad una LAN cablata che funge da unico tramite per il traffico dei dispositivi wireless che si trovano nel range di copertura.

**WLAN ESS (Extended Service Set)** si basa sul collegamento di due o più WLAN BSS tra loro al fine di generare un'area di copertura di conseguenza maggiore.

Attualmente i principali sistemi di localizzazione indoor che fanno uso della tecnologia WiFi si basano sull'utilizzo del RSS e questo porta notevoli limitazioni, infatti sebbene sia molto diffusa questa presenta diversi caratteri di variabilità e incertezza. La potenza di un segnale, soprattutto se radio, è soggetta a diverse modificazioni anche portate dal tipo di ambiente in cui questo è collocato, basti pensare che una semplice variazione di campo magnetico può influire grandemente anche sulla sua propagazione, in ottica fieristica questo presenta un grande problema ad esempio, poiché anche già una grande concentrazione di essere umani in uno stesso luogo può provocare variazioni del campo geo-magnetico. In particolare la tecnologia basata su RSS è legata al fenomeno dell'attenuazione che un segnale subisce mentre si propaga nello spazio: utilizzando le schede WiFi di un dispositivo è infatti possibile calcolare tutte le diverse potenze di segnale che esso riceve e mediante l'utilizzo degli indirizzi MAC anche le sorgenti di questi sono facilmente individuabile, avendo così tutto il materiale per un tentativo di localizzazione. Ma come già detto in precedenza non vi è omogeneità nel calcolo degli RSSI, il valore stesso nasce per un utilizzo relativo e perciò non vi sono specifiche riguardo all'effettiva accuratezza di questa misura e inoltre non viene definito alcun rapporto tra il valore RSSI e il livello di potenza sia essa in mW o dBm. Da un'analisi approfondita è inoltre emerso che il calcolo della potenza di tale segnale è largamente dipendente dall'implementazione hardware della scheda WiFi, e gli stessi valori di riferimento oscillano fra 0 e RSSI Max senza alcuna scala univocità nel calcolo di tale parametro. In altre parole considerando due dispositivi mobili differenti riportanti lo stesso valore RSSI non è comunque detto che sia effettivamente così, dato che ognuno è calcolato secondo diverse implementazioni legati alla propria scheda Wifi. Risulta, quindi, di fatto impossibile confrontare i livelli di potenza ricevuti da dispositivi diversi e per questo motivo le prestazioni dei sistemi

di localizzazione basati su RSS sono profondamente influenzati da dettagli implementativi relativi all'hardware. In parte questo problema potrebbe essere risolto se considerassimo un'infrastruttura network "server-side", poichè non si farebbe più riferimento al calcolo della potenza di segnale di ogni singolo dispositivo, ma a quella generica dell'infrastruttura che garantirebbe così omogeneità, tuttavia avremmo comunque a che fare con il problema delle anomalie durante la propagazione dei segnali radio che porterebbe ad un degrado a livello di termini di precisione e accuratezza.[16]

### 4.1.2 Bluetooth

Oltre all'appena discussa localizzazione tramite tecnologia WiFi, abbiamo un'altra metodologia che si stà diffondendo sempre più velocemente, ovvero quello mediante sistemi Bluetooth, sebbene questo sia conosciuto ormai da molti anni solo recentemente è stato applicato al campo del posizionamento; solitamente questo tipo di soluzione prevede l'aggiunta di piccolo hardware aggiuntivo, ma molto economico : i Beacon. Questi sono sensori che consentono ai dispositivi bluetooth di trasmettere e ricevere messaggi all'interno di piccole distanze. L'uso di quest'ultimi è solitamente legato ad un'applicazione che funge da ricevitore; l'informazione inviata è costituita da un unico UUID e un singolo valore fra "minor" e "major", il ricevitore non fa altro che ricevere queste informazioni a precisi intervalli di tempo. Essendo ogni Beacon associato ad una precisa posizione e inviando un segnale ad intervalli regolari, la ricezione di questi da parte di un dispositivo permette di stimare la propria posizione rispetto al sensore. Avendo quindi in un'area "indoor" la presenza di diversi Beacon e triangolando i diversi segnali ricevuti dal nostro dispositivo, possiamo essere in grado di risalire con precisione alla posizione dell'utente, siccome il funzionamento di base considera sempre la potenza del segnale come valore primario potremmo anche in questo caso avere problemi di incertezza, tuttavia questo dipende anche dalla frequenza di intervalli con cui vengono passate le informazioni. Dal punto di vista energetico presentano un significativo vantaggio rispetto alle precedenti tecnologie, infatti

l'intero processo si basa sul "Bluetooth Low Energy" ovvero un segnale a basso consumo pensato per uno scambio di informazioni che non coinvolga una massiccia quantità di dati e sia pensato per un mantenimento maggiore della batteria.

### 4.1.3 Visible Light Communication

La "Visible Light Communication" o VLC è una tecnologia di comunicazione che sfrutta la luce come un segnale trasmettitore, ovvero una fonte di illuminazione che al tempo stesso possa fornire informazione. Il funzionamento del VLC si basa sull'accensione e spegnimento di singoli LED a velocità elevatissime tali che siano indifferenti per l'occhio umano, ma che allo stesso tempo possano essere percepite da un dispositivo, quali ad esempio la fotocamera di uno smartphone, ed interpretate. Ad esempio basti pensare ad una lampadina che da spenta assume il valore 0 e da accesa il valore 1, già tramite questi pochi valori sarebbe possibile comunicare un intero segnale binario tramite intermittenza. Grazie alle lampadine a LED, siamo in grado di trasmettere dati a velocità molto elevate garantendo bassi costi e alta affidabilità. Di conseguenza, la rapida adozione di lampadine a LED ha creato una grande opportunità per VLC. Tuttavia diversi sono anche gli svantaggi associati a questa tecnologia, ad esempio il limitato range d'azione o il fatto che il fascio di luce possa essere facilmente tagliato o ostacolato impedendo il corretto funzionamento. Proprio per questi motivi le implementazioni di questa tecnologia riguardano specialmente l'indoor e contesti "line of sight", ovvero appunto privi di ostacoli e con una possibilità di collegamento diretto fra ricevitore e trasmittente.[17]

