

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
In Ingegneria Informatica**

Tesi di Laurea Magistrale

SMAC – Smart mobile Access Control

Analisi e Sviluppo di un sistema innovativo per il controllo accessi in azienda



Relatore

Bartolomeo Montrucchio

Referente Aziendale

Francesco Viggiano

Candidato

Alexandro Vassallo

Anno Accademico 2021/2022

Sommario

1. Introduzione	4
2. Indoor Positioning.....	9
2.1 Utilizzi.....	9
2.2 Vantaggi.....	11
2.3 Tecnologie.....	11
2.4 Confronto delle tecnologie.....	13
3. Controllo Accessi.....	15
3.1 Tipologia di Sistemi	15
3.2 Tecnologie a Confronto.....	18
4. Caso aziendale: Microntel S.P.A	20
4.1.1 Micronpass.....	20
4.1.2 Sottosistemi di Micronpass	22
4.1.3 App Timbrature.....	24
5. Ambiente di Sviluppo e Framework.....	25
5.1 Xcode	25
5.2 Nearby Interaction.....	26
5.2.1 Delegato di NISession.....	28
5.2.2 L'oggetto NINearbyObject	28
5.3 CoreBluetooth	30
5.3.1 CBCentralManager	31
6. Bluetooth.....	33
6.1 Storia	33
6.1 La Piconet.....	36
6.2 Applicazioni	37
6.3 Calcolo del posizionamento	37
7. Ultra-Wide Band (UWB).....	39
7.1 Storia	39
7.2 Analisi	40
7.3 Applicazioni	43
7.3.1 Trend di sviluppo della tecnologia di comunicazione wireless UWB.....	44
7.4 Calcolo del posizionamento	45
7.5 Confronto tra UWB e BLE.....	47
8. Il Sistema MACS – Mobile Access Control System	49

8.1	Progettazione del Sistema	51
8.2	L'applicazione SMAC.....	53
8.2.1	Introduzione	53
8.2.2	Architettura	54
8.2.3	Design	56
8.2.4	Gestione dei permessi	58
8.2.5	Controller Bluetooth	60
8.2.6	Controller UWB.....	61
8.3	Processi in Background.....	61
8.4	Testing e validazione.....	65
9.	Conclusioni	68
9.1	Sviluppi Futuri.....	69
9.1.1	Progettazione di un nuovo design.....	69
10.	Lista delle Immagini	74
11.	Lista dei Grafici e Tabelle.....	75
12.	Bibliografia	76
13.	Sitografia.....	77

1. Introduzione

Alla base di questo lavoro vi è l'analisi dei metodi di posizionamento indoor utilizzando le tecnologie BLE (Bluetooth Low Energy) e UWB (Ultra Wide Band). La localizzazione indoor è un'area di ricerca in rapida crescita in quanto può fornire servizi e informazioni personalizzati in base alla posizione all'interno di un edificio. BLE e UWB sono due tecnologie wireless che si sono rivelate particolarmente adatte per l'uso in interni perché possono fornire un'elevata precisione e un basso consumo energetico.

In questo lavoro di tesi, esaminiamo le tecnologie di indoor location basate su BLE e UWB, e confrontiamo le loro performance per quanto riguarda precisione, affidabilità e consumo energetico. Non solo valutiamo la loro capacità di determinare la posizione, ma anche esploriamo come possano essere utilizzate per il controllo degli accessi in un contesto aziendale. Entrambe le tecnologie, BLE e UWB, utilizzano la tecnologia wireless per identificare la posizione degli utenti all'interno di un edificio.

Nel caso dei sistemi di controllo degli accessi, queste tecnologie possono essere implementate per verificare la validità delle informazioni degli utenti e garantire loro l'ingresso a specifiche aree o strumentazioni all'interno di un'impresa. Tramite l'utilizzo di segnali come BLE o UWB, è possibile creare una mappa dell'edificio e associare i diversi punti di accesso, restringendo l'accessibilità solo ai soggetti autorizzati. In questo studio, esploreremo i punti a favore e contro l'utilizzo di BLE e UWB per i sistemi di accesso, confrontandone le prestazioni con altre tecnologie esistenti.

Il focus centrale di questa tesi è quello di esplorare in maniera esaustiva i metodi di localizzazione interni che si basano su Bluetooth a Bassa Energia (BLE) e Ultra-Wide Band (UWB) e di comparare le loro opportunità e limitazioni rispetto a tecnologie alternative presenti sul mercato. L'intenzione è di creare un sistema che consiste in ricevitori e dispositivi mobili che lavorano insieme per ottenere un sistema di gestione degli accessi che sia privo di ostacoli, ovvero che funzioni senza problemi. Il risultato finale sarà un'innovazione intellettuale e intuitiva che sarà semplice da utilizzare senza la necessità di effettuare molte operazioni.

In questo studio verrà discusso il sistema costituito da componenti hardware e software. Incluso nel sistema c'è il kit MK UWB, che comprende l'MK UWB SDK (un pacchetto software per lo sviluppo) e i dispositivi Trimension SR150 e Trimension SR040.

Inoltre, è stata realizzata l'applicazione SMAC, un app in grado di controllare l'accesso ai checkpoint aziendali/industriali mediante l'utilizzo di tecnologie wireless come UWB e BLE.

Le app attualmente disponibili sul mercato sfruttano la tecnologia BLE per replicare il comportamento dei badge comuni. Questa tecnologia, a basso consumo energetico, permette di utilizzare dispositivi mobili come smartphone come sostituti dei badge per il controllo degli accessi. Grazie al loro ricevitore Bluetooth, gli smartphone possono ricevere i segnali di advertising inviati dai varchi di accesso e, se corrispondono alle credenziali autorizzate, aprire il varco. La tecnologia BLE offre inoltre la possibilità di utilizzare la localizzazione indoor per una maggiore precisione nei sistemi di rilevamento all'interno degli edifici, rispetto ai sistemi basati sul GPS. Inoltre, l'utilizzo della tecnologia BLE per il controllo degli accessi può automatizzare i processi di registrazione delle presenze, eliminando la necessità di utilizzare carte o badge fisici, migliorando così l'efficienza e la sicurezza dei sistemi di controllo degli accessi.

Per verificare il funzionamento di queste applicazioni, si noti che il processo per gestire gli ingressi è composto da questi passaggi:

- In primo luogo, occorre avviare un app specifica sul dispositivo mobile (ad esempio uno smartphone o uno smartwatch), dove l'utente esegue l'accesso al sistema con le proprie credenziali in modo da utilizzare le funzioni proposte per il controllo accessi.
- Dopo aver effettuato l'autenticazione, l'utente deve selezionare dalla lista dei varchi disponibili, quello che desidera aprire. Inizia la trasmissione di pacchetti advertising BLE con le informazioni relative al varco selezionato.
- Durante la permanenza all'interno della struttura, il telefono cellulare si serve del suo ricevitore Bluetooth per captare messaggi di advertising provenienti da diverse fonti.
- Nel momento in cui si avvicina a una fonte, il ricevitore Bluetooth identifica il messaggio e calcola l'intensità del segnale ricevuto (RSSI).
- Se l'RSSI supera una certa soglia preimpostata, il dispositivo mobile invia una richiesta di apertura del varco all'applicazione.
- L'applicazione verifica che le credenziali dell'utente siano autorizzate ad accedere al varco selezionato e, in caso positivo, invia un messaggio al varco per aprire il varco scelto.

- Una volta che il varco è stato aperto, l'applicazione conferma l'avvenuta apertura al dispositivo mobile dell'utente.

Tale soluzione seppur funzionante non soddisfa i pilastri cardine di un sistema di controllo acceso, il quale deve garantire un accesso veloce, affidabile e in sicurezza.

Il sistema per il controllo delle entrate ed uscite deve essere in grado di gestire con efficienza il flusso di persone che entrano ed escono, evitando lunghe attese e fornendo un accesso rapido per coloro che sono autorizzati. Deve essere affidabile, cioè funzionare correttamente e senza interruzioni, anche durante i momenti di maggior affluenza. Deve anche essere in grado di identificare con accuratezza le credenziali degli utenti autorizzati e impedire l'accesso a coloro che non sono autorizzati. Inoltre, deve garantire la sicurezza delle persone autorizzate e delle proprietà all'interno dell'edificio, impedendo l'accesso non autorizzato e fornendo un registro preciso delle entrate ed uscite. Tutto questo deve essere progettato in modo da proteggere le informazioni personali degli utenti e garantire la sicurezza dei dati.

Con questo lavoro di tesi, si propone un'applicazione che miri a rendere il controllo degli accessi più semplice e veloce per l'utente. L'applicazione utilizzerà la tecnologia BLE (Bluetooth Low Energy) per gestire la comunicazione con i varchi e permettere a un utente pre-autorizzato di aprire il varco semplicemente avvicinando lo smartphone, per abilitare l'ingresso verrà sfruttato il calcolo della distanza ricavata dall'interazione con la tecnologia UWB presente all'interno del dispositivo mobile. L'applicazione inoltre è stata progettata per funzionare anche in modalità background, cioè anche se lo smartphone è tenuto in tasca, se ci troviamo vicino al varco sarà possibile aprirlo. Per far ciò si è scelto di approfondire la natura della tecnologia UWB in modo da utilizzarla in concomitanza della tecnologia BLE.

Dalle ricerche effettuate abbiamo scoperto che la tecnologia Ultra Wide Band utilizza un'ampia banda di frequenze per la trasmissione di dati a corto raggio, permettendo di trasmettere dati ad una distanza massima di 70 metri. Tutto questo utilizzando una quantità di energia elettrica al di sotto dei milliwatt. La tecnologia UWB utilizza impulsi di durata breve, con una larghezza di banda di radiofrequenza molto ampia, che variano da una larghezza di banda di pochi megahertz fino a più di un gigahertz, a seconda delle specifiche del sistema utilizzato.

A causa della sua capacità di fornire una posizione precisa e una copertura a corto raggio, l'UWB è particolarmente adatto per gli ambienti indoor come aziende, uffici, negozi e locali al chiuso. Inoltre, la tecnologia UWB è in grado di fornire una precisione di pochi centimetri, rendendola ideale per l'indoor location, la navigazione interna, la localizzazione degli oggetti e la sorveglianza della sicurezza. Inoltre, a causa della sua capacità di fornire una bassa potenza radio, la tecnologia UWB è in grado di funzionare per lungo tempo ottimizzando i consumi della batteria. Il maggior vantaggio presentato dalla tecnologia scelta è il trasporto di una grande mole di dati su distanze brevi. Dal punto di vista della sicurezza trasmissiva dei messaggi scambiati si ha un grosso vantaggio fornito dalla natura stessa della tecnologia perché presenta un segnale a bassa potenza che permette di confondersi facilmente con le numerose emissioni elettromagnetiche che viaggiano nell'aria risultando impossibile da intercettare per un malintenzionato.

La presenza del chip UWB in Apple rende disponibili funzioni avanzate come AirDrop, localizzazione precisa di dispositivi/oggetti, e rete privata sicura per comunicazione tra dispositivi. L'integrazione della tecnologia UWB in Apple permette interazione con altri dispositivi smart home come serrature e automazione domestica. Questo può migliorare la sicurezza in edifici (controllo accessi, sorveglianza, monitoraggio ambienti). L'integrazione di UWB in Apple crea opportunità per nuove soluzioni tecnologiche in indoor location e IoT, offrendo maggiore efficienza, precisione e sicurezza.

Le motivazioni che mi hanno spinto ad approfondire la conoscenza della tecnologia Ultra Wide Band (UWB) derivano dalla sua eccezionale precisione nella misurazione della distanza tra due oggetti in comunicazione. Questa tecnologia utilizza un'ampia banda di frequenze per la trasmissione di dati a corto raggio, permettendo di trasmettere dati ad una distanza massima di 70 metri, tutto questo utilizzando una quantità di energia elettrica al di sotto dei milliwatt. L'UWB si distingue dalle altre tecnologie wireless per la sua capacità di fornire una posizione precisa e una copertura a corto raggio, rendendola particolarmente adatta per gli ambienti indoor. Inoltre, la tecnologia UWB è in grado di fornire una precisione di pochi centimetri. A differenza della tecnologia BLE (Bluetooth Low Energy), che ha una portata massima di circa 10 metri, l'UWB è meno influenzata dagli ostacoli presenti nell'area coperta dal segnale, questo la rende meno suscettibile a problemi o errori nella trasmissione dei dati.

L'UWB è particolarmente indicato in tutte quelle applicazioni in cui è richiesta una alta precisione nel calcolo della posizione, per questo motivo si è scelta questa tecnologia per il controllo degli accessi e la navigazione indoor. Anche se l'UWB è una tecnologia relativamente nuova rispetto ad altre tecnologie wireless, sta attualmente acquisendo sempre più importanza nel campo dell'Internet delle cose (IoT).

In questo lavoro di tesi parlerò delle principali caratteristiche tecniche delle due tecnologie per l'indoor location, soffermandomi sulle prestazioni come accuratezza, latenza e consumo energetico. Dopo una attenta raccolta e analisi dei dati vi spiegherò come ho sviluppato l'applicazione dal nome SMAC (Smart Mobile Access Control) utilizzando il linguaggio Swift e l'ambiente di sviluppo Xcode.

2. Indoor Positioning

Gli Indoor Positioning System (IPS) rappresentano una soluzione all'avanguardia per la localizzazione degli utenti all'interno di ambienti chiusi come edifici, uffici, centri commerciali, aeroporti, e così via. Questi sistemi combinano diverse tecnologie, come smartphone, tablet, tag di tracciamento e ricevitori radio esterni, per mappare la posizione degli utenti all'interno di un edificio o di un'area. La presenza di sensori all'interno dei dispositivi mobili e dei ricevitori radio esterni consente l'utilizzo delle radiofrequenze per la rilevazione della posizione degli utenti all'interno dell'edificio. I dispositivi mobili inviano i segnali radio che vengono successivamente catturati dai ricevitori esterni, che utilizzano complessi algoritmi di calcolo per determinare la posizione precisa degli utenti.

2.1 Utilizzi

I sistemi di posizionamento indoor sono molto versatili e possono essere impiegati in una vasta gamma di applicazioni, dalla regolazione dell'accesso, alla navigazione indoor, dalla localizzazione di oggetti, alla sorveglianza della sicurezza, fino alla gestione degli asset e alla pianificazione degli spazi. Questi sistemi possono anche essere integrati con altre tecnologie come le reti di sensori, le telecamere di sorveglianza e i sistemi di allarme per un'esperienza ancora più completa. Essi rappresentano una soluzione all'avanguardia per aumentare la sicurezza e la produttività negli edifici, nonché per offrire un'esperienza utente più piacevole.

Gli impianti di localizzazione indoor hanno una particolare peculiarità che consiste nella loro possibilità di raccogliere informazioni sul modo in cui vengono utilizzati gli ambienti all'interno delle strutture. Tali dati possono essere impiegati per esaminare la circolazione delle persone, scoprire le zone più gettonate e adattare la disposizione degli elementi d'arredo e degli impianti. Inoltre, le informazioni raccolte possono essere utilizzate per migliorare la progettazione degli edifici e la pianificazione degli spazi.

I sistemi forniscono informazioni sul luogo degli utenti, in caso di situazioni di emergenza, pericolo o evacuazione. In questo modo, è possibile trovare rapidamente le persone che hanno bisogno di aiuto e coordinare le azioni di soccorso. Per ottenere una precisione e una affidabilità ottimali, è necessario calibrare e tarare correttamente i sistemi di localizzazione indoor. Ciò può essere effettuato mediante l'utilizzo di tecniche

di mappatura tridimensionali che permettono di creare una rappresentazione precisa dell'edificio e di identificare eventuali ostacoli o interferenze.

Riguardo alla tutela dei dati personali, i sistemi di localizzazione all'interno di edifici devono essere concepiti e impiegati in modo da preservare la privacy degli utenti. Questo obiettivo può essere raggiunto tramite la codifica dei dati, la restrizione degli accessi, la limitazione dei dati raccolti e la trasparenza nelle regole di utilizzo dei dati. Inoltre, questi sistemi devono essere robusti e protetti contro eventuali pericoli informatici, come ad esempio falsificazioni o intercettazioni. Questo può essere realizzato attraverso l'impiego di tecnologie crittografiche e la messa in atto di protocolli di sicurezza adeguati.

I sistemi di posizionamento indoor sono dei sistemi **scalabili**, questi possono essere utilizzati in edifici di diversa dimensione sia per le piccole aziende che per i grandi complessi industriali: sono dei sistemi personalizzabili in base alle esigenze specifiche del cliente. Un vantaggio importante risiede nella possibilità di essere integrati con altre tecnologie, come ad esempio il rilevamento della temperatura e delle mascherine, funzionalità adottata molto per la pandemia da Covid-19. Un'altra questione da non tralasciare è la sicurezza dei dipendenti e dei visitatori perché grazie a questi sistemi è possibile garantire il distanziamento sociale e il rispetto delle regole sanitarie. Un sistema di posizionamento indoor ha la capacità di offrire un'esperienza personalizzata agli utenti in un edificio, fornendo servizi in base alla loro posizione, come la guida per i visitatori, informazioni in tempo reale sui servizi e sugli eventi all'interno dell'edificio.

Infine, un ultimo aspetto di nota di questi sistemi consiste nella loro **interoperabilità con altri sistemi**. Basti pensare all'integrazione con i sistemi di gestione degli accessi, sistemi di sicurezza più accurata. Tutto questo permette una raccolta di dati e informazioni che ci consenta di ottenere una visione globale degli utilizzi aziendali dei sistemi in questione e questi dati, inoltre, ci aiutano ad ottimizzare le prestazioni degli impianti e prendere decisioni più consapevoli.

2.2 Vantaggi

I sistemi di posizionamento indoor presentano numerosi vantaggi, elenchiamo alcuni di questi:

- **Creazione di mappe 3D per la navigazione**, per la localizzazione degli oggetti all'interno dell'edificio e per la gestione degli asset, come ad esempio la manutenzione degli impianti.
- **Sono flessibili nel supportare diverse tecnologie di tracciamento**, come il Wi-Fi, Bluetooth, Ultra-Wideband (UWB), radio frequenza (RFID) e altre tecnologie wireless. Ciascuna di queste tecnologie ha i propri vantaggi e svantaggi in termini di precisione, portata, consumo energetico e costi.
- **Analizzare i dati raccolti in modo da generare delle statistiche sull'utilizzo degli spazi indoor**. Questo permette di prendere delle decisioni su come ottimizzare l'utilizzo degli spazi e gli impianti.
- **Creazione di un'applicazione per qualsiasi dispositivo mobile, che utilizzi le informazioni fornite da questi sistemi in modo da personalizzare l'interazione di essi con gli utilizzatori**. L'interazione ottenuta sarà facile e intuitiva e contribuirà ad aumentare la soddisfazione degli utenti nell'utilizzo del sistema stesso. Questo può fornire inoltre informazioni in tempo reale sugli eventi, sui percorsi e servizi disponibili all'interno degli edifici, rendendo l'esperienza degli utenti ancora più coinvolgente.

2.3 Tecnologie

Le principali tecnologie che vengono utilizzate per l'indoor positioning sono delle tecnologie a radiofrequenza. Non esiste una standard definito per la realizzazione di un sistema di indoor positioning, le tecnologie presenti sul mercato hanno i loro limiti e nessuna delle opzioni è perfetta. L'IPS più utilizzato si basa su segnali a radiofrequenza, in particolare sugli RFID, perché per creare tale sistema si riutilizza la tecnologia distribuita già spesso presente nei dispositivi mobile, come il WiFi, Bluetooth e Ultra-Wideband (UWB). Questo permette di ridurre drasticamente il costo della distribuzione rendendo facilmente accessibile a un numero più significativo di persone.

