

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
CAMPUS DI CESENA

---

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA – SCIENZA E INGEGNERIA  
Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

**LoRa Mesh: un caso  
di studio per la comunicazione tra  
imbarcazioni da diporto**

Elaborato in:  
Tecnologie Web

**Relatore:**  
**Prof.ssa Silvia Mirri**  
**Co-relatore:**  
**Prof. Roberto Girau**

**Presentata da:**  
**Tommaso Patriti**

**Sessione I**  
**Anno Accademico 2021-2022**







# Introduzione

***dipòrto** In passato, ebbe lo stesso significato e uso che oggi ha sport, e tale significato è rimasto tuttora nelle locuzioni imbarcazione da diporto, naviglio da diporto, con cui vengono indicate genericamente le imbarcazioni (a vela, a motore o a remi) usate per crociere senza scopi commerciali o per competizioni sportive.*

*Dizionario Treccani*

Per quanto nel linguaggio di tutti i giorni con nave o barca da diporto si intende la generalità di un'imbarcazione privata senza scopi commerciali, ne esistono di vari tipi con regolamentazioni a se:

**unità da diporto**, ovvero le costruzioni con qualunque mezzo di propulsione destinate alla navigazione da diporto;

nave da diporto, che comprende le unità di scafo con lunghezza superiore ai 24 metri;

**imbarcazione da diporto**, ovvero le unità con scafo con lunghezza che varia dai 10 ai 24 metri;

**natante da diporto**, che include le unità da diporto a remi, quelle con scafo pari o inferiore ai 10 metri e ogni unità con remi e con scafo entro i 10 metri utilizzate in acque interne.

L'industria nautica nell'ultimo anno ha visto un incremento in controtendenza rispetto alla contrazione di mercato causata dal covid-19. La crescita repentina della domanda, sincronizzata con la crisi dei chip, ha portato

a tempi d'attesa fino due anni per imbarcazioni pronta consegna ed a un significativo aumento dei prezzi.

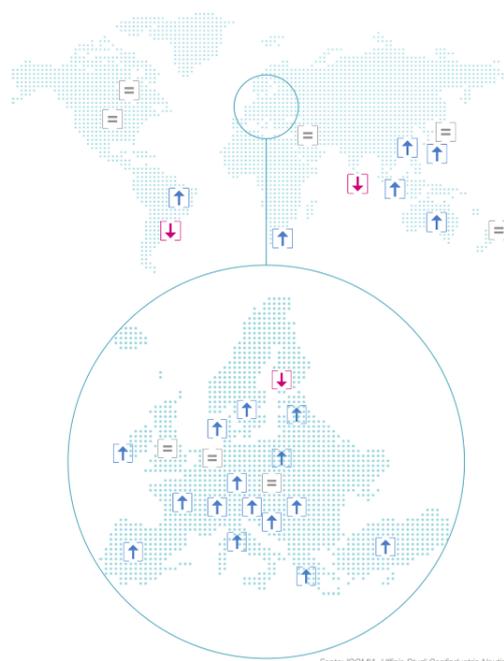


Figura 1: Trend 1° semestre 2022 compravendita mercato nautico [12]

I dati del 2021 sull'andamento dell'industria nautica in Italia derivano dal confronto dell'elaborazione di due differenti indagini statistiche relative alle stime del fatturato nautico condotte tra il mese di settembre 2021 e il mese febbraio 2022 sulla base di un campione significativo di aziende. [12]

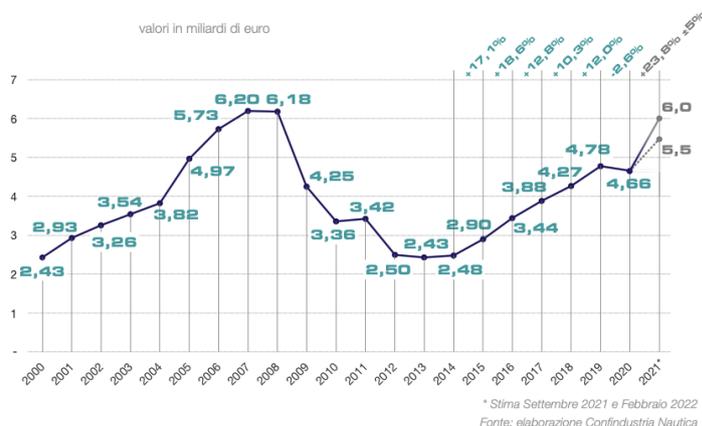


Figura 2: Andamento del fatturato globale 2000-2021 del mercato nautico [12]

Le imprese dell'industria nautica dimostrano una maggiore fiducia rispetto al 2020, infatti con i dati relativi alle unità da diporto risulta che oltre due aziende associate su tre riscontrano una crescita rispetto al precedente anno nautico. Per il segmento accessori/motori il 41% dei rispondenti segnala una crescita e il 49% una stabilità.