### 4.1.4 Posizionamento Server Based

Abbiamo visto metodi che principalmente sfruttano soluzioni "client", ma prima di proseguire diamo qualche informazione generale sui servizi "server based", la differenza sta nella trasmissione delle informazioni e nel calcolo

della posizione. Questa non avviene più direttamente su cellulare ma su server esterno al quale poi si collegano i diversi dispositivi per ottenere informazioni. Abbiamo già avuto modo parlando degli RSSI di notare i vantaggi di un tale sistema, dovuti principalmente ad una maggiore omogeneità nella percezione e calcolo dei diversi segnali.[15]

## 4.2 Indoor Tracking

Con Indoor Tracking intendiamo la possibilità di tracciare un percorso ed individuare persone od oggetti all'intero di un'area indoor, abbiamo già abbondantemente parlato di tecnologie riguardanti persone, perciò voglio di seguito portare un esempio di localizzazione usato soprattutto in ambienti di natura logistica. In quest'ottica gli elementi di cui si fa spesso più uso sono i RFID e i Beacon, dei secondi abbiamo già parlato. Comunque fra i due esiste una sostanziale differenza a livello di scopi d'utilizzo, infatti mentre i Beacon tendono a mappare un area e a fornire una funzione di localizzazione all'interno di questa, gli RFID vengono specialmente usati per un'identificazione singola e precisa dell'oggetto. Per quanto riguarda le caratteristiche fondamentali di "range", accuratezza, costo e durabilità vi sono diversi vantaggi e svantaggi da entrambi le parti che contribuiscono a rendere le singole alternative più efficienti per scopi distinti.

**Beacon** Sono caratterizzati da un range pari a circa 30 metri all'interno di un edificio e con un accuratezza che varia dai 3 ai 5 metri. Costo e Durata possono variare a seconda del Beacon considerato, ma volendo riportare dei valori minimi, questi hanno circa un prezzo di 10 dollari e possono durare fino a 5 anni prima di aver bisogno di un ricambio energetico.

**RFID** Anche in questo caso dipende dai tipi di tag RFID considerati, ma a livello di costo e durata sono sicuramente più vantaggiosi dei Beacon, in quanto si basano su lunghi periodi di utilizzo con costi molto bassi (ad eccezione dei lettori scanner).

Avendo già in precedenza parlato in generale dei Beacon e occupandoci di questi anche nel prossimo capitolo, mi concentrerò qui solo nel fornire qualche informazione aggiuntiva riguardo funzionamento ed uso dei dispositivi RFID.

### 4.2.1 RFID

RFID è l'acronimo inglese di "Radio Frequency Identification, questa tecnologia di identificazione automatica è basata sulla propagazione nell'aria di onde elettro-magnetiche, consentendo la rilevazione automatica (hand free), massiva ed a distanza di oggetti, animali e persone sia statici che in movimento. Si basa sull'utilizzo di un trasponder, un ricetrasmittente che si occupa dell'invio dei segnali radio ricevuti e di un reader, ovvero un dispositivo di lettura con modulo di elaborazione dati. Viene così generato un campo magnetico che si occupa dell'interrogazione del "tag". In definitiva il passaggio di informazioni si ha quando il tag entra in contatto con il campo magnetico creato dal reader. Questo porta notevoli vantaggi quali la non necessità di avere un contatto diretto fra reader e tag e la possibilità di effettuare letture multiple contemporaneamente garantendo velocità di trasmissione e sicurezza dei dati. Questi però al tempo stesso potrebbero tramutarsi in svantaggi all'interno di un ambiente chiuso, ad esempio, con l'indesiderata rilevazione di tag non richiesti. Una possibile soluzione è quella di adottare un posizionamento fisso e costante di reader e tag in modo da garantire una corretta e non equivocabile lettura.[17][18]

## 4.3 Indoor in ambiente fieristico

Nella prima parte del capitolo ho illustrato diverse tecnologie di posizionamento, ognuna con i suoi vantaggi e problematiche, tuttavia dobbiamo considerare che oltre alle diverse implementazioni possibili, bisogna considerare anche l'ambiente nelle quali queste si vogliono utilizzare. Infatti durante lo sviluppo dell'applicazione, non poche sono state le idee scartate perché presentavano problemi nell'ambiente fieristico, in quanto questo presenta van-

taggi e svantaggi che sono solo suoi e non sarebbero rapportabili ad altre tipologie di edifici da mappare.

### 4.3.1 Vantaggi

Sicuramente fra i vantaggi abbiamo la frequente presenza di diversi access point e segnali WiFi che possono essere utilizzati per le implementazioni prima analizzate, anche perchè ricordiamo che non è necessario l'accesso a quest'ultime ma semplicemente che i segnali vengano ricevuti dal dispositivo. Inoltre anche per quanto riguarda la disposizione degli stand e la struttura dell'area, queste seguono ordinamenti abbastanza schematici che permettono la presenza di incertezze senza che queste vadano ad influire in modo troppo negativo sul risultato finale. Nel caso sia necessario l'uso di hardware esterno, come l'uso di sensori o i Beacon, abbiamo nuovamente una facile mappatura dell'area, basta ad esempio assegnare alla posizione di ogni stand uno di questi per poter avere un accesso a tutte le informazioni necessarie, posizionamento compreso.

### 4.3.2 Limitazioni

Allo stesso tempo l'ambiente fieristico è maggiormente esposto a cambiamenti, basti pensare alla facilità con cui questi luoghi possono presentare una suddivisione fra le diverse aree, che solitamente varia da evento a evento. Un semplice pannello di sughero è sufficiente per creare una nuova area all'interno di un padiglione, che dovrà quindi essere considerata all'interno delle nostre mappe, localizzata e geo-referenziata. Questo però non è l'unico problema, infatti oltre ad avere un'influenza sulla struttura del posto va anche ad aggiungersi un ulteriore ostacolo che deve essere affrontato dai diversi segnali radio, i quali potrebbero risultarne sensibilmente indeboliti e causare problemi alle tecnologie di posizionamento (ancora una volta abbiamo visto questa dinamica in relazione ai segnali RSSI). Proprio per questa sua non omogeneità e facile tendenza a cambiamenti e modifiche, non esiste

una procedura univoca per mappatura e localizzazione in ambiente fieristico, ma vanno considerate caso per caso le diverse implementazioni. Quello che abbiamo cercato di realizzare nella nostra applicazione è una soluzione basata su elementi semplici e che con meno facilità possano soffrire a causa di quanto detto, riuscendo dove possibile ad adattarsi in maniera veloce e precisa.