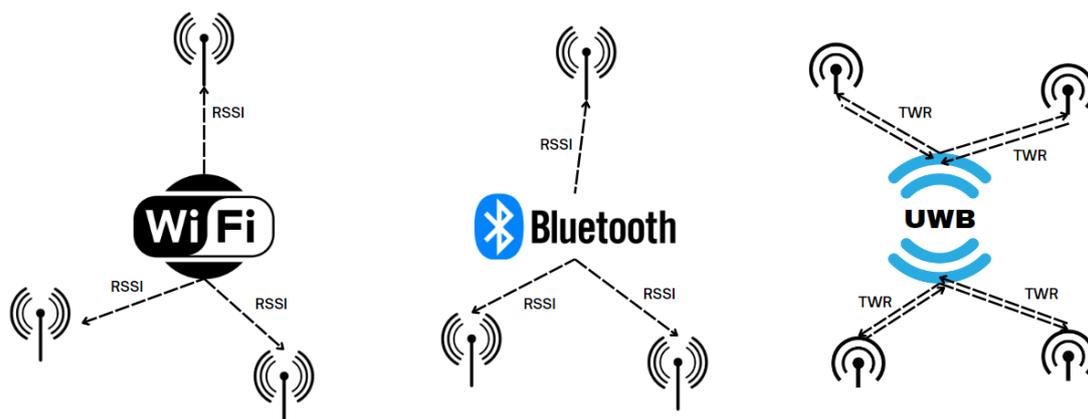


Figura 1: Confronto tecnologie RFID

La tecnologia RFID (Radio Frequency Identification) utilizza delle onde radio per la trasmissione di dati tra un tag e un lettore. Il tag RFID è un elemento hardware che contiene al suo interno un microchip e un'antenna che consentono l'identificazione e il tracciamento di esso all'interno di un spazio. Questi sistemi possono utilizzare diverse frequenze, frequenza molto alte che prendono il nome di UHF (Ultra High Frequency) e HF (High Frequency) e frequenze più basse Low Frequency, la scelta viene presa in base alle esigenze specifiche del sistema.

- Una tecnologia comunemente utilizzata per l'indoor positioning è il **WiFi**. I sistemi di posizionamento WiFi utilizzano i segnali wireless chiamati RSSI delle reti WiFi esistenti che permettono di stabilire quale sia la posizione degli utenti in un determinato spazio.
- La tecnologia **Bluetooth** invece è una delle tecnologie più comuni per l'indoor positioning realizzato con dispositivi mobile. Anche questi sistemi utilizzano i segnali RSSI per determinare la posizione degli utenti all'interno degli edifici.
- Un'altra tecnologia utilizzata è il **UWB** (Ultra Wide Band). Questa tecnologia utilizza un'ampia banda di frequenze per la trasmissione di dati a corto raggio, consentendo di trasmettere dati ad una distanza massima di 70 metri. Questi sistemi utilizzano il Time of Flight (ToF) per calcolare la posizione degli utenti in base al tempo che il segnale impiega per raggiungere il dispositivo mobile.

2.4 Confronto delle tecnologie

Esistono diverse tecnologie che possono essere utilizzate per determinare la posizione all'interno di un edificio. Ognuna di queste tecnologie ha i propri pro e contro in termini di precisione, costo, copertura del segnale e scalabilità. Ad esempio, le tecnologie tradizionali come il Wi-Fi, il Bluetooth e l'Active RFID possono offrire una precisione fino a diversi metri, mentre la banda ultra-larga è più adatta per le applicazioni in cui la precisione di posizionamento è un fattore critico.

In genere, ci sono due modi per misurare le distanze tra due dispositivi. Il primo si basa sull'RSSI, o indicazione della potenza del segnale ricevuto. Sappiamo che la potenza del segnale diminuisce con l'aumentare della distanza dal trasmettitore in modo deterministico basato su formule teoriche. Con questa ipotesi, possiamo stimare la distanza tra un ricevitore e un trasmettitore. Tuttavia, questo approccio presenta diversi svantaggi. Poiché l'ambiente, e quindi il canale radio, cambiano costantemente, cambia anche il parametro RSSI, che a sua volta porta imprecisione nel sistema. Il parametro RSSI può anche essere degradato dalla propagazione multipath e da altri fenomeni abbastanza comuni per il canale radio. I risultati e l'accuratezza complessiva possono essere aumentati da un processo chiamato *fingerprinting*, tuttavia a causa del rapido cambiamento degli ambienti radio, questo processo dovrebbe essere eseguito frequentemente per migliorare i risultati della gamma. Le tecnologie tradizionali come Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy e Active RFID si basano su questo processo di stima della distanza.

Un'altra opzione è utilizzare il tempo di volo del segnale anziché RSSI. Ciò produce risultati molto più accurati in ambienti Line of Sight e può portare a una precisione di livello centimetrico a seconda della frequenza e della natura del segnale. Questo è un approccio utilizzato dalla tecnologia Ultra Wide band. Combinando le misurazioni del Time of Flight di più dispositivi, possiamo ottenere una posizione precisa con una precisione fino a diversi centimetri. La natura dei segnali UWB lo rende un candidato ideale per l'utilizzo del processo di stima della distanza Time of Flight. Le prestazioni potrebbero essere degradate, ad esempio, oscurando la linea di vista tra i dispositivi UWB; tuttavia, la precisione complessiva è ancora superiore rispetto all'RSSI.

Tabella 1 Confronto della tecnologia del sistema di localizzazione in tempo reale (RTLS).

Tecnologia	Identificazione	Accuratezza	Presence detection	Tipo di posizionamento	Consumo di Potenza	Range (m)	Svantaggi
Ultra Wideband (UWB)	✓	cm - dm	✓	Assoluta	Molto basso	1-70	I Segnali possono esser bloccati da grandi oggetti metallici
Bluetooth	✓	m	✓	Assoluta	Basso	1-20	Soggetto a molte interferenze e ha una basso range
RFID	✓	dm - m	✓	Assoluta	Basso	1-50	Basso range e bassa copertura, comunicazione non sicura

Dalla tabella è chiaro che ogni tecnologia di posizionamento ha i suoi svantaggi. In base all'esigenza che si ha occorre decidere quale tipo di tecnologia di posizionamento è la più adatta per la sua applicazione o caso d'uso. Pur presentando alcune proprie limitazioni, la tecnologia Ultra Wide band offre una precisione di posizionamento superiore che può essere molto utile in diversi casi aziendali, come ad esempio la localizzazione precisa di attrezzature industriali, la navigazione interna in grandi edifici, la gestione del magazzino, la sorveglianza e la sicurezza, la geolocalizzazione di beni mobili, la creazione di mappe interne accurate, ecc.

3. Controllo Accessi

La gestione degli accessi è un elemento cruciale per proteggere le risorse aziendali e garantire la sicurezza. I controlli sui punti di ingresso consentono di identificare facilmente chi ha il permesso di accedere e chi no. I badge, schede speciali lette dai dispositivi di lettura, sono generalmente usati per regolare il passaggio attraverso le strutture. Questi sistemi sono fondamentali per la sicurezza dell'azienda poiché permettono di tenere traccia degli spostamenti e di limitare l'accesso solo alle persone autorizzate.

I principali vantaggi di un sistema di controllo degli accessi sono:

- **Garanzia dell'accesso in azienda ai dipendenti autorizzati** solo in orari e in giorni della settimana predefiniti.
- **Garanzia per i beni** fornendo sicurezza sia alle persone che dei valori presenti all'interno dell'azienda.
- **Accesso semplificato** mediante schede come badge o attraverso l'utilizzo di codici di accesso PIN o la biometria.
- **Comodità in caso di furto dell'oggetto o codice di accesso** è possibile disattivarlo immediatamente comunicandolo all'amministratore della sicurezza aziendale
- **Tracciamento degli utenti in transito** permettendo uno storico dei luoghi/uffici visitati

3.1 Tipologia di Sistemi

I Sistemi di controllo accessi presenti sul mercato sono numerosi, ognuno di questi si basa sull'identificazione di un utente in modo sicuro attraverso un codice che può essere all'interno di un tesserino (badge), tag, chiave o attraverso la biometria, una proprietà che personale univoca che ha ognuno di noi. Quando parliamo di Controllo Accessi in azienda possiamo dividere questi in termini di sicurezza fisica riferendoci alla pratica di autorizzazione ad entrare in azienda o semplicemente in un ufficio al solo personale autorizzato.

Il controllo accessi in termini fisici può essere realizzato attraverso dei varchi come Porte o cancelli, oppure attraverso dei varchi “virtuali”.

Andando ad analizzare l’evoluzione che ha subito il controllo accessi partendo dalla più consolidata ed ancora attuale sistema meccanico con chiavi fisiche fino alla gestione in cloud in cui le policy di accesso aziendali si basano su rigide regole e controlli delle credenziali.



Figura 2: Lettore di badge e badge fisico

Il Sistema di controllo accessi che comprende un lettore di badge e il badge/tesserino è il più famoso ed utilizzato su scala mondiale, brevemente è composto da un dispositivo elettronico che permette di leggere dei tag plastici e quest’ultimi chiamati badge hanno al loro interno un chip RFID con un codice identificativo oppure una banda magnetica. Questo sistema viene utilizzato sia per il rilevamento delle presenze che per il controllo degli accessi. Questo sistema presenta lo svantaggio di potersi usurare con il tempo smagnetizzandosi inoltre può essere smarrito e questo porta a generare un nuovo badge per l’utente. Il cuore di questo sistema risiede nel software collegato al lettore che elabora e registra gli eventi per ogni badge registrato al sistema.



Figura 3: Sistema di Controllo basato su QR-Code

Il sistema di controllo accessi basato sul QR Code è un sistema moderno che sostituisce i badge tradizionali, può essere installato su diversi varchi come sbarre, tornelli porte aziendali o uffici personali. Il mezzo che possiede le proprietà personali che identificano l’utente nel sistema sarà il QR-code che può essere rilasciato all’interno di una app creata allo scopo per qualsiasi dispositivo mobile.

Questo tipo di sistema permette di generare codici temporali per visitatori in azienda riducendo i costi di acquisto, distribuzione e smaltimento di tessere fisiche.

Occorre sicuramente dire che i codici QR sebbene non siano stati progettati per applicazioni che richiedono un'alta sicurezza, offrono una modalità flessibile per gestire gli accessi, spesso questo tipo di soluzione viene integrata in un sistema di sicurezza più completo in modo da aumentare il grado di sicurezza generale del sistema stesso.

I Sistemi di controllo accessi possono rientrare in tre macrocategorie:

- **Sistemi Autonomi**, sistemi che permettono l'ingresso ad un varco senza connettività e senza una infrastruttura, questo rende il sistema molto semplice da realizzare. Questi tipi di sistemi non permettono di gestire politiche orarie di ingresso e uscita e presentano un numero limitato di utenti a cui poter garantire l'accesso. Il livello di sicurezza di questo sistema è medio ed il costo di realizzazione è molto basso.
- **Sistemi Gestiti**, sono sistemi composti da un terminale che legge un codice che sia un tesserino, un QR-code attraverso il quale si permette l'accesso ai locali, il terminale è collegato ad un software che gestisce i permessi gli orari e monitora gli accessi. Questa tipologia di sistemi permette un gran numero di utenza garantendo dei buoni livelli di sicurezza che possono essere ampliati se vengono installati anche dei sistemi di videosorveglianza. Il costo di realizzazione è molto ragionevole.
- **Sistemi corporativi**, sono sistemi di controllo accessi molto completi che includono un'applicazione web che permette di essere disponibile su ogni tipo di dispositivo collegabile ad internet. Questa applicazione inoltre viene integrata in un sistema che comprende diverse componenti come la gestione delle risorse in cloud, sistemi di antintrusione e sicurezza informatica. Il livello di sicurezza in questo caso è il maggior possibile attualmente sul mercato e richiede un costo di realizzazione elevato rispetto alle due categorie precedentemente citate.

3.2 Tecnologie a Confronto

Le tecnologie presenti sul mercato presentano un diverso impatto sulla sicurezza e sul flusso del lavoro; quindi, occorre analizzare i diversi tipi di tecnologie mettendo in risalto i loro vantaggi e svantaggi.

Il primo che analizziamo è il tesserino magnetico che può essere associato a due tipologie di lettore: il lettore a banda magnetica in cui occorre strisciare la carta al suo interno e il lettore di prossimità in cui basta avvicinare la carta al lettore. I principali vantaggi di questo sistema sono: velocità di accesso data dalla semplicità di costruzione degli elementi dello stesso. Facilità nel trasporto e nella sostituzione del mezzo identificativo. Mentre gli svantaggi sono fragilità della carta, spesso realizzata in plastica, mentre la più grande vulnerabilità sta nel furto e nella possibile clonazione della scheda.

Un'altra tecnologia è l'accesso mediante un tastierino in cui inseriamo manualmente un codice d'accesso. È uno dei metodi più vecchio di sistema di controllo accesso ed è sicuramente il più semplice in facilità di movimento poiché non richiede nessun mezzo fisico da portar dietro con sé. Gli svantaggi che presenta sono: il codice può essere dimenticato o ceduto a terzi vanificando la sicurezza dell'ingresso stesso. Per migliorare la sicurezza occorre cambiare frequentemente il codice e questo non aiuta l'utente che deve memorizzare sempre codici differenti. Inoltre, uno stesso codice può essere valido per più utenti e quindi non si ha un'identificazione dell'utente che ha effettuato l'ingresso.

L'evoluzione delle tecnologie ha pensato di unire i due sistemi sopracitati facendo nascere l'autenticazione a due fattori in cui si combina un lettore a tastiera e a tesserino, in modo da ottenere maggiore sicurezza produttività e flessibilità del sistema. Ma porta con sé lo svantaggio di richiede molto più tempo per accedere e occorre sempre portare con sé il badge e ricordarsi il codice da inserire sulla tastiera.

I lettori biometrici come quelli di impronte digitali sono oggi molto diffusi, per verificare l'identità di un individuo basta poggiare il dito su un lettore di impronte è sicuramente un metodo molto veloce e che non richiede qualcosa da ricordare o portare con sé. Presenta però lo svantaggio dell'utilizzo improprio dell'impronta in quanto sia facilmente copiabile causano in questo caso un rischio di frode, inoltre nel caso in cui il dito sia umido o abbia dei graffi rende difficile il lavoro del lettore che non riconoscerà facilmente il dito impedendo l'accesso.

Nei sistemi di controllo accessi in cloud le informazioni vengono salvati al di fuori della sede fisica aziendale e sono accessibili da diversi dispositivi mobile in remoto. I sistemi di controllo accessi basati sul cloud sono soluzioni di gestione degli accessi che utilizzano la tecnologia cloud per immagazzinare e gestire i dati relativi agli utenti e alle autorizzazioni. In questo modo, è possibile gestire gli accessi da qualsiasi luogo con una connessione internet, senza la necessità di hardware o software specifici. I servizi vengono offerti e protetti da norme di sicurezza informatica per il trattamento dei dati. Senza dubbio questi sistemi aumentano la flessibilità rispetto ai sistemi precedenti basta una connessione ad Internet per connettersi in remoto, presenta inoltre una grande scalabilità in quanto è possibile, per esempio, connettere diverse sedi dislocate nel mondo. Seppur presenta molti vantaggi occorre dire che si è dipendenti dalla connessione ad Internet e inoltre non sono sicuri come i sistemi installati in loco in quanto i dati che passano su internet seppur crittografati potrebbero esser letti se non viene scelta una alta crittografia.

4.Caso aziendale: Microntel S.P.A

L'azienda Microntel progetta, produce, distribuisce ed assiste sistemi di controllo accessi e sicurezza, rilevazione presenze del personale e raccolta dati di produzione. Microntel, quindi progetta sistemi di controllo accessi e sicurezza utilizzando le tecnologie più avanzate e innovative per garantire che i loro prodotti siano altamente funzionali ed efficienti. La produzione dei sistemi avviene utilizzando macchinari e tecnologie all'avanguardia per garantire la qualità e l'affidabilità dei prodotti. Una volta che i sistemi sono stati progettati e prodotti, vengono distribuiti a livello globale attraverso una rete di distributori e rivenditori, per rendere i loro prodotti accessibili a clienti in tutto il mondo. Inoltre, l'azienda offre anche assistenza post-vendita per garantire che i clienti siano completamente soddisfatti del loro acquisto e per risolvere eventuali problemi che possono sorgere.

4.1.1 Micronpass

Micronpass è la soluzione di Microntel S.p.a., progettata per gestire in tempo reale la sicurezza di aree e edifici. Tale soluzione utilizza delle tecnologie all'avanguardia per definire delle regole di accesso alle aree da controllare e fornire in tempo reale la situazione del personale presente negli edifici. Per effettuare il controllo degli accessi Micronpass utilizza tecnologie come lettori di badge e metodi di autenticazione per garantire che solo i dipendenti autorizzati abbiano accesso alle aree riservate, fornendo la garanzia di accessi protetti da intrusioni non autorizzate, o semplicemente per dar il permesso al solo personale autorizzato l'accesso alle aree di loro competenza. Micronpass permette inoltre di visualizzare in tempo reale la situazione del personale negli edifici, in modo da fornire informazioni alle aziende su dove il personale si trovi in qualsiasi momento, funzionalità senz'altro utile per la gestione dell'emergenza e per la pianificazione delle attività.

Micronpass è disponibile in una versione offline e online in modo da soddisfare le diverse esigenze delle aziende. La versione offline permette di gestire la sicurezza degli edifici senza una connessione internet, mentre la versione online consente la gestione a distanza e la visualizzazione dei dati in tempo reale da qualsiasi dispositivo connesso. Micronpass nella sua versione online è un'applicazione web fruibile per ogni dispositivo collegabile ad internet, permette quindi l'accesso da qualsiasi sede o parte del mondo.



Figura 4: Schema soluzioni Micronpass

La soluzione adottata dalle aziende presenta un'interoperabilità con svariati sottosistemi tra i quali:

- **MicronApp:** MicronApp è un'applicazione mobile progettata per consentire ai dipendenti di accedere alle aree protette utilizzando il loro smartphone. L'app include funzionalità digitali per l'autenticazione, nonché la visualizzazione dei dati di presenza in tempo reale.
- **App Timbrature:** L'App Timbrature è un'applicazione che consente ai dipendenti di registrare il loro ingresso e uscita dall'edificio utilizzando il loro smartphone. In questo modo, l'azienda può tenere traccia delle timbrature in tempo reale e generare report sulla presenza del personale.
- **Gestione Visitatori:** Il sottosistema di Gestione Visitatori è progettato per gestire l'accesso dei visitatori all'edificio. Include funzionalità come la registrazione dei visitatori, l'emissione di badge temporanei e la tracciabilità dei visitatori in tempo reale.
- **Integrazione Video:** Il sistema di Integrazione Video consente di integrare la sicurezza degli edifici con la sorveglianza video. In questo modo, l'azienda può monitorare in tempo reale le aree protette e registrare le immagini per eventuali indagini future.
- **Riconoscimento Targhe:** Il sottosistema di Riconoscimento Targhe è progettato per riconoscere automaticamente le targhe dei veicoli che entrano ed escono.

dall'area protetta. Ciò consente all'azienda di tenere traccia dei veicoli autorizzati e di evitare l'accesso non autorizzato.