# Capitolo 5

## Beacon

### 5.1 Bluetooth

Nelle telecomunicazioni, Bluetooth è uno standard tecnico-industriale di trasmissione dati creato affinché una vasta gamma di prodotti possano comunicare tra loro utilizzando le onde radio a corto raggio. Esso fu inizialmente sviluppato dalla compagnia Ericsson nel 1994, ma il suo successo e la sua diffusione sono dovuti all'organizzazione Bluetooth Special Interest Group (SIG), un gruppo di aziende fondato nel 1998 che si è occupato della ricerca e sviluppo di questo standard. Diversi sono stati i motivi che hanno portato allo sviluppo di questa tecnologia e che hanno poi determinato il suo successo:

- Il bisogno di una tecnologia che prevedesse la completa assenza di cavi e fili e la possibilità di utilizzare al loro posto una connessione mediante onde radio.
- Una tecnologia che fosse semplice, ma allo stesso tempo economica e che potesse offrire un'alternativa al WiFi, avendo un minore consumo energetico a discapito di un raggio di trasmissione notevolmente più corto. (A questo proposito tuttavia è anche opportuno ricordare che entrambe le tecnologie sono destinati a scopi diversi, perciò non biso-

gna generalizzare la comparazione, infatti il WiFi è un protocollo nato per fornire elevate velocità di trasmissione con un raggio di copertura molto maggiore, a costo di un consumo di corrente più elevato e di un hardware molto più costoso. Infatti la rete creata dal Bluetooth viene definita come personal area network (PAN), mentre il Wi-Fi ne forma una chiamata local area network.)

- La possibilità di avere una completa automazione, dovuta alla connessione fra i diversi dispositivi che non deve essere in alcun modo gestita o controllata dall'utente.
- L'elevato grado di personalizzazione offerto dai diversi chip, configurati in base al tipo di dispositivo in cui deve essere allocato, permettendo così la creazione di diversi profili, i quali permettono un'aggiunta di nuove funzioni affiancando quelle base già esistenti e permettendo specifiche azioni a seconda della natura della strumentazione considerata.

Nel corso degli anni diverse sono state le specifiche e le versioni rilasciate, nel corso del capitolo ci interesseremo particolarmente della 4.0 che corrisponde con lo sviluppo del Bluetooth "Low Energy", ovvero una versione che punta alla riduzione del consumo energetico, l'obiettivo principale di questa funzionalità opzionale è quello di aggregare dati provenienti da diversi sensori, come monitor a frequenza cardiaca, termometri, ecc., tramite un'ottimizzazione della struttura di trama e l'impiego di dispositivi più efficienti, ma a discapito della velocità, che in questa modalità si attesta a 1 Mbps.[19]

### 5.1.1 Funzionamento

La comunicazione si basa sulla trasmissione di pacchetti, ovvero gruppi di bits che contengono non solo l'informazione vera e propria ma anche dati aggiuntivi per il riconoscimento e la sincronizzazione tra dispositivi. Lo standard Bluetooth prevede l'utilizzo di una banda radio a 2.4Ghz con un

transfer rate pari a di circa 1Mbit al secondo. Il raggio di azione varia a seconda della potenza dell'antenna radio installata:

- fino a 10 metri con antenne di potenza 0 dB
- fino a 50 metri con antenne di potenza 10 dB
- fino a 100 metri con antenne di potenza 20 dB

Solitamente i diversi produttori si limitano a rientrare nella fascia dei 10 metri di raggio, perché una potenza superiore permette sì di raggiungere distanze maggiori, ma allo stesso tempo aumenta il consumo energetico e la probabilità di interferenza con altri dispositivi Wireless.

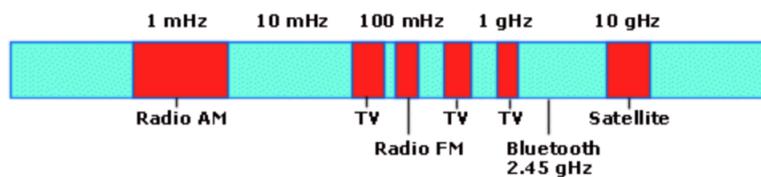


Figura 5.1: Allocazione internazionale delle frequenze radio

In ogni caso il segnale che rientra in questa fascia è molto debole (circa un MilliWatt) e questo consente di evitare una buona parte di interferenze con altri apparecchi, nonostante questo la bassa potenza non si ripercuote sulla propagazione che avviene tranquillamente anche fra le mura di un ambiente interno. Molto frequente è anche la presenza (e vicinanza) di diversi dispositivi Bluetooth fra loro, questo potrebbe indurci a pensare al rischio di interferenza fra le diverse onde radio, anche se in realtà questo non avviene quasi mai. Inoltre pur ponendoci nel caso molto raro che questo avvenga, tale interferenza sarebbe molto limitata e circoscritta ad una piccola frazione millesimale di secondo, ciò grazie all'uso di una tecnica chiamata "Spread-Spectrum Frequency Hopping" : un dispositivo può usare fino a 79 frequenze (in modo casuale e all'interno di un range specifico) cambiandole secondo un ordine prefissato fino a 1600 volte al secondo. Ad ogni modo lo standard

Bluetooth permette anche una comunicazione a lunga distanza fra due dispositivi, fino a 100 metri, arrivando così a realizzare delle vere e proprie LAN Wireless. La trasmissione ha una configurazione di base che prevede la presenza di due dispositivi, uno dei quali assume il ruolo di "master" e l'altro il ruolo di "slave". Il primo si occupa di gestire la comunicazione, avviandola e terminandola, mentre il secondo in genere si limita a svolgere le istruzioni che gli vengono impartite. La comunicazione riguarda sempre un dispositivo alla volta, sebbene possa gestirne fino a 7 contemporaneamente. Il collegamento di conseguenza può essere multiplo, dando vita ad una rete detta "Piconet", ovvero una rete in cui l'utente può spostarsi liberamente senza l'ingombro dei cavi di connessione ed in cui ogni periferica può essere spostata senza perdere il collegamento alla rete stessa, questa può quindi essere espansa attraverso il collegamento di altre Piconet arrivando a formare la così detta "rete Scatternet".[20][21] Per quanto riguarda le connessioni fra i diversi dispositivi, queste possono essere sostanzialmente di due diversi tipi:

**Orientati alla Connessione** richiede di stabilire una connessione tra i dispositivi prima di inviare i dati. Per favorire questo tipo di trasmissione abbiamo un servizio detto SCO (Synchronous Connection Oriented). La connessione SCO prevede connessioni a commutazione di circuito, connessioni punto-punto e connessioni simmetriche. Questo tipo di connessione è generalmente utilizzata per il trasporto della voce in canali da 64 kbit/s. Il master può supportare fino a tre collegamenti SCO verso lo stesso slave o verso slave differenti appartenenti alla stessa piconet. Uno slave, invece, può supportare fino a tre connessioni SCO verso lo stesso master, o due se i collegamenti sono stati creati da diversi master. A causa della sensibilità al ritardo di questi di pacchetti (trasportano dati di natura real-time), non è prevista alcuna ritrasmissione in caso di errore o perdita.

**Senza Connessione** non richiede alcuna connessione prima di inviare i pacchetti. Il trasmettitore può in qualsiasi momento iniziare ad inviare i propri pacchetti purché conosca l'indirizzo del destinatario. Per favorire

questo tipo di trasmissione abbiamo un servizio detto ACL (Asynchronous ConnectionLess). ACL supporta traffico di tipo dati e si basa su un servizio di tipo best-effort basandosi su connessioni a commutazione di pacchetto, connessioni punto-multipunto e connessioni simmetriche o asimmetriche.

### 5.1.2 Caratteristiche Tecniche

Abbiamo parlato di come i dispositivi Bluetooth siano divisi in diverse classi a seconda della distanza che ricoprono e della massima potenza trasmissiva in radiofrequenza (ERP). Tuttavia tutti questi condividono le stesse caratteristiche tecniche di funzionamento, basate sull'utilizzo di un segnale "clock" in tempo reale che permette la sincronizzazione della maggior parte delle operazioni. Questo oltre a regolare gli scambi fra i diversi dispositivi permette anche di distinguere i pacchetti persi e ri-inviati. Il clock Bluetooth è realizzato con un contatore a 28 bit che viene posto a 0 all'accensione del dispositivo e subito dopo continua senza fermarsi mai, incrementandosi ogni 312,5 microsecondi (metà slot quindi). Il ciclo del contatore copre approssimativamente la durata di un giorno ( $312,5 \text{ microsecondi} \times 228 = 23,3 \text{ ore}$ ). La temporizzazione di ogni dispositivo avviene tramite un "native clock" detto CLKN. Oltre a quello citato ne esistono di altri due tipi:

**CLK** Proprio della piconet, deve coincidere con il il CLKN dell'unità master della piconet. Tutte le unità attive devono sincronizzare il proprio CLKN con il CLK, questo avviene aggiungendo un offset al CLKN dello slave per farlo coincidere con il CLK della piconet.

**CLKE** anche questo clock è derivato tramite un offset dal CLKN ed è usato dal master nel caso specifico della creazione di una connessione verso uno slave, e prima che tale slave si sia sincronizzato con il master

### 5.1.3 Stati Operativi

Stabilita quindi una "Piconet", ovvero l'area all'interno della quale interagiscono i diversi dispositivi, vediamo quali sono i diversi stati che questi possono assumere.

In primis abbiamo tre stati principali:

**Stand-By** Modalità a basso consumo che limita grandemente le risorse utilizzate dal dispositivo, questa è la situazione di default. L'unica funzione attiva in maniera continuativa è il clock interno, infatti questo permette ad intervalli regolari di mettere in ascolto il dispositivo per un limitato lasso di tempo, quando questo accade si ha il passaggio alla Page Scan o Inquiry Scan

**Connection** Stato tipico della piconet nel quale vengono permesse comunicazioni bidirezionali tra master e slave.

**Park** Nello stato Park uno slave esce dalla piconet lasciandone libero l'indirizzo. A questo punto il dispositivo non è più in ascolto ma si sveglia ad intervalli periodici per ascoltare eventuali messaggi del master.

In aggiunta possiamo avere altri sette "sottostati", ovvero situazioni variabili in cui i dispositivi si occupano di svariate funzioni quali, ad esempio, la ricerca di nuovi dispositivi.

**Page** Permette di attivare una nuova connessione nel caso in cui ci sia un dispositivo slave in "page scan". Chiaramente se ci troviamo in questo stato stiamo già considerando il dispositivo "master" che a sua volta deve conoscere l'ID dello "slave" con cui intende attivare la connessione.

**Page Scan** Il dispositivo attiva il ricevitore e si pone "in ascolto" di eventuali nuove connessioni. Passato il tempo di ascolto il dispositivo torna nello stato di provenienza, che può essere "stand-by" o "connection". Se invece riceve una richiesta di connessione passa allo stato di "slave response" attivandola.

**Inquiry** È lo stato in cui un dispositivo verifica se ci sono altri dispositivi bluetooth nelle vicinanze, trasmettendo il messaggio "inquiry" e ascoltando i dispositivi che rispondono con un "inquiry response" raccogliendone gli ID.

**Inquiry Scan** Similmente al "Page Scan", se riceve un messaggio di inquiry, passa nello stato "inquiry response"

**Master Response** Scambio di informazioni con lo "Slave" per attivare la connessione e riuscire così a trasmettere.

**Slave Response** Scambio di informazioni con il "Master" per attivare la connessione e riuscire così a trasmettere.

**Inquiry Response** Viene inviato un messaggio di risposta in cui viene specificato il proprio ID e informazioni sulla fase del proprio clock.