- **Arruolamento:** è progettato per gestire la creazione e la gestione dei profili utente. In questo modo, l'azienda può controllare chi ha accesso alle aree protette e assegnare i diritti di accesso in modo efficiente.
- **Badge:** consente di assegnare ai dipendenti un tesserino di identificazione personale con il quale possono accedere alle aree protette. Il tesserino può essere personalizzato con le informazioni del dipendente e può essere utilizzato per la registrazione delle timbrature.
- **Stampa Badge:** è progettato per generare e stampare i tesserini per i dipendenti. Ciò consente all'azienda di generare rapidamente badge personalizzati per i nuovi dipendenti e di rinnovare i badge esistenti in caso di perdita o danneggiamento.
- **Gestione Mensa:** consente di gestire la mensa aziendale.

4.1.2 Sottosistemi di Micronpass

MicronApp è un'applicazione per dispositivi mobili che utilizza il sistema Micronpass per gestire l'accesso a determinati luoghi. Il sistema si basa sull'utilizzo di tecnologie di identificazione come il Bluetooth e i codici QR. L'applicazione consente di effettuare l'accesso a un varco, ovvero un punto di ingresso, in modo controllato e sicuro. All'interno dell'applicazione è presente una virtualizzazione del badge, ovvero una rappresentazione digitale del documento di identificazione utilizzato per accedere al luogo in questione. Questo sistema di accesso basato sull'utilizzo di tecnologie mobili è molto comodo ed efficiente rispetto ai sistemi tradizionali basati sull'utilizzo di badge fisici.



Figura 5: Interfacce MicronApp

Questa applicazione consente di aprire il varco in differenti modalità:

- **Scelta manuale del varco selezionato:** L'utente può selezionare manualmente il varco desiderato utilizzando l'interfaccia dell'applicazione.
- **Avvicinamento fisico dell'utente al varco:** L'applicazione utilizza la tecnologia BLE per rilevare la posizione dell'utente e aprire il varco più vicino.
- **Rotazione del dispositivo smartphone "Twist and go" in prossimità del varco:** L'utente può utilizzare un movimento di rotazione del proprio smartphone per aprire il varco, questa funzione è detta "Twist and go". Questa funzione è attivata quando l'utente si trova in prossimità del varco.

MicronApp-QR Code è un'applicazione mobile sviluppata per generare codici QR cifrati con una validità predefinita. Utilizza la tecnologia di crittografia per garantire la sicurezza dei dati contenuti nel codice QR. L'utente può generare il codice semplicemente con un tocco sullo schermo del proprio dispositivo mobile. MicronApp consente all'utente di accedere alle informazioni sugli eventi di accesso registrati in precedenza attraverso i varchi. Ciò significa che l'utente può verificare in quale momento e da chi è stato utilizzato il codice QR generato.

L'applicazione è disponibile per il download su Google Play e su App Store, i principali store per scaricare le app su dispositivi Android e iOS rispettivamente. L'utilizzo di questi store garantisce che l'applicazione sia sicura e che rispetti gli standard di qualità stabiliti dalle piattaforme.

4.1.3 App Timbrature

L'app Timbrature sviluppata dalla Microntel S.p.a. rappresenta un'innovativa soluzione per la registrazione delle timbrature di ingresso e uscita dei dipendenti tramite dispositivi mobili, quali smartphone e tablet. Grazie all'interfaccia semplice ed intuitiva, l'utente è in grado di selezionare il verso della timbratura, ovvero ingresso o uscita, ed eventualmente aggiungere note di supporto per la registrazione. Il sistema, quindi, si occupa di generare una timbratura con l'orario preciso e sincronizzarla con il server sulla procedura Micronpass. L'applicazione è disponibile sia per i dispositivi mobili dotati di sistema operativo IOS che Android, con l'obiettivo di semplificare ed ottimizzare la gestione delle presenze all'interno di un'organizzazione. Grazie a Timbrature, infatti, i dipendenti possono registrare la propria presenza in maniera efficiente e veloce, senza doversi spostare fisicamente per accedere ai terminali di rilevazione presenze.

L'utilizzo di questa applicazione rappresenta un modo facile, comodo e intuitivo per tenere traccia delle timbrature effettuate attraverso una cronologia delle timbrature. Si dà la possibilità agli utenti di monitorare e verificare eventuali anomalie o discrepanze nei dati, fornendo così un controllo completo sulla propria attività lavorativa. Questo ha permesso inoltre che gli utenti non necessitano di cercare informazioni altrove o accedere a dispositivi diversi per consultare il proprio storico ingressi.

Dal punto di vista della sicurezza viene utilizzato un sistema di crittografia avanzato, in modo che solo l'utente autorizzato possa accedere alle proprie timbrature, prevenendo qualsiasi tentativo di accesso non autorizzato ed evitando a terze parti non autorizzate l'accesso, garantendo così un alto livello di sicurezza per gli utenti.



Figura 6: Interfacce App Timbrature

5. Ambiente di Sviluppo e Framework

5.1 Xcode

Xcode è un ambiente di sviluppo integrato (IDE) sviluppato dalla azienda Apple per sviluppare del software per i seguenti sistemi operativi: MacOS, iOS, watchOS e tvOS. Tale software fornisce degli strumenti utili ai programmatori per aiutar a sviluppare applicazioni in modo semplice e rapido: Include strumenti per il debug, la simulazione e il test delle applicazioni, nonché un'interfaccia visuale per la creazione di interfacce utente e la gestione dei layout.

Debug:

- Aprire il progetto Xcode: Selezionare il dispositivo di destinazione per la simulazione (ad esempio, un iPhone connesso o un simulatore)
- Eseguire il debug utilizzando la funzione "Debug" (cmd + Y)
- Utilizzare i break point per interrompere l'esecuzione del codice in un punto specifico
- Utilizzare la console per visualizzare i log e i valori delle variabili

Simulazione:

- Aprire il progetto Xcode: Selezionare un simulatore dalla lista (ad esempio, iPhone 12 Pro Max)
- Eseguire la simulazione utilizzando la funzione "Build and Run" (cmd + R)
- Utilizzare la simulazione per testare l'app con diverse configurazioni di hardware e software

Test:

- Aprire il progetto Xcode: Selezionare il target del test (ad esempio, l'app principale o un singolo test)
- Eseguire i test utilizzando la funzione "Test" (cmd + U)
- Visualizzare i risultati dei test e identificare eventuali errori o fallimenti

Xcode rientra nelle categorie degli IDE (integrated design environment) cioè ambiente integrato di progettazione, per tale motivo all'interno di Xcode è possibile scrivere del codice, eseguire un debug della propria applicazione e testarlo.

Nel tempo Xcode ha introdotto sempre nuove funzionalità che permettessero al programmatore un utilizzo sempre più Smart e veloce di ogni aspetto inerente alla progettazione software.

Xcode nasce circa 18 anni fa, precisamente il 28 settembre 2003 e ad oggi ha raggiunto la sua quattordicesima versione rilasciata il 13 dicembre 2022. Su Xcode è possibile utilizzare diversi linguaggi di programmazione Objective-C, C, C ++, Java, Swift, Python, Ruby e AppleScript.

Xcode è un ambiente di lavoro che permette di progettare tutte le componenti di un'applicazione come l'interfaccia utente e il codice all'interno di un unico flusso di lavoro. L'ambiente Xcode presenta un set di strumenti realizzati per lo sviluppo di applicazioni native per tutti i dispositivi dell'azienda Apple.

L'IDE permette di testare le applicazioni realizzate nei dispositivi fisici, in particolare abbiamo scelto di testare l'applicazione su un dispositivo dato in dotazione dall'azienda **Microntel**, un iPhone 12 mini. Si è scelto questo modello perché occorre che il dispositivo abbia al suo interno il chip U1(Chip UWB) in modo da poter funzionare correttamente.

Per utilizzare la tecnologia UWB con Xcode, gli sviluppatori devono importare il framework Nearby Interaction, configurare il progetto, creare una classe che implementa le funzionalità UWB, utilizzare la classe nell'app e testare l'app su un dispositivo compatibile con UWB.

5.2 Nearby Interaction

Il Nearby interaction è il framework utilizzato sull'ecosistema Apple per Interagire con gli oggetti nelle vicinanze utilizzando identificatori, distanza e direzione. Grazie a questo framework e ai dispositivi dotati di chip Ultra Wide Band (UWB) è possibile calcolare la distanza tra due oggetti e molto altro. Tale Framework permette di ottenere direzione e distanza tra due o più oggetti, questo avviene mediante lo scambio di token di posizione che si scambiano i dispositivi. In particolare, I dispositivi di generazione superiore all'iPhone 11 sono dotati di un chip U1, che rende possibile la comunicazione UWB tra dispositivi.

Nearby interaction è stato introdotto con IOS 14 e recentemente aggiornato con IOS 16, permette di individuare e interagire con i dispositivi vicini utilizzando la distanza e la direzione. Questo Chip abilita il supporto all'Ultra Wideband nei dispositivi Apple permettendo di creare delle interazioni spaziali basate sulla posizione relativa di due o più dispositivi.

Il Framework Nearby interaction viene utilizzato sotto autorizzazione dell'utente che concede l'autorizzazione ad essere trovato dai dispositivi vicini ogni volta che aprono l'app che incorpora il framework.

- Prima di tutto viene inviata una richiesta di autorizzazione ad entrambi utenti che aprono l'app, richiedendo un permesso una tantum all'utilizzo del chip UWB. Questo sarà valido fino alla chiusura dell'app.
- Quando viene autorizzata l'app che utilizza questo framework si ottiene un flusso continuo di aggiornamenti bidirezionali contenenti informazioni sulla distanza e sulla direzione.
- Ogni dispositivo attraverso l'app può interagire con più dispositivi contemporaneamente scambiando informazioni

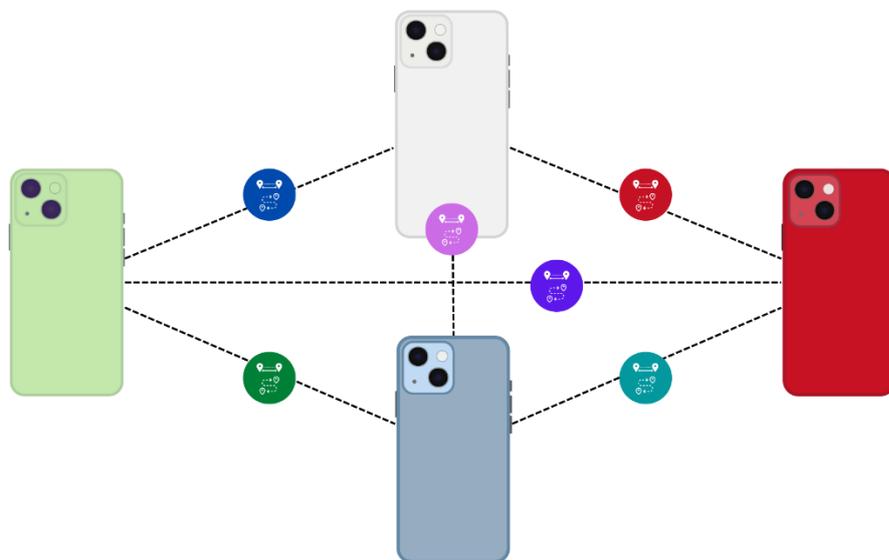


Figura 7: Scambio di informazioni Distanza e Direzione UWB

Le diverse interazioni tra i dispositivi dal punto di vista del framework sono incapsulate in Sessioni (**NISession**), oggetti che richiedono una configurazione ben precisa.

I passi che devono essere eseguite dai rispettivi dispositivi sono i seguenti

- Effettuare una ricerca dei dispositivi vicini andando a identificare ognuno con un id univoco. Questo avviene quando andiamo a richiamare la **NIDiscoveryToken**. i dispositivi mediante un token di rilevamento si scoprono a vicenda.
- Una volta ottenuto il token della sessione viene scambiato questo per ricevere l'aggiornamento del dispositivo che si sposta.

5.2.1 Delegato di NISession

All'interno del delegato della **NISession** gestiamo tutti gli aggiornamenti riguardanti lo stato della sessione tra cui, per il monitoraggio dei peers vengono utilizzati i seguenti campi

- **didGenerateSharebleConfigurationData**: Genera la configurazione da inviare ai peer
- **didUpdate**: riceve degli aggiornamenti sui dispositivi nelle vicinanze
- **didRemove** con reason: riceve degli aggiornamenti quando la sessione non interagisce più con gli oggetti vicini fornendo anche un motivo (reason) per timeout o per peer che interrompe la comunicazione.

Per la gestione delle interruzioni

- **sessionWasSuspended**: Viene richiamato quando l'applicazione va in background
- **sessionSuspensionEnded**: Ci indica che possiamo riprendere la sessione per la sospensione è finita l'applicazione torna nello stato di running.
- **didInavlidateWith**: Ci indica quando c'è stato un errore con la sessione e viene invalidata. in questo caso occorre ripetere la ricerca dei peer perché anche la Discovery viene invalidata di conseguenza.

5.2.2 L'oggetto NINearbyObject

Questo oggetto è composto dai dati relativi alla sessione un token (**discoveryToken**) per identificare la sessione, un parametro che indica la distanza in metri (**distance**) è espresso come un float e ci indica la distanza tra i dispositivi connessi e infine un parametro che ci indica la direzione (**direction**), in particolare la variabile è espressa sotto forma di vettore avente 3 componenti float (**simd_float3**).

Le proprietà dell'oggetto **NINearbyObject**, distanza e direzione sono nullable questo implica che queste proprietà possono essere fornite senza alcun valore: Tali valori vengono influenzati all'interno di un certo campo visivo, una sorta di cono immaginario che esce dal retro del dispositivo.

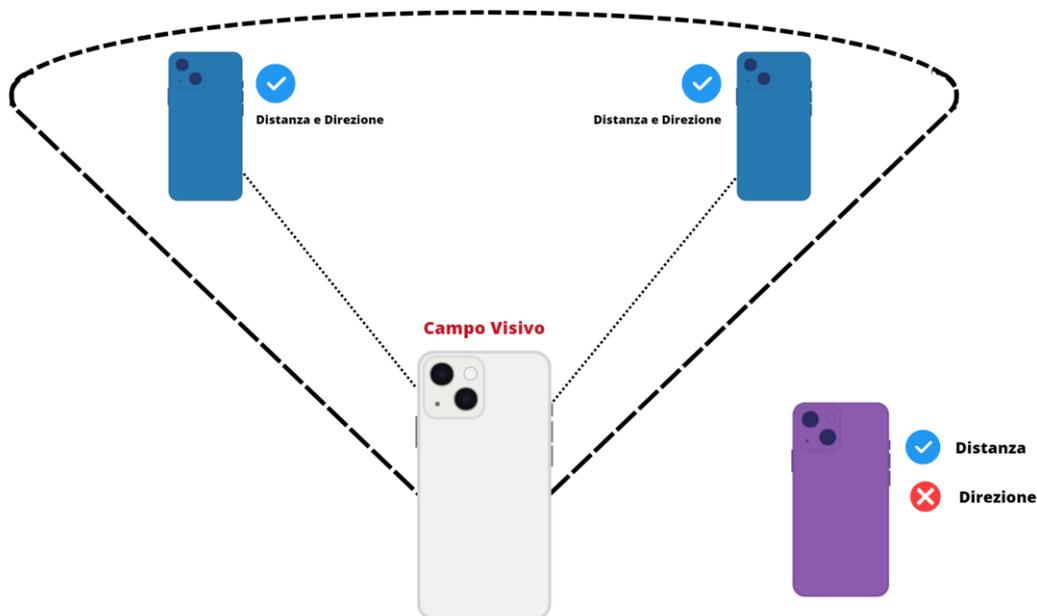


Figura 8: Campo Visivo UWB

Quando ci troviamo all'interno del campo visivo si ricevono dei dati sulla distanza e la direzioni affidabili mentre quando usciamo da quel campo visivo riusciamo ad ottenere una misurazione della distanza tutto sommato affidabile mentre per la misurazione della direzione avremo problemi di affidabilità sui dati ricevuti.

Occorre sempre verificare se il dispositivo supporta tale framework andando a testare il dispositivo con la variabile **NISSession.isSupported**.

Dobbiamo considerare i seguenti fattori quando utilizziamo questo framework per la creazione dell'esperienza dell'utente:

- L'applicazione deve comprendere l'impatto dell'orientamento del dispositivo fisico. Per ottenere dei buoni risultati occorre utilizzare il dispositivo in verticale.
- Occorre anche considerare che se un dispositivo è in verticale e un secondo dispositivo in comunicazione è in orizzontale, l'applicazione non sarà in grado di ottenere delle misurazioni affidabili.
- Qualsiasi tipo di dispositivo influisce nel campo visivo tra due dispositivi questo può provocare un calo dell'affidabilità dei dati ricevuti.

5.3 CoreBluetooth

Il CoreBluetooth è il framework che viene utilizzato nell'ecosistema Apple per creare delle applicazioni che sfruttano le potenzialità del Chip Bluetooth. La funzionalità di base offerta da questo framework consiste nella gestione di ogni aspetto della comunicazione tra dispositivi dotati del Bluetooth. CoreBluetooth è l'unico modo ufficiale per integrare le funzionalità bluetooth nelle proprie applicazioni.

Tale Framework a livello applicativo utilizza il BLE, Bluetooth Low Energy, che differisce dalla versione standard del Bluetooth per l'ottimizzazione che è stata realizzata dal punto di vista energetico. L'analisi viene focalizzata sui dispositivi a bassa potenza utilizzando questa versione del Bluetooth per la trattazione di questo lavoro di tesi.

Gli elementi principali con cui lavora il CoreBluetooth sono due: Central (I dispositivi che nella concezione retistica del Bluetooth rivestono il ruolo di Master nella connessione) e i Peripheral (Le periferiche che rivestono il ruolo di Slave in una Piconet).

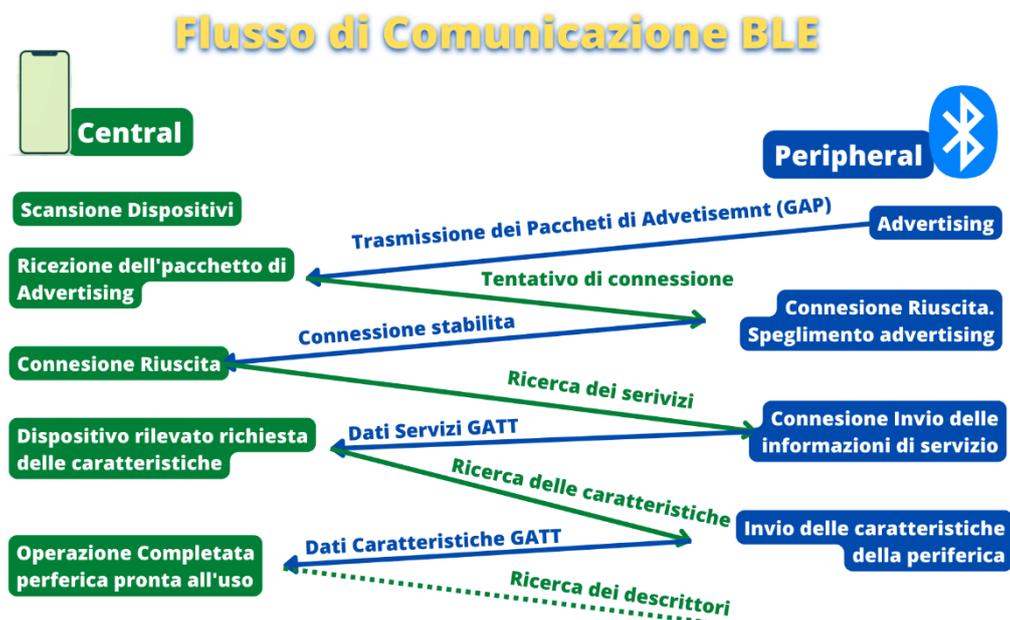


Grafico 1 Flusso di comunicazione BLE

Il dispositivo che riveste il ruolo di Central nel framework si occuperà della scansione, connessione e disconnessione delle periferiche. Il Central non è altro che l'oggetto che riceverà i dati da una periferica Bluetooth. Il Bluetooth utilizza un modello Master/Slave dove il master fornisce i servizi e lo slave le richiede al master. Mentre il dispositivo che riveste il ruolo di Slave si occupa principalmente di inviare dei messaggi di advertising

per inizializzare la connessione e una volta i pacchetti relativi ai servizi e le caratteristiche richieste si ha la trasmissione dei dati tra master e slave.

5.3.1 CBCentralManager

Il CBCentralManager (CBCM) è il gestore centrale per la configurazione di una connessione Bluetooth. Permette di monitorare lo stato del Bluetooth del dispositivo, la scansione delle periferiche Bluetooth e la connessione e la disconnessione da esse.

All'atto di inizializzazione dell'CBCM occorre includere come per il framework Nearby Interaction, il suo delegato in modo da poter ricevere le chiamate al metodo asincrono del protocollo **CBCentralManagerDelegate**.

Il primo passo da seguire è implementare il metodo **centralManagerDidUpdateState()** che viene chiamato da Core Bluetooth ogni volta che lo stato del Bluetooth viene aggiornato. In circostanze normali, all'inizializzazione del gestore si riceve dal metodo lo stato **poweredOn** che ci comunica che il bluetooth è abilitato e pronto per l'uso.

Gli stati che occorre gestire all'interno del CBCM sono:

- **poweredOn**: indica che il bluetooth è attivo e pronto per l'uso.
- **poweredOff**: indica che il bluetooth è stato disattivato.
- **resetting**: indica che la connessione bluetooth è stata interrotta
- **unauthorized**: indica che l'utente non ha concesso i permessi all'utilizzo della connettività bluetooth.
- **unsupported**: indice che il dispositivo non supporta il Bluetooth
- **unknown**: indica un errore generico e sconosciuto

Il secondo passo è di effettuare una scansione delle periferiche vicine attraverso la chiamata al metodo **scanForPeripherals(withServices:options:)** a sua volta il CBCM restituirà i dispositivi che annunciano di possedere i servizi richiesti. Ogni periferica viene identificata da un oggetto **CBPeripheral**, una volta ottenuto questo riferimento si può tentare la connessione con esso attraverso il metodo **connect(_:options:)**.

Se la connessione va a buon fine si riceverà una chiamata al metodo delegato

- **centralManager(_:didConnect:)** una volta collegato con la periferica è possibile scoprire i servizi, le caratteristiche e descrittori di essa attraverso i metodi delegati alla periferica.

Altrimenti si ottiene una chiamata

- **centralManager(_:didFailToConnect:error:)**, con una specifica sull'errore ottenuto.

5.3.1.1 Scoprire i servizi

Occorre chiamare il metodo **discoverServices ([CBUUID]?)**, oppure il metodo **discoverIncludedServices ([CBUUID]?, for: CBService)**. Una volta ottenuti i servizi, si riceverà una chiamata **CBPeripheralDelegate peripheral(_:didDiscoverServices:)**, con un array di oggetti **CBService** che rappresentano gli UUID dei servizi scoperti.

5.3.1.2 Ricerca delle caratteristiche

Le caratteristiche sono raggruppate in servizi. Per ogni servizio, viene effettuata una chiamata al metodo **discoverCharacteristics([CBUUID?], for: CBService)** ricevendo l'oggetto **CBPeripheral**, specificando facoltativamente specifici UUID caratteristici. In questo modo si riceve una chiamata al metodo **peripheral(_:didDiscoverCharacteristicsFor: error:)** per ogni servizio per il quale si è richiesto il rilevamento.

5.3.1.3 Ricerca dei descrittori

La ricerca dei descrittori di caratteristiche permette di fornire maggiori informazioni su una caratteristica. Sono rappresentati da oggetti **CBDescriptor**. Attraverso l'utilizzo del metodo **discoverDescriptors(for characteristic: CBCharacteristic)** si ottiene la periferica di destinazione e il callback asincrono **peripheral(_peripheral:CBPeripheral, didDiscoverDescriptorsFor characteristic: CBCharacteristic, error: Error?)**. Infine, la proprietà **descriptors** dell'oggetto **CBCharacteristic** conterrà un array di oggetti **CBDescriptor**.



Grafico 2: Divisione degli oggetti che descrivono i Servizi e le caratteristiche di una periferica

6. Bluetooth

Il Bluetooth è una specifica progettata principalmente per supportare il semplice collegamento in rete wireless di dispositivi e periferiche su brevi distanze.

6.1 Storia

La tecnologia Bluetooth è stata standardizzata per la radiocomunicazione dal gruppo di lavoro IEEE 802.15.1. L'obiettivo alla base del progetto Bluetooth è di rendere obsoleti i collegamenti con i fili. Il suo nome ha origine da Harald Bluetooth (HB), il re della Danimarca che è passato alla storia per aver unificato i paesi scandinavi in un solo gruppo. L'attuale logo della tecnologia è stato creato a partire dalle sue iniziali in vichingo.

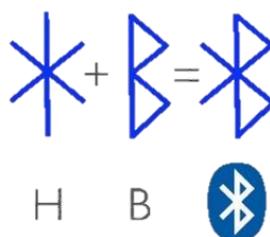


Figura 9: Origine del Logo Bluetooth

Il Bluetooth definisce dei livelli e dei profili di protocollo. Il livello più alto è il livello applicazione, mentre il livello più basso è livello di rete: il Bluetooth opera nell'intervallo di bande di frequenze che variano da 2,402 GHz a 2,480 GHz, utilizzate senza aver alcun bisogno di concessioni o licenze. Questa tecnologia presenta un raggio operativo di circa 10 metri. Un elemento chiave del successo della tecnologia risiede nella facilità di interconnessione con i diversi dispositivi e l'efficienza con cui questo avviene. Definiamo un dispositivo compatibile con il Bluetooth, solo se possiede due elementi: un software specifico per il trasferimento dei dati e un chip Bluetooth con all'interno una trasmittente e un'unità ricevente. L'identificazione tra i diversi dispositivi avviene mediante un indirizzo MAC a 48 bit.

Per poter convivere con le diverse interferenze presenti nella banda utilizzata viene utilizzato un veloce schema di salto di frequenza (**frequency hopping**) in cui mediante pacchetti più brevi rispetto ad altri standard all'interno della banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) si rende la comunicazione Bluetooth più solida e sicura. **Il salto di frequenza** consiste sostanzialmente nell'identificare finestre temporali tra una

frequenza e l'altra con cui può operare con multiplexing sincrono a divisione di tempo. Dopo che un dispositivo Bluetooth trasmette o riceve un pacchetto, viene effettuato un salto verso un'altra frequenza, prima che venga inviato il pacchetto successivo.

Questa tipologia di schema offre numerosi vantaggi:

- Consente ai dispositivi di utilizzare l'intera banda disponibile, in modo da non trasmettere ad una frequenza fissa.
- Garantisce che le interferenze non durino a lungo, perché per ogni pacchetto che non arriva a destinazione, si ha la possibilità in modo sicuro di poter essere rinviato alla frequenza successiva.
- Fornisce un livello di sicurezza base, dato dalla natura dell'adozione di questo salto di frequenza, poiché è molto difficile per un dispositivo di intercettazione prevedere quale frequenza si utilizzerà successivamente.

Il Bluetooth offre anche un collegamento robusto, che assicura che le normali condizioni operative non siano interrotte da interferenze provenienti da altri segnali che operano nella stessa banda di frequenza.

Le dimensioni della radio Bluetooth sono sorprendenti, poiché una radio Bluetooth può essere incorporata in uno o due microchip molto piccoli e quindi integrata in qualsiasi dispositivo elettronico in cui le operazioni wireless sarebbero un vantaggio.

La versione 1.1 di Bluetooth descrive una tecnologia di rete wireless a corto raggio a bassa potenza che utilizza le onde radio per inviare dati a velocità fino a 720 kilobit al secondo.

La prima versione del nuovo standard radio, Bluetooth 1.0a, uscì a metà del 1999, allora con una velocità di trasmissione dati di 732,2 kbit/s. Tuttavia, proprio come la versione successiva 1.0b, ha dovuto lottare con alcuni difetti iniziali e problemi di sicurezza. Solo con Bluetooth 1.1 (inizio 2001) è riuscita a crearsi una base solida per prodotti commercializzabili. Da allora il sistema è stato continuamente sviluppato e migliorato con particolare attenzione a sicurezza, resistenza alle interferenze e velocità di connessione.

Versione	Data di Rilascio	Velocità di trasf. Max.	Nuove funzionalità
1.0a	Luglio 1999	732 kbps	Versione base
1.0b	Dicembre 1999	732 kbps	Migliorate le connessioni
1.1	Febbraio 2001	732 kbps	Prima versione commercializzabile, aggiunta la crittografia e stabilito il limite della Piconet a sette dispositivi
1.2	Novembre 2003	1 Mbps	Aggiunto l'Adaptive Frequency Hopping (AFH) per la gestione delle interferenze
2.0 + EDR	Novembre 2004	2,1 Mbps	Aumento della velocità trasmissivi grazie a Enhanced Data Rate (EDR)
2.1 + EDR	Agosto 2007	2,1 Mbps	Introduzione della connessione automatica con il Secure Simple Pairing
3.0 + HS	Aprile 2009	24 Mbps	Inserito Canale ad alta velocità basato su WLAN e UWB
4.0 BLE	Dicembre 2009	24 Mbps	Aumento della sicurezza mediante crittografia a 128bit, introduzione dello Stack Low Energy con il profilo GATT
4.1	Dicembre 2013	25Mbps	Maggiore flessibilità nelle connessioni tra dispositivi IoT
4.2	Dicembre 2014	25 Mbps	Migliorata la velocità di connessione tra dispositivi
5	Dicembre 2016	50 Mbps	Raddoppiata la velocità di trasmissione per i canali ad alta velocità
5.1	Gennaio 2019	50 Mbps	Introdotti modalità di localizzazione in indoor mediante il calcolo dell'Angolo di Arrivo e Angolo di partenza
5.2	Dicembre 2019	50 Mbps	Introdotta la funzionalità Isochronous Channels per il miglioramento della trasmissione audio su LE
5.3	Luglio 2021	50 Mbps	Miglioramenti di sicurezza sulla chiave crittografica e introduzione la funzionalità Connection Subrating

Il risultato è una varietà di versioni Bluetooth che si basano l'una sull'altra e si differenziano principalmente per la massima velocità di trasferimento dati possibile, ma anche per le funzionalità e l'area di applicazione.

6.1 La Piconet

I dispositivi Bluetooth si collegano e comunicheranno senza fili attraverso reti a corto raggio e note come Piconet. Questa rete di dispositivi viene stabilita dinamicamente quando i dispositivi con Bluetooth attivo in prossimità della radio bluetooth, entrano ed escono. Ogni Piconet è composta principalmente da un Master (“Padrone”) che crea la rete e dagli Slave (“Schiavi”), dispositivi connessi al Master.

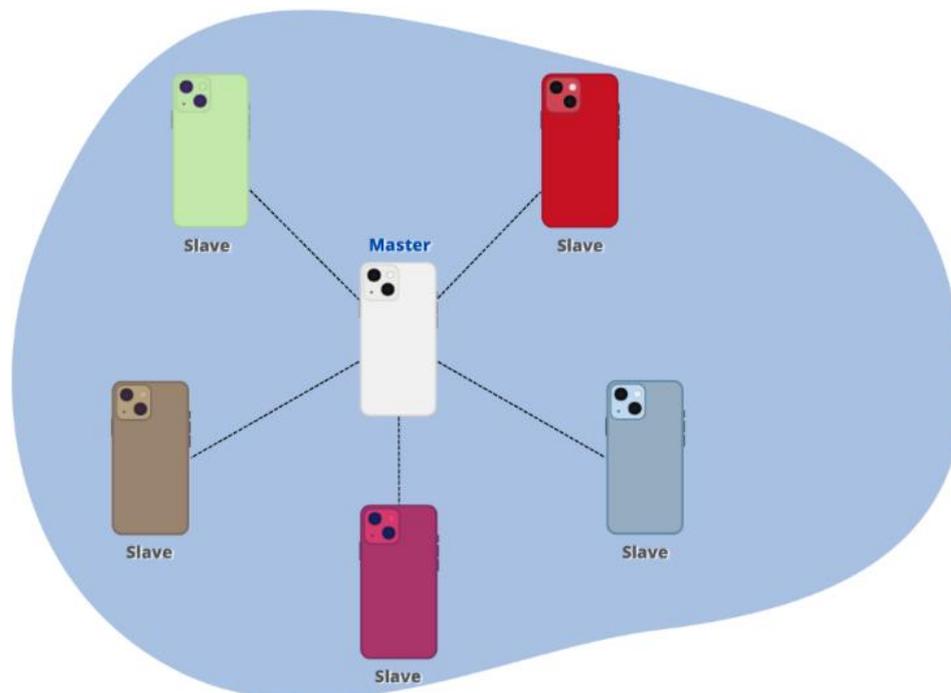


Figura 10: Piconet

La specifica Bluetooth definisce una relazione di tipo master e slave tra i dispositivi Bluetooth e utilizza un algoritmo in cui vengono trasmesse le informazioni utilizzate per calcolare la sequenza di salti di frequenza.

Un dispositivo in modalità Master può comunicare con un massimo di sette dispositivi impostati in modalità slave, all'interno di una singola Piconet ed è possibile che un dispositivo possa appartenere anche a più Piconet contemporaneamente.

Poiché il dispositivo master e ciascuno dei dispositivi slave utilizzano lo stesso algoritmo con lo stesso input iniziale, i dispositivi collegati arriveranno sempre insieme alla frequenza successiva concordata. A ciascuno degli Slave, il dispositivo Bluetooth master invierà il proprio indirizzo univoco e il valore del proprio orologio interno. Ogni Slave all'intero rimane attivo fino a quando il master non interrompe la funzione Bluetooth. I dispositivi in modalità slave che dichiarano di volersi collegare a una rete bluetooth si utilizzano la modalità Scan in cui ascoltano le onde radio in prossimità a intervalli di 2,56 secondi. Solitamente in circa 1,3 secondi si stabilisce la connessione. Comunamente si utilizza il nome pairing quando due o più dispositivi creano una connessione Bluetooth. La tecnologia Bluetooth offre l'interoperabilità, il che significa che si può utilizzare il proprio dispositivo Bluetooth per connettersi con diversi device.

6.2 Applicazioni

La tecnologia Bluetooth oggi è una comunicazione wireless standard, il che significa che consente la connessione con altri dispositivi elettronici dotati di chip Bluetooth. Il Bluetooth consente agli utenti di connettere molte gamme di dispositivi in modo rapido e semplice ed espande anche le capacità di comunicazione.

Le applicazioni principali della tecnologia Bluetooth includono:

1. **Audio wireless:** cuffie, altoparlanti, microfoni
2. **Connessione tra dispositivi mobili:** smartphone, tablet, computer
3. **Tracciamento della posizione:** tracker per animali domestici, localizzatori per oggetti smarriti
4. **Controllo dei dispositivi smart home:** termostati, luci, serrature
5. **Automobile:** sistemi di infotainment, chiamate mani libere, dispositivi di navigazione GPS
6. **Controllo giocattoli e gadget:** droni, robot, giochi

6.3 Calcolo del posizionamento

Per calcolare la posizione la tecnologia Bluetooth utilizza il parametro RSSI (Receive Signal Strength Indicator), parametro che permette di misura la potenza del segnale ricevuto dal dispositivo che emette il segnale, attraverso la seguente formula:

$$RSSI = 10 * \log \left(\frac{W1}{W2} \right)$$

dove indichiamo con W_1 la potenza del segnale ricevuto, mentre con W_2 la potenza di riferimento.

L'unità di misura di RSSI è dB. Dalla formula è semplice comprendere che da un valore elevato di RSSI indica una maggiore potenza del segnale ricevuto. I valori RSSI sono dati da una radio Bluetooth ogni volta che il dispositivo cerca altri dispositivi Bluetooth. Questi valori sono espressi in scala logaritmica negativa in decibel (dBm). Quando il valore RSSI è maggiore, il segnale è più forte, mentre quando il valore è vicino a zero, il segnale è migliore.

La gamma dello spettro radio va da 30 Hz a 300 GHz. È importante controllare sempre la copertura e la velocità dei dati poiché le frequenze più basse forniscono una gamma più ampia, ma possono limitare la velocità di trasmissione dati. Il Bluetooth utilizza una banda spettrale globale ISM di 2,4 GHz. Questa connessione wireless è considerata a basso consumo.

La portata della tecnologia Bluetooth è difficile da stimare, ma è sviluppata per coprire un'ampia gamma tra due dispositivi. La portata della connessione del dispositivo è influenzata dallo spettro radio, dalla sensibilità del ricevitore, dalla potenza di trasmissione, dalla perdita di percorso e dal guadagno dell'antenna. Ci sono diverse sfide nella connessione dei segnali Bluetooth, come le barriere fisiche concrete, i dispositivi wireless come i router Wi-Fi, che possono causare problemi di segnale. Quando si utilizza il Bluetooth, può essere essenziale dare la priorità ai metalli come le pareti metalliche, schedari, o frigoriferi.

Sebbene il valore di RSSI possa essere utilizzato per stimare la distanza tra il dispositivo Bluetooth e il ricevitore, tale stima può essere influenzata dall'ambiente circostante in cui il sistema è operativo. Ad esempio, la presenza di materiali riflettenti o liquidi può avere un effetto sulla propagazione del segnale, così come l'orientamento relativo tra il dispositivo e il ricevitore può influenzare l'accuratezza della stima della distanza.

Per ovviare a questi problemi, vengono utilizzate sofisticate tecniche di calcolo statistico per ottenere informazioni più affidabili sulla posizione del dispositivo Bluetooth. In particolare, vengono utilizzati algoritmi di Trilaterazione, che consentono di determinare la posizione del dispositivo in base ai segnali ricevuti da diversi ricevitori.

7.Ultra-Wide Band (UWB)

7.1 Storia

La tecnologia a banda ultra-larga è una soluzione innovativa rispetto alle tradizionali tecniche di trasmissione dati poiché adotta l'utilizzo di impulsi radio di breve durata. Questi impulsi generano una vasta larghezza di banda e offrono una serie di vantaggi tecnici, tra cui un'elevata robustezza ai disturbi, un alto tasso di throughput e un livello elevato di segretezza. Inoltre, questa tecnologia garantisce una trasmissione dei dati affidabile e di alta qualità.