Il regolamento e passaggio fra questi è gestito da dei comandi che possono sia provenire da un livello superiore o essere interni ai link dei controller stessi.  
[23]

#### 5.1.4 Bluetooth Low Energy

Con l'arrivo della versione 4.0 della tecnologia Bluetooth (6 luglio 2010) è stata introdotta una nuova tipologia detta "Low Energy", infatti l'obiettivo è stato quello di puntare ad una significativa riduzione dei livelli energetici, questo ha portato anche ad una rapida diffusione soprattutto in concomitanza dell'"Internet of Things" che appunto richiedeva una tecnologia che fosse di facile utilizzo, dimensioni limitate e maneggevoli ma allo stesso tempo longeva e con una buona portata di segnale; caratteristiche che sono sicuramente proprie del BLE (Bluetooth Low Energy). Nell'immagine seguente possiamo avere un confronto fra le diverse caratteristiche tecniche delle due tecnologie.[22]

Technical specification	Classic Bluetooth technology	Bluetooth Smart technology
Distance/range (theoretical max.)	100 m (330 ft)	>100 m (>330 ft)
Over the air data rate	1–3 Mbit/s	125 kbit/s – 1 Mbit/s – 2 Mbit/s
Application throughput	0.7–2.1 Mbit/s	0.27 Mbit/s
Active slaves	7	Not defined; implementation dependent
Security	56/128-bit and application layer user defined	128-bit AES with Counter Mode CBC-MAC and application layer user defined
Robustness	Adaptive fast frequency hopping, FEC, fast ACK	Adaptive frequency hopping, Lazy Acknowledgement, 24-bit CRC, 32-bit Message Integrity Check
Latency (from a non-connected state)	Typically 100 ms	6 ms
Minimum total time to send data (det. battery life)	100 ms	3 ms <sup>[35]</sup>
Voice capable	Yes	No
Network topology	Scatternet	Scatternet
Power consumption	1 W as the reference	0.01–0.50 W (depending on use case)
Peak current consumption	<30 mA	<15 mA
Service discovery	Yes	Yes
Profile concept	Yes	Yes
Primary use cases	Mobile phones, gaming, headsets, stereo audio streaming, smart homes, wearables, automotive, PCs, security, proximity, healthcare, sports & fitness, etc.	Mobile phones, gaming, smart homes, wearables, automotive, PCs, security, proximity, healthcare, sports & fitness, Industrial, etc.

Figura 5.2: Caratteristiche Tecniche Bluetooth e BLE

## 5.2 Beacon

Avendo parlato quindi delle tecnologia Bluetooth e in particolare di quella ”Low Energy”, possiamo ora affrontare un caso di utilizzo particolarmente comune in questo periodo, ovvero i Beacon.

Come possiamo vedere in Figura 5.3 questi sono sensori dalle più svariate forme e dimensioni, sono basati appunto sulla tecnologia BLE e posseggono tutte le caratteristiche di cui abbiamo prima parlato. La loro diffusione è legate grandemente al sempre più frequente uso e sviluppo dell’”Internet of Things”, ovvero un’estensione della rete a tutti gli oggetti e ambienti di uso quotidiano che permettono la creazione di un ambiente completamente interconnesso. Diversamente da altri tipi di tecnologie queste si basano sul concetto chiave di ”Microlocalizzazione”, infatti ogni Beacon ha un range di funzionamento compreso fra il centinaio di metri (questo può variare a se-



Figura 5.3: Diversi tipi di Beacon

conda del Beacon che viene considerato ma comunque si rimane più o meno su questi valori), che permette uno scambio di informazioni preciso all'interno di una piccola area. Tuttavia grazie anche al basso costo di questi dispositivi è possibile, disponendone molteplici all'interno di un'area, arrivare a considerarla totalmente e quindi implementare un vero e proprio sistema di localizzazione e navigazione "indoor". Solitamente il loro utilizzo prevede sempre un'implementazione della tipologia "trasmittente - ricevitore", tramite l'aggiunta di un'applicazione smartphone capace di rilevare questi segnali e ricevere quindi precise risposte. Ricordo inoltre che essendo i Beacon basati sul BLE, possono vantare una notevole longevità, la quale però dipende anche dalle impostazioni di settaggio dello stesso. La differenza fondamentale tra la Micro-location usata dagli iBeacon e la localizzazione globale del sistema GPS è la scala in cui lavorano: i GPS forniscono una posizione assoluta in termini di latitudine e longitudine, mentre la Micro-location lavora semplicemente con la distanza relativa del device dai punti noti dove sono posizionati i Beacon. Questi infatti notificati quando un device lascia l'area da loro coperta, diventando così capaci di monitorare le posizioni nel tempo. Anche la gestione finale delle informazioni presenta differenze abbastanza marcate, infatti quelle ricevute dalla tecnologia GPS hanno finalità propria, ovvero la localizzazione dell'utente; diversamente i Beacon possono essere integrati con applicazioni per raggiungere i più diversi obiettivi. Un esempio di quanto detto è sicuramente dato dal "Proximity Marketing", nome che identifica

una tecnica di marketing che opera su un'area geografica delimitata e precisa attraverso tecnologie di comunicazione di tipo visuale e mobile con lo scopo di promuovere la vendita di prodotti e servizi.

### 5.2.1 iBeacon

Con il termine “iBeacon” non ci riferiamo ad altro che se non a semplici Beacon brandizzati Apple, questi sono stati introdotti con iOS 7. Nello specifico vediamo qualche informazione aggiuntiva fornita nella documentazione per “Apple Developer”. Inviata tramite Bluetooth Low Energy, sono principalmente tre le informazioni chiave.

Field	Size	Description
UUID	16 bytes	Application developers should define a UUID specific to their app and deployment use case.
Major	2 bytes	Further specifies a specific iBeacon and use case. For example, this could define a sub-region within a larger region defined by the UUID.
Minor	2 bytes	Allows further subdivision of region or use case, specified by the application developer.

Figura 5.4: Informazioni chiave iBeacon

I campi che possiamo vedere in Figura 5.4, forniscono i principali dettagli per l'identificazione; possiamo dire che rispettino un'ordine gerarchico che vede l'UUID come un campo univoco dedito ad identificare tutti gli iBeacon dedicati ad un determinato contesto. Per spiegare meglio questo concetto, immaginiamo di avere un negozio con diverse sedi a San Francisco, Parigi e Londra, ognuno con diversi iBeacon in uso, tutti questi condividerebbero lo stesso UUID; la diversificazione avverrebbe tramite il campo “major”, che sarebbe invece specifico a seconda della posizione. Tramite i campi “minor” invece si andrebbero a delineare i diversi reparti all'interno dei negozi, avendo un identificatore specifico per ognuno.