Analizziamo i primi utilizzi delle comunicazioni che sfruttano la banda ultra-larga

- Il primo utilizzatore fu **Guglielmo Marconi** che nel **1901** trasmise del codice Morse attraverso l'Oceano.
- Attorno agli '60 con la moderna trasmissione a impulsi arrivano delle applicazioni militari sotto forma di radar a impulsi questo fino agli anni '90
- Successivamente nel febbraio del 2002 la First Report and Order (FCC) decise di approvare la tecnologia UWB per l'uso commerciale con grossi limiti di emissioni di energia.
- Nel 2007 La tecnologia a banda ultra-larga promette una alta precisione per il calcolo delle distanze, utilizzando il Tempo di volo (ToF)
- Nel 2020 la FiRa Consortium diventa il Catalizzatore per la trasformazione della comunicazione offrendo uno standard per UWB

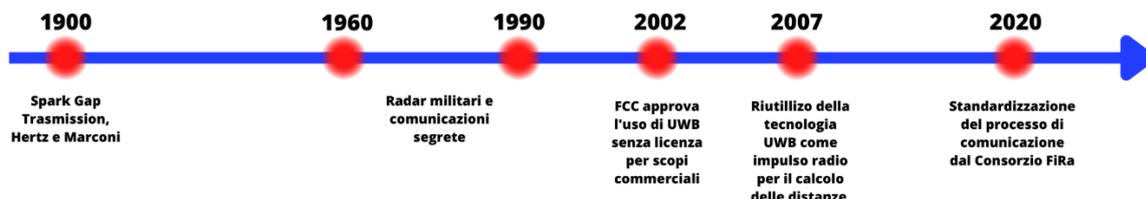


Grafico 3: Sequenza temporale dello sviluppo UWB

7.2 Analisi

Un'analisi completa della tecnologia di comunicazione Ultra Wide Band (UWB) aiuterà a chiarire l'applicazione di questa tecnologia nei diversi ambiti scientifici e commerciali.

La tecnologia UWB può realizzare una trasmissione dati ad altissima velocità in un range di distanza fissata; questa tecnologia fa affidamento su uno schema di modulazione di rete e su una tecnologia di accesso multiplo. La sua modalità operativa di base è mostrata nella Figura 14.

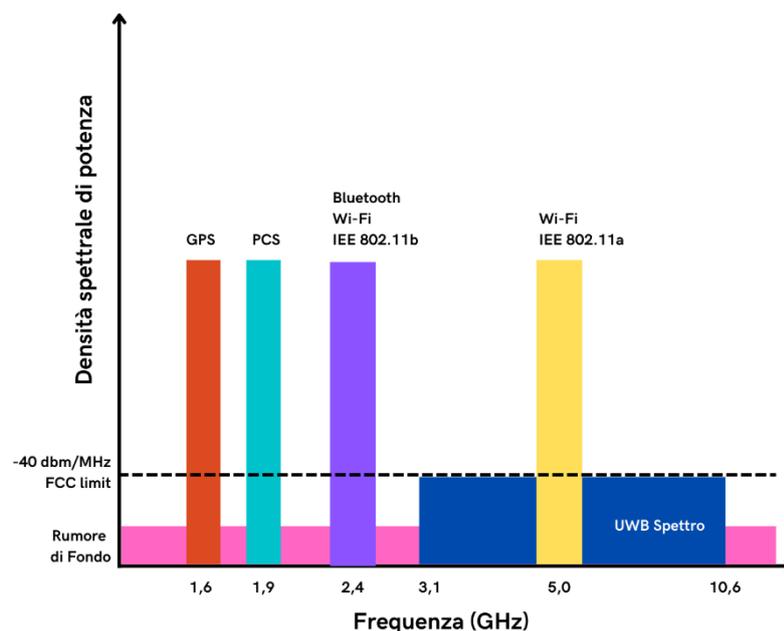


Figura 11: Modalità operativa UWB a confronto

Diversamente dalla tradizionale tecnologia di comunicazione wireless, la tecnologia di comunicazione UWB realizza l'aggiornamento delle reti locali e personali andando a interagire direttamente con la frequenza portante. I vantaggi della tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra-larga sono relativamente evidenti.

Analizzando le caratteristiche tecniche pertinenti, possiamo cogliere con precisione la direzione dell'applicazione della tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra-larga:

- Garantire la razionalità e l'efficacia dell'applicazione tecnologica
- Aiutare le imprese e il personale

Dall'esperienza pratica si è appurato che la distanza tra i dispositivi wireless ha un impatto diretto sulla potenza del segnale trasmesso. In sostanza, più aumenta la distanza tra i dispositivi, maggiore è l'attenuazione della potenza del segnale trasmesso, con conseguente peggioramento della qualità della comunicazione. Questo problema si fa particolarmente evidente nelle comunicazioni a lunga distanza, in cui l'attenuazione del segnale avviene in modo rapido e la potenza del segnale risulta relativamente debole.

La tecnologia UWB ha un basso consumo energetico, permette di effettuare una comunicazione wireless a breve distanza con componenti dalla potenza relativamente bassa. Questo riduce la perdita di energia e semplifica il funzionamento e la manutenzione del sistema di comunicazione. Questo inoltre, aiuta a controllare i costi di aggiornamento e trasformazione del sistema. Il basso consumo energetico conferisce al sistema la capacità di coesistere con altri sistemi wireless senza interferire con loro, andando così ad aumentare la flessibilità e la versatilità dell'utilizzo del sistema stesso. Questa caratteristica rende la tecnologia UWB una scelta ideale per numerose applicazioni, come la trasmissione di dati ad alta velocità, la localizzazione precisa e la tracciabilità. La sua capacità di funzionare in modo efficiente con un basso consumo energetico la rende una soluzione sostenibile e a basso costo.

La localizzazione precisa di un dispositivo è resa possibile grazie all'utilizzo di un'ampia banda di frequenza per la trasmissione dei dati e alla velocità elevata con cui questi vengono trasmessi. Questo avviene attraverso l'emissione di una serie di impulsi ad alta frequenza, che consentono di determinare la posizione del dispositivo con una precisione millimetrica, mai vista prima nella misurazione delle distanze. La latenza di questi sistemi è tipicamente bassa, il che significa che la elaborazione e la trasmissione dei dati richiedono meno tempo. Inoltre, rispetto ad altre tecnologie wireless, il consumo energetico è inferiore, grazie alla minore quantità di potenza utilizzata. Ciò significa che i dispositivi che utilizzano questa tecnologia possono funzionare per periodi più lunghi senza la necessità di essere ricaricati.

Quindi la tecnologia UWB si sta dimostrando molto promettente per le applicazioni di posizionamento e navigazione indoor, poiché offre un'alta accuratezza, latenza bassa e un basso consumo energetico. Tuttavia, è importante notare che la tecnologia è ancora relativamente nuova e potrebbe esserci ulteriore sviluppo e miglioramento nel futuro.

Uno dei punti chiave che confermano il potenziale della tecnologia UWB consiste nell'utilizzo della dualità tempo-frequenza per aumentare la precisione del posizionamento e della portata. La dualità tempo-frequenza esprime come tempo e larghezza di banda siano intercambiabili. Se si vuole comprimere nel tempo una trasmissione wireless, è necessaria una maggiore larghezza di banda in frequenza. Un'altra capacità molto interessante resa possibile dalla dualità tempo-frequenza è che può ridurre la latenza nei sistemi. Ciò ha enormi implicazioni per le future applicazioni wireless a corto raggio. Gli impulsi erogati su una larghezza di banda ultra-ampia garantiscono una latenza estremamente bassa: questi segnali possono essere inviati in microsecondi con UWB, mentre il Bluetooth richiederebbe millisecondi. Il risultato finale è una comunicazione dati wireless ultra-efficiente.

La banda utilizzata dalla tecnologia UWB spesso ha una frequenza di gigahertz, questo comporta un aumento notevole della qualità e dell'efficienza della trasmissione dei dati e pone solide basi per successivi aggiornamenti tecnologici. Durante il processo di trasmissione è difficile essere intercettati, il che garantisce la sicurezza delle informazioni dell'utente. La buona compatibilità con la larghezza di banda stretta consente alla tecnologia di ridurre efficacemente l'utilizzo delle risorse dello spettro wireless, migliorare la qualità e l'efficienza dell'applicazione dello spettro.

La tecnologia UWB sfruttando una banda del segnale molto larga, permette di raggiungere delle velocità di trasmissione dati molto elevate, questo possiamo dimostrarlo prendendo spunto dalla **teoria dell'informazione** in cui con il **teorema di Claude Shannon** possiamo ottenere la capacità di canale trasmissivo C:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Dove indichiamo con C la capacità del canale trasmissivo, con B la banda, con S il segnale e con N il rumore. Questa è la formula matematica generica che ci permette di ricavare la capacità di un canale trasmissivo in presenza di codifiche e rumore. Grazie a questa formula notiamo subito che per aumentare la velocità di trasmissione dati occorre aumentare la larghezza di banda questo mette in risalto quindi che la tecnologia UWB presenta una alta velocità di trasmissione dati. Andando ad analizzare meglio la formula ci accorgiamo anche che la proporzionalità con il rapporto segnale su rumore (S/N) è di tipo logaritmica quindi molto piccola ciò implica che la densità di potenza dei segnali

UWB è molto bassa. Riassumendo i segnali UWB raggiungono in modo efficiente alte velocità trasmissive con una densità di potenza molto bassa.

7.3 Applicazioni

La tecnologia di comunicazione wireless UWB in virtù delle proprie caratteristiche tecniche e vantaggi può essere utilizzata in diversi scenari di comunicazione multimediale.

- Quando si gioca online o con una console sappiamo che la velocità è tutto, in un mondo in cui occorre scalare le classifiche e ottenere il miglior record, la latenza è una delle principali preoccupazioni tra i giocatori. Tipicamente un giocatore quando preme un pulsante del mouse, desidera una risposta istantanea, ma tecnologie come il Bluetooth possono fornire una velocità di risposta solo del 20 o 30 ms al massimo; invece, se sfruttiamo la comunicazione UWB si può ottenere una latenza inferiore a 0,2 ms. Questo permette di capire come le due diverse tecnologie spesso a confronto hanno notevoli differenze, i dispositivi dotati di UWB sono persino più veloci di alcuni prodotti dotati di cavo USB in commercio.
- Per l'audio, poiché il Bluetooth è limitato a una larghezza di banda molto stretta, è necessario applicare la compressione dei dati audio per spremere un segnale audio altrimenti ingombrante attraverso un tubo stretto, che degrada il segnale. I codec Bluetooth sono intrinsecamente con perdite in quanto molti dati audio di origine vengono rimossi. L'audio di qualità CD si ottiene con una velocità dati di 1.411 kb/s: un codec Bluetooth lo rende fino a circa 300 kb/s per adattarsi al flusso audio all'interno delle capacità di velocità dati limitate di Bluetooth. UWB consente un throughput di dati dieci volte maggiore rispetto a BLE; quindi, non è necessario comprimere il segnale audio per la trasmissione wireless alle cuffie UWB. Ciò garantisce che la scena sonora che si può ascoltare con le cuffie UWB sia notevolmente più dettagliata di quanto sia possibile oggi con il Bluetooth ed esattamente fedele alla sorgente audio. Questi vantaggi si estendono anche alle esibizioni di musica dal vivo: UWB libera i musicisti che si esibiscono da cavi ingombranti senza sacrificare la latenza, consentendo esibizioni dal vivo wireless.

La durata della batteria di sensori e dispositivi wireless è oggi insufficiente per molte applicazioni IoT, il che porta a cicli di ricarica eccessivamente frequenti, connettività limitata e batterie ingombranti e/o manutenzione costosa. Inoltre, la lunga latenza rende il wireless inadeguato nelle applicazioni che richiedono rilevamento e comunicazioni in tempo reale. Con UWB, è possibile fornire enormi volumi di dati dei sensori con una latenza 60 volte inferiore e un'efficienza energetica 40 volte migliore rispetto al Bluetooth legacy. Ciò è estremamente vantaggioso non solo per le applicazioni IoT, ma anche per la miriade di edifici intelligenti, città intelligenti e applicazioni guidate dall'intelligenza artificiale all'orizzonte che richiederanno comunicazioni ad altissima velocità tra reti tentacolari di sensori wireless alimentati a batteria.

La tecnologia Bluetooth è oggi ben radicata e ci ha servito abbastanza bene negli ultimi due decenni. Tuttavia, i notevoli vantaggi di latenza ed efficienza energetica di UWB lo posizionano come un'alternativa convincente per qualsiasi applicazione wireless che richieda più dati per un flusso più veloce e più libero con un consumo energetico minimo. Ovunque risieda Bluetooth oggi, attraverso innumerevoli applicazioni commerciali e industriali, UWB può potenzialmente risiedere domani.

7.3.1 Trend di sviluppo della tecnologia di comunicazione wireless UWB

Con la crescente maturità della rete 5G, si è ottenuta un ampliamento dello spazio per l'applicazione della tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra-larga. Con la crescente maturità dei terminali mobili come gli smartphone, i requisiti tecnici degli utenti per la comunicazione wireless a breve distanza sono gradualmente aumentati e la tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra-larga come mezzo tecnico maturo, stabile ed efficiente, in larga misura, soddisfa questa richiesta. È proprio grazie ai vantaggi della tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra-larga in termini di velocità di trasmissione e risoluzione che può entrare gradualmente nella vita familiare. Tuttavia, considerando le esigenze di spazio, nel processo di successiva ricerca e sviluppo tecnologico, i tecnici dovrebbero discutere delle componenti della tecnologia di comunicazione wireless a banda larga, riduzione continua delle dimensioni, per garantirne la praticabilità.

Al fine di sfruttare appieno l'applicazione pratica della tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra larga e rafforzare la capacità dell'applicazione tecnica, i tecnici e

gli operatori di telecomunicazioni dovrebbero fare un buon lavoro nel risolvere il meccanismo e le caratteristiche tecniche della tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra larga. Lo sviluppo e l'applicazione vengono discussi per formare una cognizione completa per garantire l'applicazione scientifica ed efficiente della successiva tecnologia di comunicazione wireless a banda ultra-larga.

7.4 Calcolo del posizionamento

Per il calcolo del posizionamento di un dispositivo viene utilizzato il tempo di volo (ToF) che consiste nel tempo che impiega un segnale per viaggiare da un dispositivo ad un altro. La velocità del segnale è una costante nota, che coincide con la velocità della luce; quindi, è possibile calcolare la distanza utilizzando la seguente formula:

$$d = v * t$$

dove d è la distanza, v è la velocità del segnale e t è il tempo di volo. Questo metodo è molto più preciso rispetto alla tecnologia wireless tradizionale basata sul segnale di forza ricevuto (RSSI), che viene utilizzata in Wi-Fi e Bluetooth.

Tale calcolo inoltre sfrutta la tecnica del Round Trip Time (RTT). In cui si constata che il tempo di volo risulta essere la metà del tempo totale di RTT. Una volta determinata la distanza è possibile utilizzare la triangolazione per calcolare la posizione esatta di un dispositivo, perché andiamo a questo punto a comprendere come la conoscenza delle distanze punto-punto possa determinare la posizione in uno spazio tridimensionale.

Contrariamente alle altre tecnologie radio, UWB non ricorre alla modulazione di ampiezza o frequenza per codificare le informazioni trasmesse dai suoi segnali. Al contrario, essa fa uso di brevi sequenze di impulsi molto sottili (soltanto due nanosecondi) che utilizzano la modulazione di fase a doppia posizione (BPSK) e/o la modulazione di posizione a impulsi (BPM) per codificare i dati. Questi impulsi sottili presentano anche bordi nitidi, permettendo una determinazione precisa del tempo di arrivo e della distanza, anche in presenza di effetti multipath causati dalle riflessioni del segnale.

Per migliorare la posizione determinata occorre sfruttare l'informazione di ricezione di

segnali da più di tre dispositivi. Questo è noto come localizzazione multipunto o MLE (Maximum Likelihood Estimation).

La MLE utilizza algoritmi di ottimizzazione per determinare la posizione più probabile basata sui dati di ricezione di segnale da più di tre dispositivi. Questo metodo si basa sulla ricezione di segnali da più punti di accesso UWB e sull'utilizzo di un algoritmo per calcolare la posizione più probabile del dispositivo basato sulle informazioni di ricezione. La precisione della localizzazione dipende dalla densità dei punti di accesso e dalla qualità dei segnali ricevuti.

Il MLE utilizza diversi algoritmi per calcolare la posizione del dispositivo, tra cui:

- **Triangolazione:** utilizza i segnali ricevuti da tre o più punti di accesso per determinare la posizione del dispositivo.
- **Trilaterazione:** utilizza la distanza nota tra il dispositivo e ogni punto di accesso per determinare la posizione del dispositivo.
- **Filtri Kalman:** utilizzano un modello dinamico del dispositivo per combinare le informazioni di posizione con i dati sul movimento del dispositivo per migliorare la precisione della localizzazione.
- **Algoritmi di apprendimento automatico:** utilizzano un modello di machine learning addestrato su dati storici per prevedere la posizione del dispositivo.

La breve lunghezza d'onda e la risoluzione temporale elevata rendono UWB resistente all'interferenza multipath e al fading, rendendo possibile una identificazione precisa di persone e oggetti. UWB è cento volte più preciso delle altre tecnologie RF per la localizzazione, come Wi-Fi e Bluetooth Low Energy, con una precisione di pochi centimetri anziché di pochi metri. Questa precisione è fondamentale per tracciare oggetti piccoli o per sapere se un oggetto si trova da un lato o dall'altro di un muro. Inoltre, UWB ha una latenza molto bassa è 50 volte più veloce del GPS con una frequenza di aggiornamento fino a 1.000 volte al secondo, tre volte più veloce di un beacon BLE standard.

7.5 Confronto tra UWB e BLE

Per quasi 20 anni, Bluetooth ha dominato come tecnologia a corto raggio per i dispositivi connessi in modalità wireless. Ma i vantaggi di latenza ed efficienza energetica di UWB lo posizionano come un'alternativa convincente con un flusso di dati più veloce e più libero e un basso consumo energetico. Le tecnologie wireless Bluetooth e ultra-Wideband (UWB) a corto raggio sono entrambe diventate alla ribalta all'inizio del secolo e i loro percorsi di sviluppo sono stati guidati dall'incessante necessità di ridurre il consumo energetico e prolungare la durata della batteria per una proliferazione infinita di connessioni wireless dispositivi.

Bluetooth Low Energy (BLE) è stato ratificato nel 2006 per affrontare le prime carenze di consumo energetico di Bluetooth. Più recentemente, Bluetooth 5.2 ha aggiunto funzionalità per ridurre il consumo di applicazioni mirate come l'audio. Tuttavia, queste modifiche sono strettamente incremental. Fondamentalmente, le riduzioni del consumo energetico sono fisicamente limitate dall'architettura Bluetooth: un ricetrasmittitore basato su carrier richiederà sempre una quantità significativa di energia per avviare, stabilizzare e mantenere il suo oscillatore RF.

In primo luogo, L'oscillatore a cristallo rallenta le prestazioni a bassa velocità dei dati a causa dell'overhead. Il Bluetooth utilizza un oscillatore a cristallo di 20 MHz che richiede pochi milliwatt. Le radio UWB, ottimizzate correttamente, possono funzionare senza un oscillatore ad alta frequenza e con basso consumo energetico. Tuttavia, l'efficienza dipende dalla tecnica di ottimizzazione UWB. Alcune implementazioni attuali della tecnologia UWB richiedono comunque oscillatori a cristallo ad alta frequenza, mentre altre possono usare oscillatori fino a 32 kHz.

In secondo luogo, L'overhead della portante influisce negativamente sulle prestazioni di trasmissione ad alta velocità dei dati. Trasmettere grandi quantità di dati su un canale a larghezza di banda ridotta come quello usato nelle radio Bluetooth richiede molto tempo e molta energia. Tuttavia, grazie alla distribuzione su una larghezza di banda più ampia, UWB può trasmettere molti più dati in modo più veloce, mantenendo il trasmettitore acceso per un periodo di tempo più breve e riducendo significativamente il consumo energetico. Ciò significa che, per la stessa quantità di energia, UWB può trasmettere molti più dati. Questo vantaggio è dovuto alla dualità tempo-frequenza, descritta efficacemente dalla trasformata di Fourier. In termini semplici, questa dualità afferma che

un segnale temporale periodico infinitamente lungo avrà una larghezza di banda infinitamente piccola, mentre un segnale a impulsi infinitamente corto avrà una larghezza di banda infinitamente grande. In altre parole, il tempo e la larghezza di banda possono essere scambiati. La banda ultra-larga (UWB) gode di un vantaggio intrinseco rispetto alla banda stretta grazie alla sua allocazione su un'ampia porzione dello spettro radio. Un segnale UWB è definito come un segnale con una larghezza di banda maggiore di 500 MHz. La Federal Communications Commission (FCC) negli Stati Uniti ha autorizzato l'uso senza licenza di UWB nella gamma di frequenza da 3,1 a 10,6 GHz nel 2002.

I sistemi UWB utilizzano impulsi elettromagnetici di breve durata (ossia, su scala temporale di nanosecondi) per la trasmissione e la ricezione ad alta velocità di dati su ampie larghezze di banda. Hanno anche un duty cycle molto basso, che è definito come il rapporto tra il tempo in cui è presente un impulso e il tempo di trasmissione totale.

Dopo due decenni di maturazione, il Bluetooth oggi è quasi onnipresente nel mercato dei dispositivi wireless alimentati a batteria, comprendendo smartphone/tablet, auricolari/auricolari, periferiche di gioco, sensori IoT e altro ancora. Per le app wireless che potrebbero cavarsela con segnali audio altamente compressi e latenza elevata, Bluetooth ha fornito un'esperienza utente accettabile per alcune app wireless. Tuttavia, si potrebbe sostenere che il Bluetooth abbia raggiunto il suo punto di diminuzione dei rendimenti. Oggi, UWB sta emergendo come un avvincente successore di Bluetooth/BLE per la prossima generazione di applicazioni wireless a corto raggio a bassa potenza. I produttori di elettronica di consumo come Apple, Samsung e altri che sicuramente seguiranno stanno sfruttando lo spettro UWB per la consegna di impulsi elettromagnetici per applicazioni come il posizionamento per il tracciamento di oggetti/risorse, come esemplificato dagli AirTag di Apple. Questa è un'applicazione ristretta del potenziale tecnologico di UWB, ma comunque efficace.

8. Il Sistema MACS – Mobile Access Control System

Il sistema MACS ha lo scopo di comprendere al meglio la sperimentazione legata al Chip UWB per il posizionamento all'interno dei locali aziendali permettendo di effettuare un controllo degli accessi all'interno delle aziende.

Il lavoro di sviluppo dell'applicazione è stato svolto per conto dell'azienda Microntel S.p.A. nella sede di Torino. L'obiettivo principale di questa applicazione è di effettuare un controllo sulla trasmissione UWB tra l'antenna SDK in dotazione dell'azienda Mobile Knowledge e il dispositivo mobile con all'interno il chip UWB.

La natura della tecnologia UWB si basa su impulsi di dominio molto breve utilizzati per misurare con precisione i tempi di trasmissione tra due o più dispositivi dotati di tecnologia UWB tale misurazione permette di ottenere il TOF time of flight, il tempo di volo attraverso il quale si possono ottenere dei dati sulla posizione con una precisione a livello dei centimetri. oltre alla determinazione della distanza tra due o più dispositivi con la tecnologia UWB è possibile determinare la posizione in termini bidimensionali e tridimensionali sfruttando l'angolo di arrivo (AoA).

Sebbene la tecnologia UWB sia presente già da decenni solo di recente è stato regolarizzato l'utilizzo commerciale, questo ha permesso un'espansione delle possibilità e casi d'uso per il calcolo della posizione con precisioni elevate.

Il sistema è composto da un insieme di hardware e strumenti software

- Il kit MK UWB che include
 - MK UWB SDK: un pacchetto di sviluppo software completo contenente librerie, per lo sviluppo di applicazioni UWB per la trimension NXP SR150 e SR040 ICS.
 - Trimension SR150 e Trimension SR040
- L'applicazione SMAC per dispositivi IOS

Tabella 3: Tabella Sistema e componenti UWB

	Trimension SR150	Trimension SR040
Casi d'uso	Dispositivi IOT e Ancore UWB	Tag UWB
Supporto SW	Supporto FiRa, Multicast, multisessione, casi d'uso multipli, NXP fornisce tutto il chip FW e hardware MW richiesti per sviluppare un'applicazione in grado di eseguire UWB autonomamente	Supporto FiRa, NXP fornisce tutto il chip FW e hardware MW richiesti per sviluppare un'applicazione in grado di eseguire UWB autonomamente
Ruoli supportati UWB	Iniziatore e Rispondente	Iniziatore
Range di Accuratezza	+/- 10cm	+/- 10cm
Angolo di arrivo supportato e accuratezza	Trasmissione duale per il supporto tridimensionale a partire dall'angolo di arrivo Realizzabile con tre antenne Accuratezza di +/-3°	1 solo segnale ricevente (non supporta AoA)
Elementi di Sicurezza integrata	Pre-integrazione con Edgelock SE051W Elemento sicuro incorporato. Binding crittografico di ESE e Trimension SR150 per supportare la sezione sicura (attraverso la generazione dinamica STS).	Non supportato

scambiandosi informazioni di distanza l'uno dall'altro si permette di determinare un modo per poter accedere al varco.

Il sistema MACS - Mobile Access Control system è basata su un architettura distribuita che prevede la presenza di dispositivi mobile, antenne di rilevamento UWB e di un controllore esterno per la gestione degli accessi.

Tale sistema è stata pensato con una parte di rete interna, che consente di scambiare informazioni in tempo reale e di garantire un controllo sicuro e preciso degli accessi. Tale rete quindi interconnette i diversi dispositivi per ogni porta, e le antenne che scambiano le informazioni per il pairing dei dispositivi, con i relativi dispositivi mobile dei dipendenti.

Il comando di apertura del varco viene gestito da un controllore esterno che verifica se l'utente ha i permessi per accedere o meno. l'intera infrastruttura è pensata per essere collegata in cloud per la gestione dell'intera rete di controlli accessi in azienda.

8.2 L'applicazione SMAC

Presentiamo in questa sezione l'applicazione realizzata in codice Swift per la comprensione e lo sviluppo di un sistema di controllo Accessi basato sul calcolo della distanza attraverso il chipset UWB.



Figura 13: Splash Screen App SMAC

8.2.1 Introduzione

L'applicazione si propone come il primo passo per lo sviluppo di un'applicazione in grado di interagire con la scheda Trimension SR150. Abbiamo già introdotto questa scheda nei capitoli precedenti, ricordiamo semplicemente che questa scheda è stata progettata per le esigenze dei dispositivi IoT. La scelta di questa scheda nasce dai recenti aggiornamenti del firmware che lo ha portato alla versione 3.14.0 che ha dato il via all'interazione del chipset U1 di Apple. L'azienda Microntel avendo il suo core-business sul controllo accessi ha deciso di acquistare il MK UWB Kit dall'azienda Mobile Knowledge per dare il via alla sperimentazione che ha portato ad una versione base di Applicazione mobile chiamata SMAC, Smart Mobile Access Control che allo stato

dell'arte si connette alla scheda dotata di antenna UWB attraverso il BLE e scambia informazioni su distanza e angolo di arrivo con il chip U1 integrato nei dispositivi Apple.

L'obiettivo cardine di questa applicazione è permettere lo scambio di informazioni con la scheda e una volta ottenuta l'informazione sulla distanza è stato gestito un range per il quale si indica la vicinanza al varco in cui si intende entrare. Superato questo step si è deciso di far interagire l'applicazione in background in modalità Frictionless, cioè permettere la comunicazione con la scheda anche quando si ha il cellulare in background in tasca in modo che quando ci si avvicini ad un varco e si è abbastanza vicini per aprirlo sarà inviato un messaggio che ne abiliti l'ingresso. Tutto questo nasce perché le attuali applicazioni basandosi esclusivamente mediante il BLE richiedono l'interazione dell'utente che esplicitamente dichiara attraverso l'applicazione l'apertura del varco, che porta ad un numero di operazioni dell'utente che abbiamo deciso di eliminare in modo da rendere questa applicazione semplice più smart.

L'interfaccia utente realizzata è minimal perché non essendo il punto cardine di questo lavoro di tesi si è decisi di focalizzarsi sull'intero sistema. Ad ogni modo presenta tutti gli elementi necessari a comprendere l'interazione tra i dispositivi fornendo dei messaggi chiari e comunicativi sullo stato attuale dell'applicazione, inoltre al centro dell'applicazione è possibile vedere la misura della distanza tra l'antenna e lo smartphone. In basso all'interno dell'interfaccia ho inserito informazioni sullo stato di connessione del Bluetooth e del chip UWB.

Questa app è stata sviluppata utilizzando il linguaggio Swift, un potente linguaggio di programmazione sviluppato da Apple, si è scelto di utilizzare questo linguaggio perché fornisce dei framework ad hoc per l'interazione di dispositivi dotati di Chipset UWB, come il framework Nearby Interaction.

8.2.2 Architettura

La realizzazione di SMAC parte dall'impostare l'ambiente di sviluppo Xcode nella sua ver. 14.2 beta dotato degli ultimi aggiornamenti che permettono di integrare pienamente i framework utilizzati per il progetto, all'interno della scheda "General" sono stati aggiunti i framework CoreBluetooth e Nearby Interaction. Il primo per implementare le funzionalità di scoperta e connessione con altri dispositivi tramite Bluetooth, il secondo per il calcolo della distanza tra i dispositivi dotati di tecnologia UWB.

L'architettura che si è scelto di adottare è l'architettura ad eventi sfruttando in particolare il pattern Observer, questo pattern permette di definire un'interfaccia in cui vengono implementati tutti gli oggetti che desiderano ricevere notifiche sugli eventi che si verificano all'interno della app. un esempio di utilizzo è la scoperta di un nuovo dispositivo BLE oppure la ricezione di dati da un altro dispositivo. In particolare, nel caso del Framework CoreBluetooth si definisce un oggetto CentralManager che funge da centralizzatore degli eventi relativi al Bluetooth. L'oggetto CentralManager implementa l'interfaccia Observer e si registra come Observer degli eventi Bluetooth tramite il metodo scanForPeripherals. Quando viene rilevato un nuovo dispositivo Bluetooth il framework emette un evento che viene catturato dall'Observer che si occuperà a sua volta di notificare gli altri oggetti interessati.

Inoltre la scelta di questa architettura ad eventi ha permesso di sfruttare le potenzialità del framework Nearby interaction per la comunicazione tra dispositivi vicini tramite la tecnologia UWB, in questo caso viene utilizzato da parte dell'applicazione l'oggetto NISession per rilevare i dispositivi vicini e stabilire una connessione con loro. La scelta di del pattern Observer ha permesso all'applicazione di reagire agli eventi in modo asincrono e adeguato migliorando l'esperienza utente e lo sviluppo dell'applicazione.

La scalabilità dell'architettura scelta per l'applicazione consente la gestione asincrona e distribuita degli eventi permettendo per esempio la gestione della connessione a più dispositivi contemporaneamente. Questo ci porta a come la separazione delle responsabilità viene gestita all'interno dell'applicazione attraverso la definizione di oggetti specializzati che si occupano di svolgere compiti specifici. Ad esempio, la definizione dell'oggetto CentralManager che si occupa della gestione delle operazioni Bluetooth, come la ricerca e la connessione ai dispositivi. In questo modo, la responsabilità della gestione delle operazioni viene separata dall'applicazione principale, consentendo una maggiore modularità e flessibilità.

Le performance dell'architettura utilizzata è stata valutata a partire dagli strumenti di profiling integrati nell'ambiente di Xcode, ricercando quali parti dell'applicazione potessero richiedere maggiori risorse e come esse potessero essere ottimizzate per migliorare le prestazioni. a tal proposito è stato utilizzato numero volte lo strumento di debug per l'identificazione di eventuali problemi di performance in modo da poterli tempestivamente risolverli. Un ultimo strumento utilizzato per valutare le prestazioni dell'applicazione è stato benchmarking integrato su Xcode strumento che ha permesso di

registrare i dati relativi alle prestazioni come il tempo di esecuzione, il consumo di memoria e la velocità dell'elaborazione dei dati.

Per la separazione dei ruoli ho scelto di adottare il paradigma Model View Controller (MVC), un pattern che permette di separare quella che è la logica di business, da ciò che sono il modello dei dati e l'interfaccia presentata all'utente finale. Il pattern MVC è costituito da tre componenti principali: Modello, Vista e Controller. Il Modello rappresenta le entità dei dati dell'applicazione e le logiche di business associati. La Vista è l'interfaccia utente che mostra i dati al client. Il Controller gestisce le interazioni del client con l'applicazione e invia le informazioni al Modello per l'elaborazione.

Per la gestione dei messaggi si è scelto di creare una struttura che differenziasse i diversi messaggi comunicativi in entrambe le direzioni, è possibile vedere nella figura come siano stati gestiti i diversi casi.

```
struct Message{  
  
    enum MessageId: UInt8{  
        //Messaggi dall'accessorio  
        case accessoryConfigurationData = 0x1  
        case accessoryUwbDidStart = 0x2  
        case accessoryUwbDidStop = 0x3  
  
        //Messaggi gestione ingresso  
        case accessoryPassageOpening = 0x4  
  
        //Messaggi verso l'accessorio  
        case initialize = 0xA  
        case configurationAndStart = 0xB  
        case stop = 0xC  
    }  
}
```

8.2.3 Design

L'interfaccia utente dell'applicazione è stata pensata con il minor numero di informazioni rilevanti per l'utente per ricevere le sole informazioni rilevanti per il caso studio in questione. Il layout della schermata principale è diviso principalmente in tre parti:

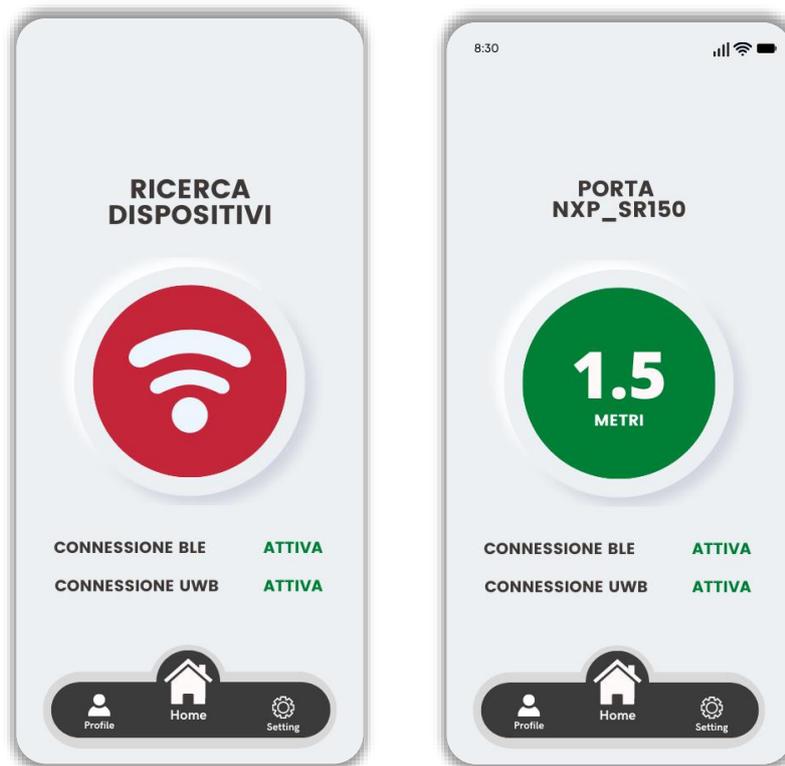


Figura 14: interfacce base App SMAC

- Nella parte superiore ritroviamo dei messaggi esplicativi che indicano lo stato attuale dell'applicazione, in particolare il messaggio visualizzati cambia il suo testo in base all'interazione con gli eventi in mutazione dell'applicazione stessa. Saranno presentati dei messaggi del tipo "Ricerca dei dispositivi." e "Scambio di informazioni in corso" in modo da rendere il più chiaro possibile all'utente ciò che sta elaborando al suo interno l'applicazione. Nel caso di errori in parte dello schermo ritroveremo errori che ci indicano che è stata persa la connessione con il dispositivo o che non riesce a scambiare l'informazione con il chipset UWB nella scheda.

- Nella parte centrale del layout vi è l'informazione principale all'interno di un cerchio che si mostrerà rosso nel caso in cui la connessione con il dispositivo non sia ancora avvenuta, mentre sarà di colore verde nel caso in cui la connessione venga stabilita, questo processo è molto veloce quindi in pochi secondi sarà possibile notare il cambiamento di stato. L'informazione principale presentata al suo interno è la misura di distanza tra il chip u1 contenuto nello smartphone e l'antenna dotata di chipset UWB.
- Nella parte inferiore invece vedremo dei semplici indicatori dello stato di connettività del bluetooth e del chip UWB. Quindi verrà indicato se lo smartphone sia connesso con entrambe le tecnologie sfruttando la potenza del bluetooth per l'associazione dei dispositivi e la precisione del chip UWB per il calcolo della distanza.

Non sono stati inseriti in questa prima fase dell'applicazione elementi come pulsanti e menu all'interno dell'applicazione perché escono fuori dal computo principale di questa tesi, perché inoltre si vuole dar maggior rilevanza alla possibilità di come questa applicazione interagisca completamente in background a schermo spento con l'antenna.

8.2.4 Gestione dei permessi

Una volta determinate le funzionalità richieste dall'applicazione SMAC occorre richiedere l'autorizzazione dell'utente all'utilizzo di queste funzionalità. Per far ciò occorre configurare le autorizzazioni dell'app all'interno della sezione "Info.plist", questa sezione ci permette di raggruppare tutte le richieste di autorizzazione da fare all'utente prima di consentire l'accesso alle funzionalità, per esempio, nel nostro caso per l'utilizzo della tecnologia Bluetooth e per l'utilizzo della libreria Nearby interaction. In questa sezione occorre fornire all'utente in forma testuale in consenso attraverso un messaggio che giustifichi l'utilizzo delle funzionalità.