Store Location		San Francisco	Paris	London
UUID		D9B9EC1F-3925-43D0-80A9-1E39D4CEA95C		
Major		1	2	3
Minor	Clothing	10	10	10
	Housewares	20	20	20
	Automotive	30	30	30

Figura 5.5: Esempio d'uso degli iBeacon

La Figura 5.5 riassume quanto detto. Si faccia caso che già con queste informazioni sarebbe possibile esattamente tenere traccia dei dispositivi che entrano ed escono non solo dai vari negozi, ma persino dagli specifici reparti.

### Accuratezza

Ho già abbondantemente parlato del funzionamento e calcolo basato sulla potenza del segnale di un dispositivo, ovvero l'RSSI, anche gli Ibeacon fanno uso di questo tipo di tecnologia per il posizionamento "Indoor", come già detto ricoprono aree relativamente piccole e sono in grado di stimare quando un dispositivo entra o lascia la zona in questione, oltre alla distanza da quest'ultimo. Come per altre tecnologie l'accuratezza dipende da diversi fattori, prima fra tutti la presenza di ostacoli fra trasmettitore e ricevitore. Questo potrebbe causare un indebolimento del segnale, che potrebbe indurre incertezza nel posizionamento, inducendo a credere che l'iBeacon sia più lontano dallo smartphone di quanto sia in realtà. Parlando dell'ambito fieristico in particolare, è utile ricordare che gli ostacoli non sono obbligatoriamente solo oggetti, ma potrebbero essere anche le persone stesse, in quanto il corpo umano limita il propagarsi del segnale.[24]

### Proximity State

Sempre rimanendo nel campo del "ranging" e dell'accuratezza i Beacon presentano 4 diversi stati di prossimità a seconda della potenza del segnale ricevuto:

**Immediato** Rappresenta un livello di segnale molto alto, che indica un'estrema vicinanza fisica fra i due dispositivi, con lo smartphone solitamente rivolto verso la posizione del Beacon stesso.

**Vicino** Non vi sono particolari ostacoli fra il Beacon e lo smartphone, con una vicinanza che solitamente oscilla fra gli 1 e i 3 metri; come detto nel capitolo precedente, se vi sono diversi ostacoli questo stato potrebbe non essere riconosciuto a causa delle interferenze nella propagazione del segnale.

**Lontano** Il dispositivo Beacon viene riconosciuto ma il livello di accuratezza del segnale è troppo basso per riuscire ad affermare la sua precisa posizione. Questo stato è molto variabile ed è fortemente legato al livello di accuratezza e incertezza espresso dall'utente.

**Sconosciuto** La prossimità di un Beacon non viene riconosciuta, potrebbe essere fuori dal range di funzionamento o insufficienti informazioni per determinare la sua posizione.

### 5.2.2 Eddystone

La controparte degli iBeacon di casa Apple, è sicuramente "Eddystone", progetto "opensource" di Google. Questi non si differenziano a livello di tecnologia utilizzata che sempre è basata sul Bluetooth Low Energy, bensì nel contenuto dei messaggi che questi dispositivi inviano, ovvero il protocollo di comunicazione. Ho già parlato infatti del set di identificativi e in particolare degli UUID propri degli iBeacon; Eddystone invece è pensato per poter inviare diversi tipi di messaggi, fra i quali:

**Eddystone - UID** Set di identificativi per un utilizzo simile a quello degli iBeacon.

**Eddystone - TLM** Telemetria, ovvero ad intervalli specificati il Beacon è in grado di inviare informazioni riguardanti il suo stato interno, come il livello di batteria o la potenza del raggio d'azione impostata

**Eddystone - URL** Indirizzo di una pagina Web.

I primi due punti permettono l'integrazione e la compatibilità iOS, offrendo lo stesso tipo di informazioni, e una migliore possibilità di gestione logistica e di manutenzione potendo avere informazioni riguardanti la situazione del Beacon. Il punto 3 è quello su cui vale la pena soffermarsi, la novità più rivoluzionaria che apre nuovi scenari rispetto alla soluzione di Apple: dato che il beacon stesso indica una risorsa web da cui reperire i contenuti, non è più necessaria una applicazione specifica per mostrare le informazioni associate a quel beacon o per ricevere una notifica significativa delle informazioni disponibili nei paraggi. In definitiva possiamo dire che Eddystone è stato progettato per poter essere esteso con nuovi tipi di messaggi.[25]

### 5.2.3 Caratteristiche Tecniche

Per completezza aggiungo qui, in Figura 5.6, le specifiche appartenenti agli iBeacon con cui stiamo attualmente lavorando.

<b>Radio specifications (cont'd)</b>	
TX power	Conducted: +4 dBm (max) EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power): +6 dBm (max)
<b>Antenna</b>	
Type	Integrated meandered planar inverted F-antenna (PIFA)
Gain	2dB (max.)
Radiation diagram	Omnidirectional
<b>Power</b>	
Power supply	Battery
Replaceable	Yes
Type	CR2477 (3V, lithium)
Model	EEMB or equivalent (typical capacity 1000 mAh @ 25°C)
Expected life	6 months to 5 years, 24/7 at ambient temperature 18 months with default settings
<b>Mechanical specifications</b>	
Material	ABS plastic
Color	White (silk-screen printing available on demand; custom color on demand)
Size	40 x 40 x 15 mm
Wall fastening	Double-sided tape or dual-lock
Opening	Back cover with screws
Protection	IP40
Flammability	UL 94 HB
<b>Environmental specifications</b>	
Operating temperature	-20°C to +60°C (battery operating life sharply decreases under 0°C)
Storage temperature	-40°C to +85°C (without battery)
<b>Certifications</b>	
CE (Directive 1995/5/CE R&TTE, 2011/65/UE RoHS2) iBeacon, Eddystone, Quuppa	

<b>Expected maximum battery life-time (in months)</b>						
<i>TX power</i>	<i>Advertising interval</i>					
	100 msec	300 msec	500 msec	700 msec	1000 msec	5000 msec
0 dBm	6	17	24	30	36	58
-8 dBm	7	18	25	31	37	59
-20 dBm	8	19	27	33	39	60

Figura 5.6: Specifiche Tecniche degli iBeacon utilizzati

## 5.3 Incidenza degli IBeacon sull'Applicazione

A seguito del completamento della prima versione dell'applicazione, come spiegata nel capitolo 3 di questa tesi. Ho deciso di confrontare le diverse tecnologie di posizionamento "indoor" prima esposte, per decidere quale fosse più opportuna ai fini degli obiettivi. Il risultato che più convergeva e rispecchiava le aspettative desiderate è appunto l'implementazione dei Beacon, infatti sia a livello di costi sia di longevità è il dispositivo esterno più conveniente e ricco dal punto di vista degli sviluppi futuri. Di seguito vado a descrivere come cambierebbero e come si intendono modificare alcune delle componenti principali dell'applicazione dopo questa aggiunta.