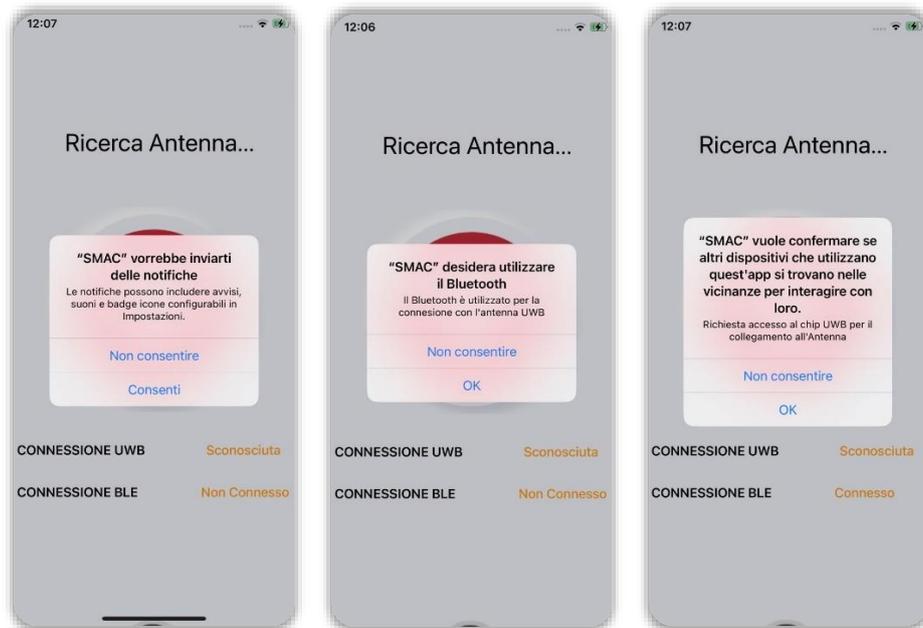


Figura 15: Richiesta Permessi utente

I permessi che l'applicazione richiede all'utente sono i seguenti:

- Permesso di invio delle notifiche: che permette all'utente di ricevere una notifica sullo stato dell'accesso ad un varco, la gestione dell'abilitazione in background del sistema.
- Permesso relativo alla connessione Bluetooth con le antenne di rilevamento in modo da gestire l'associazione tra i dispositivi e cominciare lo scambio di informazioni su distanza e direzione.
- Permesso all'utilizzo del chip UWB che permette l'effettivo scambio di informazioni che permette di calcolare la distanza e ottenere l'abilitazione all'accesso di un varco.

8.2.5 Controller Bluetooth

Il controller Bluetooth pone le basi per l'utilizzo delle funzionalità fornite dal framework CoreBluetooth in particolare vediamo come è stato possibile stabilire la connessione BLE tra il dispositivo e la scheda, includendo i passaggi come la scansione delle diverse schede disponibili, la connessione ad una specifica scheda e l'invio dei dati attraverso il canale di comunicazione Bluetooth.

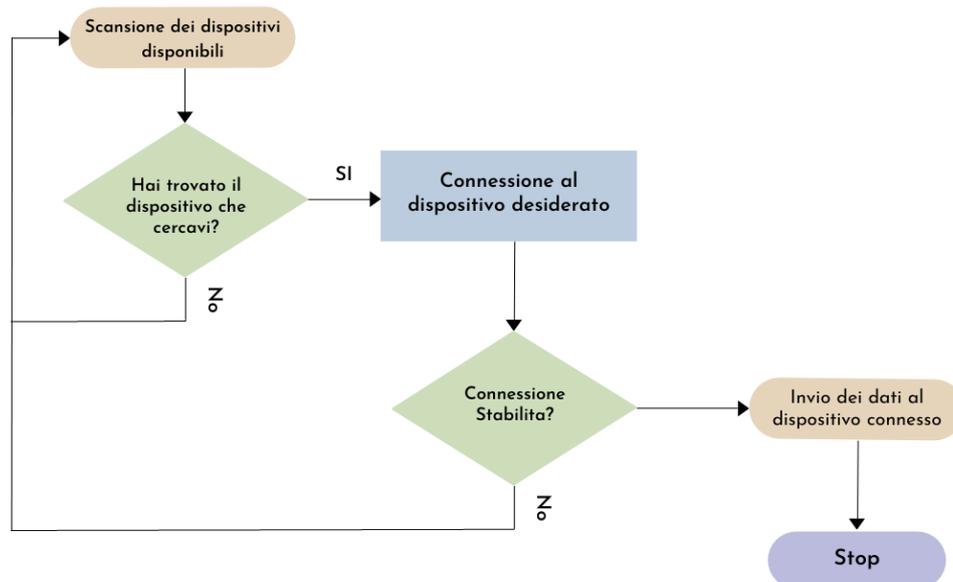


Grafico 4: Schema Controller Bluetooth

Sono stati necessari i seguenti passaggi per gestire la connessione:

1. Il primo passo è la scansione dei dispositivi disponibili, ciò può essere fatto mediante l'utilizzo del metodo **scanForPeripherals(withServices:options:)** del CBCentralManager.
2. Una volta trovato il dispositivo desiderato si richiede la connessione con esso mediante il metodo **connect(_:options:)** del CBCentralManager.
3. Se la connessione viene stabilita correttamente, entra in gioco il delegato del centralManager che fornisce i metodi per gestire gli eventi relativi alla connessione, disconnessione e ricezione dei dati.
4. Per poter inviare i dati al dispositivo connesso occorre utilizzare il metodo **writeValue(_:for:type:)** sull'oggetto periferica scoperto con all'interno le caratteristiche di trasferimento
5. Dal lato del ricevente dei dati occorre gestire l'arrivo del contenuto andando ad utilizzare il metodo del delegato **peripheral(_:didUpdateValueFor:error:)**

8.2.6 Controller UWB

La connessione tra il chip UWB all'interno dello smartphone e l'antenna UWB della NXP ha richiesto una solida comprensione dei protocolli di comunicazione wireless e dei meccanismi di trasmissione dei dati.

Per la creazione di una sessione di interazioni spaziali con i dispositivi vicini ho utilizzato il framework Nearby interaction seguendo questi passaggi:

1. È stata creata un'istanza di **NISession**, che sarà l'oggetto principale per la configurazione e l'esecuzione delle interazioni spaziali.
2. Viene impostato il delegato sull'istanza di **NISession**, che deve essere un oggetto conforme a **NISessionDelegate**. Il delegato riceverà gli aggiornamenti dal framework.
3. Successivamente si deve creare un oggetto di configurazione, come **NINearbyPeerConfiguration**, che sarà una sottoclasse di **NIConfiguration**. Attraverso la chiamata a **NISessioninstance** con la configurazione associata il framework inizierà a fornire aggiornamenti al delegato, in particolare un flusso di **NINearbyObject** updates che contengono la distanza e, eventualmente, la direzione ai dispositivi vicini che partecipano attivamente alla sessione.

Una volta completata questa fase, è stato possibile utilizzare l'applicazione per eseguire test di calcolo della distanza tra l'antenna UWB e il chip all'interno dello smartphone. Questi test hanno confermato la validità della soluzione proposta e hanno fornito importanti informazioni per ulteriori sviluppi futuri. In sintesi, la realizzazione di questa app ha richiesto una combinazione di conoscenze tecniche avanzate e una meticolosa attenzione ai dettagli.

8.3 Processi in Background

Nelle vecchie versioni del sistema operativo IOS, le applicazioni venivano messe in uno stato sospeso quando veniva spento lo schermo del dispositivo, quindi non era possibile ricevere notifiche o eventi. Si può accedere a queste funzionalità solo se si riceve il permesso dell'esecuzione in background attraverso l'abilitazione delle modalità da parte del programmatore della app stessa. Grazie all'introduzione di queste modalità si dà la possibilità di riprodurre un file audio, ricevere aggiornamenti sulla posizione, ricevere

notifiche anche quando il dispositivo è con lo schermo spento ed è all'interno delle nostre tasche.

Quando è partito lo studio e la progettazione di questo lavoro di tesi ci siamo posti come obiettivo di realizzare una app che utilizzasse le funzionalità già attive per il BLE in modalità in background anche per l'utilizzo di dispositivi di terzi parti dotati di chipset UWB. Abbiamo riscontrato molte difficoltà perché il sistema operativo stesso non forniva nativamente questa possibilità, ma a partire dal recente aggiornamento, di Luglio 2022, a IOS16 è stata incluso l'accesso alle funzionalità di interazione con i dispositivi di terzi parti che utilizzassero il framework Nearby Interaction. Questo nuovo aggiornamento ha introdotto una serie di modalità di esecuzioni in background aggiuntive che ha permesso di continuare lo sviluppo dell'App SMAC.

Occorre ricordare che l'utilizzo di queste modalità possono influire negativamente sulle prestazioni del cellulare e sulla durata della batteria quindi bisogna utilizzare queste funzionalità in background con parsimonia.

Il sistema operativo IOS supporta diverse modalità di esecuzione per poter continuare a funzionare anche quando sono in background.

- **Audio, AirPlay e Picture in Picture:** Le app possono riprodurre contenuti audio e video in background.
- **Aggiornamenti sulla posizione:** informazioni basate sulla posizione per continuare a funzionare in background.
- **Voce su IP:** accesso ai servizi Voice over IP e richiedere l'avvio automatico dopo il riavvio del sistema.
- **Comunicazione accessoria esterna:** permette di comunicare con un accessorio che fornisce dati a intervalli regolari.
- **Utilizzo di accessori Bluetooth LE e Funzionamento come accessorio Bluetooth LE**
- **Recupero in background:** funzionalità che permette di richiedere regolarmente nuovi contenuti dalla rete.
- **Notifiche remote:** da abilitare in caso di notifiche Push
- **Elaborazione in background:** per tutte quelle attività pianificate in background utilizzando il framework BGTaskScheduler

- **Elaborazione dell'allenamento:** in questo caso si offre la possibilità di utilizzare una sessione di allenamento per il monitoraggio l'attività di un utente.
- **Utilizzo dell'interazione nelle vicinanze:** permette di individuare e interagire con i dispositivi nelle vicinanze utilizzando il framework Nearby Interaction.
- **Premi per parlare:** offre la possibilità di riprodurre contenuti audio in background in risposta a una notifica Push utilizzando il framework Push to Talk.

Per abilitare le funzionalità in background che permettessero all'applicazione SMAC di operare con la scheda occorre seguire alcuni passaggi tra cui:

1. Ricercare il pannello che ci indica le funzionalità in background che può fornire la nostra applicazione all'interno dell'editor Xcode

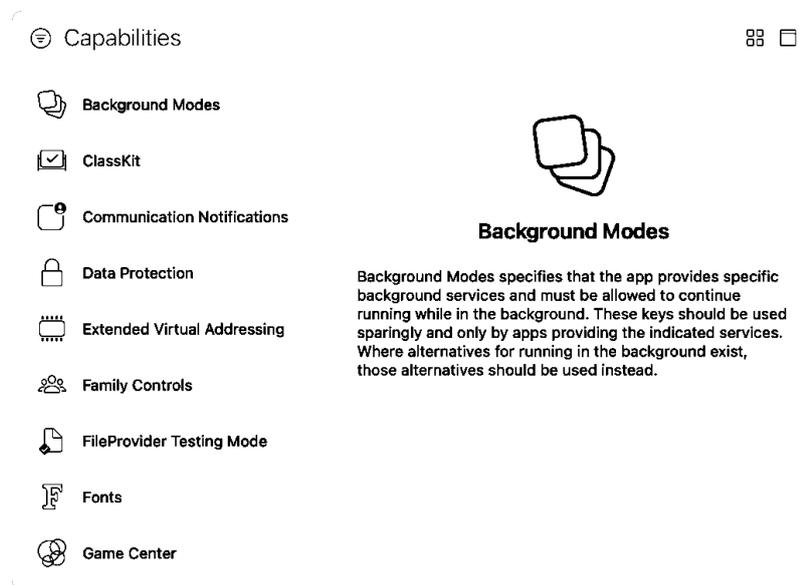


Figura 16: Background Modes

2. Specificare le modalità di esecuzione in background richieste dalla applicazione andando a selezionare una o più opzioni tra quelle disponibili, nel caso dell'applicazione SMAC sono state selezionate la condivisione di dati tra dispositivi di terze parti, l'utilizzo delle funzionalità l'interazione con dispositivi Bluetooth e di Nearby interaction,

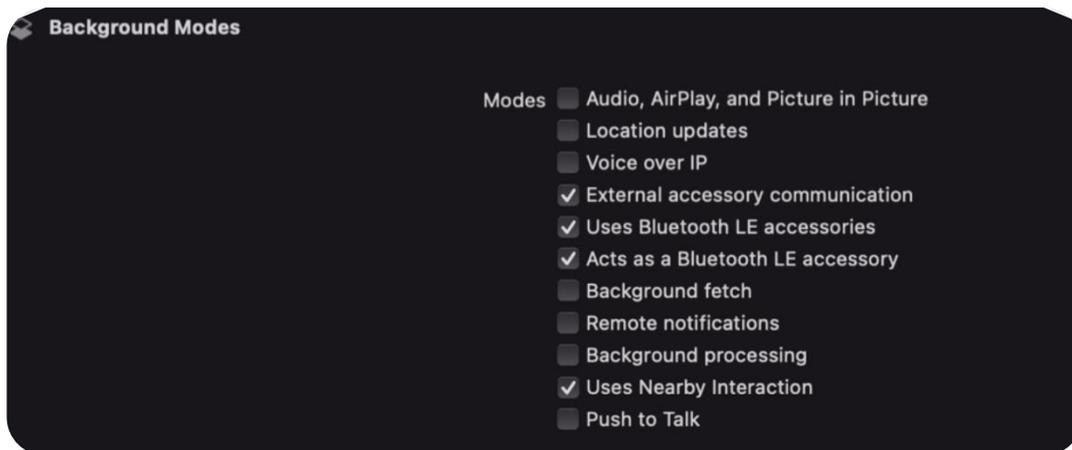


Figura 17: Scelta delle azioni in background

3. Una volta scelte le opzioni di interesse basterà testare le funzionalità quando il dispositivo è in modalità in background, per i test rimando al capitolo successivo.

Uno dei limiti attualmente non ancora risolti della modalità in background della applicazione SMAC dipende dall'aggiornamento dell'applicazione dello stato corrente quando il cellulare risveglia l'applicazione in sospeso. Anche se la comunicazione continua ad avvenire a livello di applicazione non arrivano gli aggiornamenti per poter aggiornare l'interfaccia dell'applicazione, questo è un limite che non è ancora stato risolto dal sistema operativo in quando la possibilità di rendere la comunicazione con la scheda UWB sia stata inserita nel panorama da pochi mesi, nei successi aggiornamenti del sistema operativo non appena si potrà gestire la comunicazione e l'aggiornamento degli eventi sarà possibile gestire a livello applicativo gli aggiornamenti in modo da renderli visibili all'utente che utilizza l'applicazione.

8.4 Testing e validazione

Per testare il corretto funzionamento del sistema occorre partire dall'installazione dell'applicazione SMAC, all'interno dei dispositivi interessati. Per poter accedere alle funzionalità dell'applicazione si richiedono dei requisiti hardware e software.

Il primo requisito hardware è la presenza del Bluetooth per l'associazione con la scheda, mentre il secondo, senza il quale non è possibile utilizzare la funzionalità principale è la presenza del chipset UWB. Per i test effettuati, l'azienda Microntel ha acquistato un Iphone 12 mini dotato nativamente di chip U1 per la comunicazione ultra wide band. Riguardo invece ai requisiti software per poter installare l'applicazione occorre avere una versione del sistema operativo superiore o uguale alla versione 16.0, requisito reso necessario per la disponibilità di comunicazione in background dello smartphone con dispositivi di terze parti.

Riguardo agli altri componenti del sistema abbiamo la scheda Trimension NXP SR150 inizialmente la scheda era dotata di un firmware non compatibile con la comunicazione in background per lo scambio di informazioni di distanza e direzione; Non appena è stato rilasciato l'aggiornamento software IOS16, l'azienda Microntel insieme ai produttori del MK Kit UWB, hanno aggiornato il firmware per abilitare la comunicazione in background dei messaggi.

Per semplificare i test effettuati ho realizzato un breve schema che spiega graficamente il ruolo dei due dispositivi e come sono legati tra loro, riporto di seguito i passaggi seguiti nei test:

- Accensione della scheda Trimension SR150, la scheda attraversa un led blu indica che è disponibile per richieste di abbinamento con altri dispositivi.
- A questo punto occorre avviare l'applicazione SMAC, immediatamente all'avvio l'applicazione richiama il metodo di scoperta dei dispositivi Bluetooth e viene eseguita un'associazione automatica alla scheda Trimension SR150.
- Un volta effettuato il pairing tra i due dispositivi vengono scambiati tutte le informazioni necessari per la scoperta dei servizi e le caratteristiche richieste a livello di comunicazione BLE.
- Il prossimo passaggio effettuato è il setup dell'accessorio a livello comunicativo UWB, viene aperta una nuova sessione per ogni dispositivo e attraverso il

delegato di NISession si aggiorna in tempo reale la misura di distanza e direzione tra i due dispositivi.

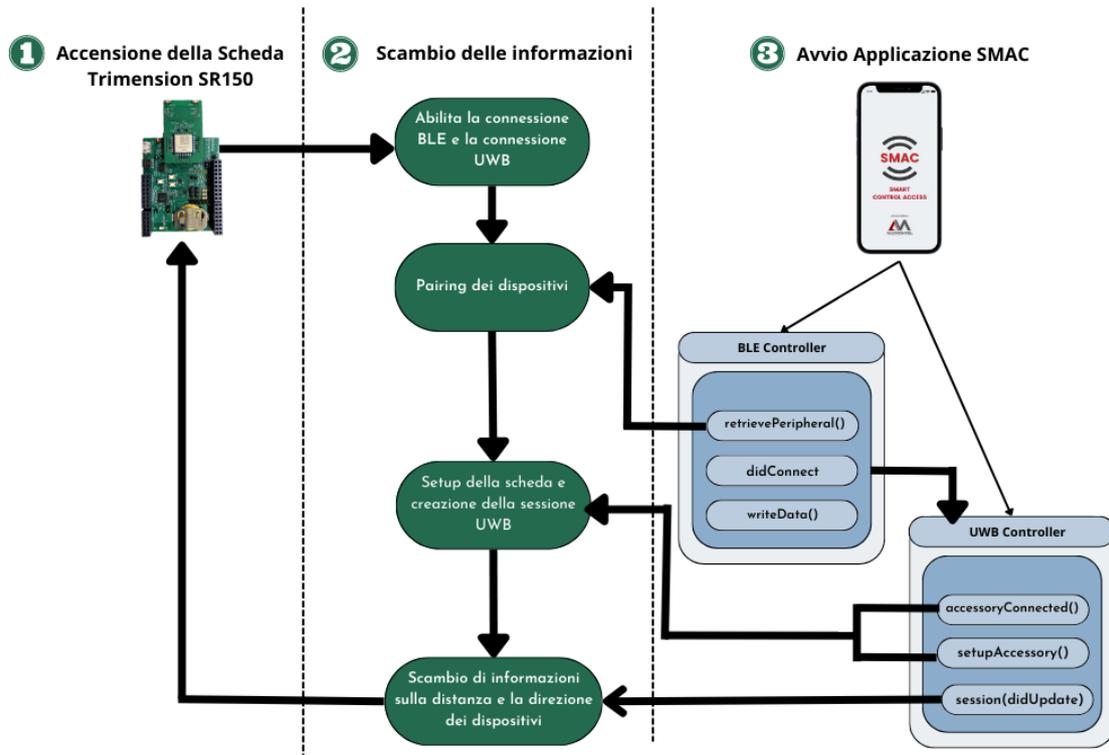


Grafico 5: Schema riassuntivo test effettuati

I passaggi sopra citati vengono effettuati anche in background, ma occorre fare un primo accesso all'applicazione e poi è possibile cambiare applicazione o spegnere lo schermo con il tasto di blocco e metterlo in tasca.

Non appena lo smartphone si trova ad una distanza di circa 30 centimetri dalla scheda Trimension SR150 viene inviato un messaggio per l'apertura del varco. Nella versione attuale non viene utilizzata l'informazione di direzione perché non ancora abbastanza precisa per indicare la corretta direzione del dispositivo, nei sviluppi futuri infatti si pensa di utilizzare questa informazione per determinare l'ingresso e l'uscita da un varco utilizzando questa informazione.



Dai test effettuati circa un centinaio, in mancanza di altri oggetti all'interno dello spazio di volo del segnale tra i due dispositivi si è ottenuto un margine di errore del 5%. Un risultato ottimo considerando che se si utilizzasse la sola tecnologia BLE per ricavare informazioni di posizione l'errore aumenterebbe del 35% perché basandosi su RSSI è molto più affetto ad interferenze e rumori dei segnali vicini.

Grafico 6: Calcolo dell'errore sulla distanza

Nel caso in cui inseriamo degli ostacoli, in base alla natura dell'ostacolo si ottengono misurazioni differenti, il grado di errore aumenta però grazie alla velocità dei segnali è possibile realizzare un algoritmo che permetta di modellizzare casistiche di oggetti in movimento che rendono la misura di distanza meno precisa, in modo da aggirare il problema. I test effettuati per verificare che la comunicazione in background avvenga in modo corretto abbiamo utilizzato il software MobaXterm grazie al quale abbiamo visto i messaggi trasmessi e ricevuti tra i due dispositivi, visionabili nella figura sottostante:

```

BLU& :RX < :RECV :62000050 3E000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 014C0000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000F50 B483AF00 000278C7 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 76
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 5F000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 01420000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000FA0 B408AE00 000212C0 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 68
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 60000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 01480000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000FFE B4C2AF00 0002A8C7 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 75
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 61000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 01390000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000FE3 B3A7AF00 0002A8B8 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 61
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 62000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 00570000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000FF0 B0402700 000212C5 4E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 87
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 63000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 00590000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000FE3 B758B400 000274C1 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 88
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 64000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 01510000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000FA7 B4F83000 000212C3 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 81
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 65000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 014C0000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000F58 B358B700 000202C5 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 76
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 66000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 01540000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000F28 B404E500 000274CA 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 84
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 67000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 01520000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000FF8 B2888400 00027ECA 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 83
+
BLU& :RX < :RECV :62000050 68000000 0E000000 009E0100 00010000 00000000 00000000 01DF9000 01510000 E2640000 00000000
00000005 00000000 00000000 00000000 16000F19 B476B500 000274CB 3E030000 00000001 00000000
APP :INFO :THR[0].distance : 81

```

Figura 18: Screenshot di MobaXterm che mostra la distanza in background

Dove vediamo indicata in blu ed espressa in centimetri la distanza tra il dispositivo mobile e l'antenna UWB.

9. Conclusioni

Questa tesi mi ha permesso di studiare e scoprire lo sviluppo dei sistemi RFID e l'evoluzione di questi in termini di calcolo della posizione indoor, in particolare su come la tecnologia UWB sia un promettente candidato in diversi casi d'uso quotidiana e non solo nella gestione del controllo accessi. Sono stati raggiunti gli obiettivi preposti: creazione di un sistema di localizzazione indoor che sfrutti la tecnologia UWB per il calcolo della posizione e la possibilità dell'interazione in background del sistema. Le funzionalità presentate e le caratteristiche dell'applicazione mostrano come l'applicazione Smac sia una soluzione innovativa per la gestione del controllo accessi in azienda.

Ritengo che SMAC nonostante sia in una versione beta abbia un grande potenziale per diventare una delle applicazioni di riferimento per la gestione degli accessi all'interno degli edifici aziendali e non solo. SMAC consente agli utenti di accedere ai varchi aziendali in modo rapido e sicuro. La scelta della tecnologia UWB ha permesso all'utente di accedere al varco semplicemente avvicinandosi fisicamente ad un altro dispositivo ricettivo anche in modalità background del cellulare.

L'avanguardia di tale soluzione negli ambienti aziendali permetterà di monitorare in tempo reale gli accessi degli utenti, andando così ad aumentare il livello di sicurezza dell'azienda regalando all'utente un'esperienza estremamente intuitiva e rapida.

L'applicazione SMAC è stata pensata per essere integrata ad una Dashboard intuitiva e personalizzabile dall'amministratore della gestione degli accessi ai varchi aziendali, in modo da generare anche dei report dettagliati per analizzare e migliorare le prestazioni dell'intero sistema. Inoltre, tale applicazione fornisce una compatibilità con una vasta gamma di dispositivi mobili e sensori UWB in modo da permettere alle aziende di scegliere delle soluzioni hardware che meglio si adattano alle loro esigenze.

In particolare, nella versione beta dell'applicazione SMAC non è stata utilizzata l'informazione relativa alla direzione poiché non ancora molto affidabile in termini di misurazione: ad ogni modo questa informazione potrebbe essere utile per determinare se un utente sta accedendo o uscendo da un varco in modo da analizzare meglio l'intero processo in entrata e in uscita da un varco. Per poter far questo si è pensato come sviluppo futuro di aggiungere degli algoritmi basati sul machine learning in modo da rilevare l'intenzione dell'utente e migliorare l'esperienza dell'utente stesso.

9.1 Sviluppi Futuri

Questa ricerca rappresenta un importante contributo per il miglioramento della tecnologia UWB e delle sue applicazioni in ambito aziendale. Il sistema di controllo accessi sviluppato ha il potenziale per diventare una soluzione di riferimento nel settore, migliorando la sicurezza e l'efficienza delle attività aziendali. Inoltre, vengono aperti ulteriori sviluppi e applicazioni innovative della tecnologia UWB.

Gli sviluppi futuri dell'applicazione potrebbero includere l'integrazione con servizi di mappe per la gestione dei percorsi all'interno dell'azienda in modo da fornire agli utenti informazioni aggiuntive per i luoghi e percorsi permessi all'interno dell'azienda.

Potrebbe essere inserita la funzionalità di sincronizzazione con i calendari online in modo da condividere dei dati all'interno dell'app in modo da estendere i permessi e validarli sono in intervalli temporali come riunioni o orari lavorativi.

9.1.1 Progettazione di un nuovo design

Come possibile sviluppo futuro si è pensato alla realizzazione di questo design per dar la possibilità all'utente di gestire alcune operazioni base utili alla specializzazione dell'applicazione stessa.

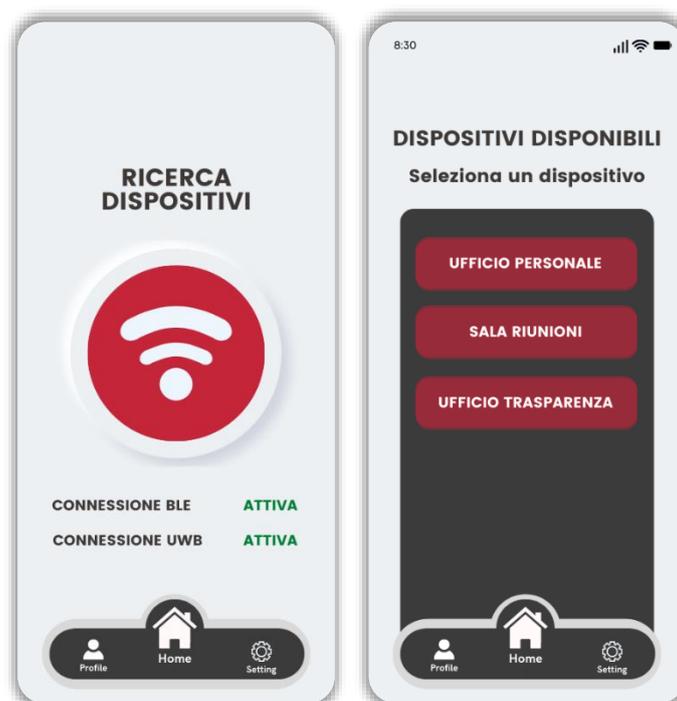


Figura 19: Nuovo design SMAC

Si è progettato l'inserimento di un menu in basso che permetta all'utente di navigare su differenti interfacce dell'applicazione. Fornire all'utente una finestra che indica le porte vicine per dare la possibilità di scegliere quale porta desidera aprire.

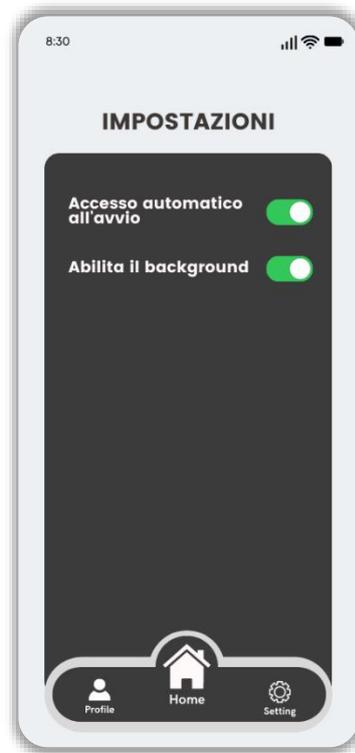


Figura 20: Pagina Impostazioni - Nuovo design SMAC

Uno sviluppo futuro analizzato è quello di inserire all'interno dell'applicazione la possibilità di personalizzare l'impostazione di accesso andando a gestire i propri dati personali e tener traccia dei loro accessi passati. Si pensato inoltre di fornire la possibilità all'utente di effettuare l'accesso automatico al sistema e di abilitare la modalità in background per il tracciamento all'interno dell'azienda.

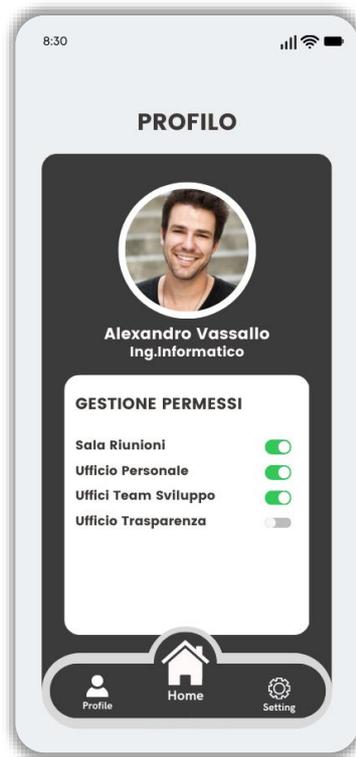


Figura 21: Pagina Profilo - Nuovo design SMAC

All'interno del menu sottostante si è pensata di inserire un'interfaccia che permetta all'utente di gestire i permessi verso un determinato ufficio o sala interna all'azienda di appartenenza.

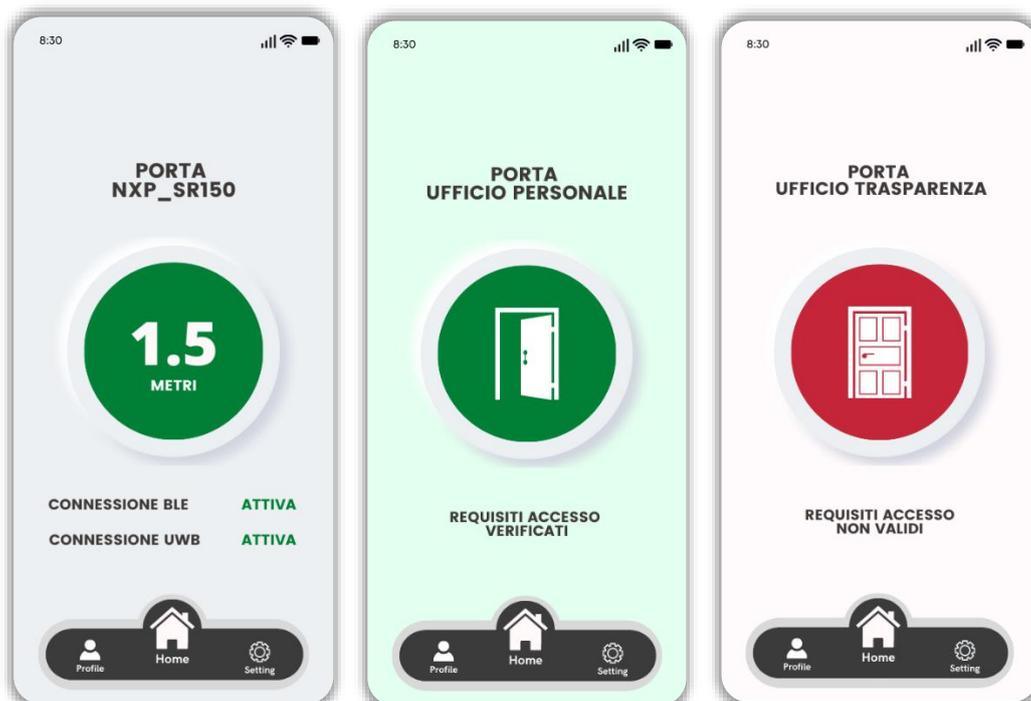


Figura 22: Update UI utilizzando tecniche di Human Computer Interface

Per favorire inoltre la comprensione a livello grafico dell'accesso si è pensato di attuare dei miglioramenti all'interfaccia utente che renda più chiara la comunicazione all'utente con lo schermo accesso sulla porta a cui è stato abilitato l'accesso o rifiutato.

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia gratitudine a tutte le persone che mi hanno sostenuto e aiutato nel corso del mio percorso di studi. In primo luogo, vorrei ringraziare il mio referente aziendale Francesco Viggiano presso Microntel per il suo sostegno e la sua guida preziosi nel corso della mia ricerca. Senza la sua collaborazione e la sua esperienza professionale, non sarei stato in grado di completare la mia tesi.

Inoltre, desidero ringraziare il mio relatore Bartolomeo Montrucchio per il suo continuo supporto e la sua disponibilità nel corso del mio lavoro di ricerca. Le sue competenze accademiche e il suo interesse per il mio lavoro sono stati una fonte di ispirazione e mi hanno permesso di raggiungere risultati importanti.

Un ringraziamento speciale va anche alla mia famiglia e a mia moglie Marina, che mi hanno sostenuto e incoraggiato durante tutto il mio percorso di laurea. Il loro sostegno morale e il loro incoraggiamento mi hanno permesso di superare i momenti difficili e di concentrarmi sul raggiungimento dei miei obiettivi accademici.

Infine, desidero esprimere la mia gratitudine a tutti i miei amici e colleghi in particolare ad Angelo Turco, Gianluca Fasulo e Claudio Como che mi hanno aiutato e supportato in vari modi lungo la strada. Siete stati una parte importante del mio percorso di studi e non avrei potuto farcela senza di voi. Grazie a tutti.

10. Lista delle Immagini

Figura 1: Confronto tecnologie RFID

Figura 2: Lettore di badge e badge fisico

Figura 3: Sistema di Controllo basato su QR-Code

Figura 4: Schema soluzioni Micronpass

Figura 5: Interfacce MicronApp

Figura 6: Interfacce App Timbrature

Figura 7: Scambio di informazioni Distanza e Direzione UWB

Figura 8: Campo Visivo UWB

Figura 9: Origine del Logo Bluetooth

Figura 10: Piconet

Figura 11: Modalità operativa UWB a confronto

Figura 12: Caso d'uso richiesta accesso varco

Figura 13: Splash Screen App SMAC

Figura 14: interfacce base App SMAC

Figura 15: Richiesta Permessi utente

Figura 16: Background Modes

Figura 17: Scelta delle azioni in background

Figura 18: Screenshot di MobaXterm che mostra la distanza in background

Figura 19: Nuovo design SMAC

Figura 20: Pagina Impostazioni - Nuovo design SMAC

Figura 21: Pagina Profilo - Nuovo design SMAC

Figura 22: Update UI utilizzando tecniche di Human Computer Interface

11. Lista dei Grafici e Tabelle

Tabella 1: Confronto della tecnologia del sistema di localizzazione in tempo reale (RTLS).

Grafico 1: Flusso di comunicazione BLE

Grafico 2: Divisione degli oggetti che descrivono i Servizi e le caratteristiche di una periferica

Tabella 2: Versioni del Bluetooth

Grafico 3: Sequenza temporale dello sviluppo UWB

Tabella 3: Tabella Sistema e componenti UWB

Grafico 4: Schema Controller Bluetooth

Grafico 5: Schema riassuntivo test effettuati

Grafico 6: Calcolo dell'errore sulla distanza

12. Bibliografia

1. "Tecnologie di localizzazione indoor: Principi, tecnologie e applicazioni" di Stefano Chessa e Alberto Pisoni
2. "Localizzazione Indoor: Stato dell'arte e prospettive future" di Maurizio Vizzari e Daniele Riboni
3. "Sistemi di localizzazione indoor: Architetture, tecnologie e applicazioni" di Fabio Viola e Marco Todeschini
4. "Il controllo degli accessi: Sistemi, tecnologie e strumenti operativi" di Marcello Nuccio
5. "Bluetooth: Storia, tecnologie e applicazioni" di Mauro Boldi e Marco Mazzini
6. "Bluetooth Low Energy: Tecnologie, standard e sviluppo di applicazioni" di Massimo Torquati e Marco Zappatore
7. "UWB Communication Systems: A Comprehensive Overview" di R. Michael Buehrer e Narayan B. Mandayam
8. "Ultra-Wideband Wireless Communications: Novel Trends - System, Architecture and Implementation" di Binod Kumar e Hriday Kant Dewan
9. "BLE and UWB for Indoor Positioning: A Comparative Analysis" di Marco Di Renzo, Marco Moretti e Shahab S. Talebi
10. "UWB Technology and its Applications" di Giuseppe Abreu e Giovanni Crupi.

13. Sitografia

1. "Indoor Positioning using Bluetooth Low Energy" - <https://www.beaconstac.com/indoor-positioning-using-bluetooth-low-energy-ble/>
2. "Indoor Positioning using Ultra-Wideband (UWB)" - <https://www.pozyx.io/technology/uwb-indoor-positioning>
3. "Indoor Positioning and Navigation using Bluetooth Low Energy (BLE)" - <https://ieeexplore.ieee.org/document/8616356>
4. "UWB Technology for Indoor Positioning and Tracking" - <https://www.tonex.com/uwb-technology-for-indoor-positioning-and-tracking/>
5. "Indoor Localization with BLE and UWB Beacons" - <https://www.hackster.io/news/indoor-localization-with-ble-and-uwb-beacons-f9f3a338ed8d>
6. Cos'è il Bluetooth? Tutto quello che c'è da sapere - <https://www.ionos.it/digitalguide/server/know-how/bluetooth/>
7. "BLE vs UWB: Which is better for Indoor Positioning?" - <https://www.ingeno.io/insights/ble-vs-uwb-which-is-better-for-indoor-positioning/>
8. "UWB-based indoor positioning: principles and real-world applications" - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405452620303094>
9. “ Configuration background execution modes “ - <https://developer.apple.com/documentation/xcode/configuring-background-execution-modes>
10. Microntel - Controllo Accessi Sicurezza Rilevazione Presenze Personale - <https://www.microntel.com/>