### 5.3.1 Mappatura tramite iBeacon

Il vantaggio principale sarebbe dato dal non dover utilizzare più un sistema di overlay a partire da mappe Google, bensì elaborare una nostra mappa interna dell'edificio in questione. In una situazione di questo genere gli iBeacon verrebbero distribuiti stand per stand, riuscendo così a mappare l'area adiacente ad ognuno e in generale la fiera nella sua totalità. Associando inoltre le informazione dell'id di ogni stand ad uno specifico dispositivo Beacon riusciremmo tranquillamente anche ad attivare una localizzazione su più piani dell'edificio senza l'utilizzo di sensori barometrici. Unico punto dolente sarebbe dato dalla mappatura dell'area esterna alla fiera che è essenziale per garantire un corretto posizionamento dell'utente, ma anche in questo caso la soluzione potrebbe essere data dalla dislocazione di sensori in punti particolarmente strategici o dall'integrazione del GPS, solamente però per quello che concerne le aree "outdoor". In definitiva una mappatura di questo genere permetterebbe una navigazione meno dispersiva, visualizzando solamente l'area in cui si svolge la fiera, piuttosto che tutte le mappe Google. Anche dal punto di vista organizzativo si avrebbero un notevole risparmio di tempo nell'utilizzo dell'applicativo JOSM che non sarebbe più altamente vincolante, come invece risulta nella situazione attuale.

### 5.3.2 Posizionamento e Navigazione Indoor attraverso gli iBeacon

Questo nuovo tipo di mappatura porterebbe dei cambi radicali anche al posizionamento e alla navigazione all'interno dell'area fieristica. Innanzitutto l'utente non dovrebbe più indicare la sua posizione come avviene ora, ma questa verrebbe analizzata e ricavata a partire dall'analisi dei livelli di potenza dei diversi Beacon, inoltre sottolineo che questo tipo di "scambio informazioni" avverrebbe completamente in maniera non intrusiva e verrebbe in ogni caso, solo all'accensione, richiesta all'utente l'autorizzazione per la monitorizzazione in tempo reale della sua posizione senza poi più disturbarlo. Essendo inoltre tutto basato sul BLE, non si avrebbe un forte consumo della batteria ma al contrario questo verrebbe minimizzato a vantaggio e tranquillità dell'utente. Predisponendo inoltre uno iBeacon per ogni stand si avrebbe comunque un notevole livello di precisione e anche l'elevata presenza di persone non dovrebbe creare problemi nella propagazione di segnale proprio per la presenza di una varia molteplicità di dispositivi. Per quanto riguarda il sistema di navigazione, si potrebbe anche mantenere l'attuale funzionamento a griglia dell'algoritmo, calibrandolo tuttavia sulla disposizione e sul segnale dei diversi Beacon.

## 5.4 Proximity Marketing

Altra frontiera perfettamente adattabile con quanto sviluppato è quella del "Proximity Marketing", ovvero una possibilità ulteriore di raccolta dati o diffusione d'informazione. A tal proposito abbiamo visto in precedenza come gli iBeacon differiscano e individuino diversi "stati di prossimità". Perciò questi possono essere adattati e programmati per fornire materiale a seconda della distanza cui si trova l'utente. Partendo da questo ragionamento, all'interno di un evento fieristico possono esserci diversi sviluppi implementativi, come ad esempio fornire la possibilità di scaricare del preciso materiale piuttosto che altro quando ci si trova molto vicini ad un particolare stand. Inoltre

si può risalire a quali siano gli stand che maggiormente attirano l'attenzione dei visitatori e quale è il tempo medio speso presso ognuno di essi. Tutte informazioni che risultano essere estremamente interessanti e preziose sia per chi organizza la fiera sia per chi espone.



# Capitolo 6

## Sviluppi Futuri

Anche al di fuori del contesto universitario continuerò con il mio collega a lavorare su questo progetto, cercando di portare migliori tecnologie e aggiungendo nuove implementazioni con lo scopo di aumentare il valore aggiunto che questa applicazione può portare sia a chi visita un evento fieristico sia a chi lo organizza o comunque espone. Al momento il focus è posto su una completa implementazione delle funzionalità Beacon, al fine di aumentare anche la raccolta informazioni, l'intento è quello di raggiungere un funzionamento per lo più automatico e basato sulle preferenze utente, in modo da rendere unica l'esperienza per ogni singolo utilizzatore. Verrà valutata inoltre l'introduzione di un database, cercando di garantire un buon grado di personalizzazione con anche un eventuale possibile aggiunta di note personalizzate per ogni espositore e settore merceologico. Si potrebbero anche ampliare le tecnologie di localizzazione utilizzate in modo da aumentare sempre più la stima ottenuta e ridurre errori dovuti all'incertezza, tuttavia sempre cercando di restare in un'ottica di basso consumo energetico. Andrà inoltre riconsiderata la parte di mappatura, cercando di ottenere una creazione della mappa personale che tuttavia come quella ora presente, non presenti troppi svantaggi o comunque l'obbligo di essere fisicamente presenti nel luogo dove si svolgerà l'evento; si consideri inoltre che la possibilità di avere mappe personali significherebbe non dover pagare i servizi offerti da Google stessa,

che appunto richiede l'acquisto di una "partnership" superando una determinata soglia di accessi giornalieri. Per essere competitivi a livello di mercato sarà anche necessario trasportare tutto ciò che è stato e sarà sviluppato, anche su piattaforma Android in modo da poter raggiungere il maggior numero di utenti possibili. In ogni caso svariate sono le implementazioni future che potrebbero essere aggiunte, certo quelle qui elencate sono quelle più probabili e che avranno la priorità, ma l'insieme delle possibilità è vasto e sicuramente contiene molte idee che qui non sono state riportate.

# Conclusioni

Le tecnologie di localizzazione sono numerosissime e le loro applicazioni possono coprire pressoché ogni ambito, a seconda di ciò che vuole essere realizzato e degli obiettivi che devono essere raggiunti si possono considerare le più svariate implementazioni, ognuna legata a punti di forza così come punti di debolezza. Abbiamo visto come in particolare l'ambiente "indoor" sia ancora in fase di sviluppo e non presenti soluzioni univoche o universalmente corrette. Ho cercato di mostrare anche l'impatto che hanno i diversi ambienti sulla scelta tecnologica, in particolare analizzando il contesto fieristico affiancato dallo sviluppo di un'applicazione. Cercando di ottenere non solo un'accurata precisione, ma anche un compromesso fra costi che devono essere ottenuti e dispendio energetico; molteplici infatti sono gli aspetti che devono essere considerati, molto difficilmente queste tecnologie vengono sviluppate con una finalità fine a se stessa, ma al contrario sono pensate come strumenti di integrazione a supporto di una nuova realtà: quella dell'Internet of Things. Viviamo in un mondo sempre più interconnesso, dove l'accesso alla rete non si limita ad essere proprio dei classici dispositivi elettronici quali : smartphone e tablet, ma riguarda anche tutti gli altri oggetti della nostra quotidianità. I Beacon e i loro molteplici usi di cui abbiamo ampiamente parlato sono una prova di quanto sia vasta la sfera di utilizzo di queste nuove tecnologie e come esse diventino sempre più efficienti e meno costose. Brevemente è stato presentato anche il problema delle mappature che solitamente sono richieste per avere una localizzazione precisa degli ambienti interni, a questo proposito questo lavoro si va a collegare con quello dello studente

”Giovanni Londei” con cui ho condiviso problematiche e soluzioni che hanno accompagnato l’intero progetto.

# Bibliografia

- [1] Giulio Cinelli, Una rassegna sui sistemi di geolocalizzazione per dispositivi mobili, 2014
- [2] <http://www.comefunziona.net/arg/gps/2/>
- [3] Navstar, GPS User equipment introduction. Department of Defense , (1996).
- [4] John Pike, GPS III Operational Control Segment, 2009
- [5] Trevisani, Emiliano, and Andrea Vitaletti. Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study.. Mobile Computing Systems and Applications, 2004.
- [6] Alberto Serra, Un sistema di posizionamento Indoor basato su smartphone, 2010, <http://www.dsf.unica.it/~andrea/tesils/tAlbertoSerra.pdf>
- [7] Ahmed Ali Sabbou, “Indoor Localization using Wireless LAN/WiFi Infrastructure”, 2007
- [8] C. Randell, C. Djiallis, H. Muller, “Personal position measurement using dead reckoning” ,2000.
- [9] Wang, X., Klette, R. and Rosenhahn, “Geometric and photometric correction of projected rectangular picture”, Image and Vision Computing New Zealand, 2005
- [10] <http://www.indooratlas.com/>

- [11] <https://github.com/John-Lluch/SWRevealViewController>.
- [12] <https://github.com/poulpix/PXGoogleDirections>.
- [13] Guide Apple Developer, View Controller Catalog for iOS  
<https://developer.apple.com/library/TabBarController.html>.
- [14] Guide Apple Developer, Bridging-Header,  
<https://developer.apple.com/library/content/documentation/Swift/Conceptual/BuildingCocoaApps/MixandMatch.html>
- [15] Tobias Donaubauer, INDOOR NAVIGATION AND INDOOR POSITIONING BASICS: THE WHITEPAPER, 2016  
<https://www.infsoft.com/blog-en/articleid/54/e-book-on-indoor-positioning-and-indoor-navigation-basics>
- [16] C. Giaconia, C. Lupascu, A. Machi, L. Minneci, A. Scianna, G. Tarantino, M. Tripiciano, Metodologie di posizionamento indoor con tecnologia Wi-Fi, 2014 , <https://intranet.icar.cnr.it/wp-content/uploads/2016/11/TechReport-01.pdf>
- [17] Chiara Ricci, Tecniche di Rilevazione tramite VLC, 2015 , <http://acts.ing.uniroma1.it/Archiviotesi/cricci/Riccithesis.pdf>
- [18] L. Liparulo, “Algoritmi ibridi per il posizionamento indoor basati su tecnologie Wi-Fi e RFID
- [19] <http://www.comefunziona.net/arg/bluetooth/2/>
- [20] Enrico Fantini, iBeacon Una nuova tecnologia per la localizzazione in ambienti chiusi, 2013 , <http://amslaurea.unibo.it/6599/1/fantinienicotesi.pdf>
- [21] Alessia Tiberto, Confronto tra Bluetooth Basic Rate e Bluetooth Low Energy, 2013 , <http://tesi.cab.unipd.it/44150/1/tesitibertoa.pdf>

- [22] BLUETOOTH SPECIFICATION Version 4.0 (PDF), 30 Giugno 2010  
<https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications>
- [23] <http://www.iet.unipi.it/g.iannaccone/infrastrutture/bluetoothappunti.pdf>
- [24] Apple Guide, Getting Started with iBeacon
- [25] <http://www.argoserv.it/eddystone-proximity-beacon-physical-web>



# Ringraziamenti

Desidero ringraziare il professor. Luciano Bononi per l'aiuto nella stesura di questo lavoro e per avermi fatto appassionare al mondo delle applicazioni mobili, un sentito ringraziamento anche alla Dott.ssa Yvonne Schmidt per la fantastica esperienza di tirocinio concessami e per l'instancabile entusiasmo dimostrato per il progetto. Concludo con un ringraziamento particolare al mio compagno di corso, collega e amico Giovanni Londei per aver condiviso con me gioie e dolori di questo lavoro.