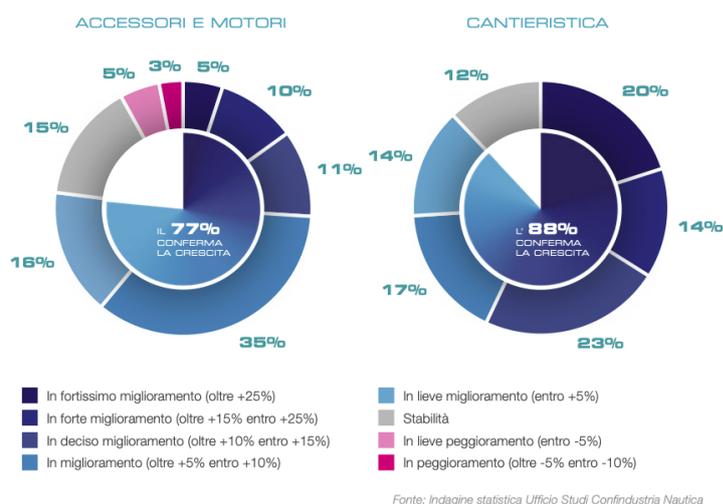


Figura 3: Aspettative per l'anno nautico 2021/2022 (da settembre 2020 ad agosto 2021) [12]

Questo progetto è stato sviluppato con l'idea di creare una rete attraverso la quale imbarcazioni relativamente vicine (10km), si possano scambiare informazioni sullo stato del mare e della navigazione, anche in assenza di una connessione a internet. In tal modo i dati dell'imbarcazione, come temperatura esterna, temperatura dell'acqua, vento, coordinate gps, ecc... verrebbero condivisi attraverso la rete. Un'altra funzione utile sarebbe quella di poter trasmettere i dati dell' AIS(automatic identification system) a imbarcazioni che non possiedono attrezzatura adatta alla trasmissione e ricezione di questi ultimi.

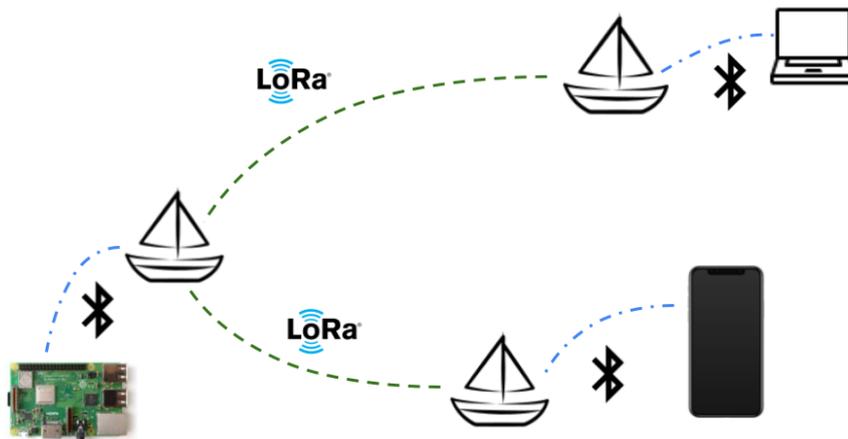


Figura 4: Immagine esplicativa del funzionamento che dovrebbe avere la rete

Sviluppando questa idea si sono tenuti in considerazione alcuni requisiti per rendere il dispositivo efficiente: dovrà essere possibilmente posizionato in cima all'albero dell'imbarcazione, per questo non potrà avere un'alimentazione esterna, ma dovrà avere una batteria e quindi il consumo energetico dovrà essere limitato. Considerando la posizione difficilmente raggiungibile, è importante che sia possibile comunicare con il dispositivo senza cavi. Infine, non per importanza, bisogna considerare che per massimizzare la copertura, la rete deve essere di tipo mesh. Tali reti sono altamente interconnesse e sono costituite da nodi che sono collegati tra di loro per trasportare informazioni.

Nella rete ogni nodo del vicinato fornisce risorse di rete e collabora. Le reti Mesh sono strutturate in modo tale che ogni nodo agisca come un router decidendo come inoltrare le informazioni che riceve. Queste reti richiedono algoritmi di autoriparazione per identificare dinamicamente nuovi percorsi. Il concetto di Self-organizing Networks (SON) viene implementato per ottenere flessibilità e scalabilità. Considerando tali fattori, in questo progetto è stata sviluppata una rete basata su LoRa(long range) Mesh, dove ogni dispositivo possiede un chip BLE(blueetooth low energy ) per comunicare attraverso dispositivi comuni come cellulari, tablet, computer.

La tesi è strutturata come segue: Nel primo capitolo intitolato "Stato dell'arte" 1, vengono trattate le tecnologie già esistenti utili nel campo delle imbarcazioni da diporto; nel secondo capitolo intitolato "Progetto e possibili sviluppi" 2 vengono discusse le attuali e le potenziali applicazioni possibili con l'infrastruttura sviluppata; nel terzo capitolo intitolato "Tecnologie" 3 viene descritto il software e l'hardware utilizzato; nel quarto capitolo "Implementazione" 4 viene descritto lo sviluppo del sistema nel dettaglio; nel quinto capitolo intitolato "Test" 5 vengono descritte tutte le prove fatte con le board LoRa in varie condizioni ambientali e vengono quindi analizzati tutti i grafici raccolti; il sesto capitolo intitolato "Documentazione" 6 è la parte della tesi più tecnica, dove viene spiegato parte del codice scritto, e sono presenti i riferimenti ai vari link GitHub; nel settimo capitolo intitolato "LoRa Ble Data Service" 7 viene descritta l'applicazione IOS usata per effettuare test e raccogliere dati agevolmente; nell'ultimo capitolo vengono fornite le conclusioni e una discussione sui possibili lavori futuri.



# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>i</b>
<b>1 Stato dell'arte</b>	<b>1</b>
1.1 Tecnologie standard . . . . .	3
1.1.1 nmea 0183 . . . . .	3
1.1.2 AIS . . . . .	4
1.2 Ambiente e tecnologia . . . . .	6
1.3 LoRa . . . . .	6
1.3.1 Proprietà chiave della modulazione LoRa . . . . .	8
1.3.2 LoRa WAN . . . . .	9
1.3.3 LoRaMesh . . . . .	9
1.3.4 OpenThread . . . . .	10
<b>2 Progetto e possibili sviluppi</b>	<b>13</b>
<b>3 Tecnologie</b>	<b>17</b>
3.1 Descrizione dell'hardware . . . . .	18
3.2 Descrizione del software . . . . .	19
<b>4 Implementazione</b>	<b>21</b>
4.1 Struttura . . . . .	21
4.2 Dinamicità della rete Mesh . . . . .	23
4.3 Sensoristica . . . . .	24

---

<b>5</b>	<b>Test</b>	<b>25</b>
5.1	LoRa Mesh test . . . . .	26
5.1.1	Test sulla distanza su terra . . . . .	26
5.1.2	Test sull'acqua . . . . .	33
5.2	Allontanamento . . . . .	37
5.3	Avvicinamento . . . . .	44
5.3.1	Test sulla topologia di rete . . . . .	46
5.4	BLE . . . . .	47
<b>6</b>	<b>Documentazione</b>	<b>49</b>
6.1	PyMeshInterface . . . . .	49
6.2	BleInterface . . . . .	50
6.3	Implementazione proposta . . . . .	50
<b>7</b>	<b>LoRa Ble Data Service</b>	<b>53</b>
7.1	Home . . . . .	54
7.2	Visualizzazione dati . . . . .	54
7.3	Dati su mappa . . . . .	55
7.4	Grafici . . . . .	56
	<b>Conclusioni</b>	<b>57</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>59</b>
	<b>Ringraziamenti</b>	<b>61</b>

# Elenco delle figure

1	Trend 1° semestre 2022 compravendita mercato nautico [12]	ii
2	Andamento del fatturato globale 2000-2021 del mercato nautico [12]	iii
3	Aspettative per l'anno nautico 2021/2022 (da settembre 2020 ad agosto 2021 [12])	iii
4	Immagine esplicativa del funzionamento che dovrebbe avere la rete	iv
1.1	Tabella riassuntiva di varie tecnologie installabili sulla propria imbarcazione e relativi costi [5]	2
1.2	Esempio di schema di collegamento possibile usando nmea0183 [20]	4
1.3	Esempio di dispositivo ais [15]	5
1.4	Struttura dei diversi livelli dei nodi LoRa [1]	8
1.5	Esempio di rete con router e child [8]	10
1.6	Esempio di rete con router , child e il Leader [8]	11
1.7	Esempio di scansione della rete e collegamento di un nuovo nodo [9]	12
2.1	Esempio di come potrebbero essere gestiti i vari dati delle imbarcazioni	15
3.1	FiPy + Antenna lora + Pysense2	17
3.2	Schema del chip SX1272/3, [18]	19

---

4.1	Diagramma delle classi del codice micropython eseguito nel fipy	22
4.2	Diagramma di iterazione del codice micropython eseguito nel fipy . . . . .	23
5.1	Grafico che mette in rapporto distanza e potenza [2] . . . . .	25
5.2	immagine dati gps relativi a due dispositivi LoRa Mesh, di cui uno in movimento . . . . .	28
5.3	immagine dati gps relativi a due dispositivi LoRa Mesh, di cui uno in movimento e l'altro posizionato in alto . . . . .	31
5.4	immagine del percorso d'andata dell'imbarcazione usata per il test(punto di vista del dispositivo 2 ) . . . . .	34
5.5	immagine del percorso d'andata e ritorno dell'imbarcazione usata per il test(punto di vista del dispositivo 1 ) . . . . .	35
5.6	immagine dei punti di connessione, disconnessione e riconnessione	36
5.7	grafico che mette in relazione la distanza e la potenza usando i dati presi in un lago . . . . .	41
5.8	grafico che mette in relazione la distanza e la potenza usando i dati presi in un lago . . . . .	42
5.9	grafico che mette in relazione la distanza e i messaggi ricevuti dal dispositivo 2 usando i dati presi in un lago . . . . .	42
5.10	grafico che mette in relazione la potenza del segnale e i messaggi ricevuti dal dispositivo 1 usando i dati presi in un lago .	43
5.11	grafico che mette in relazione la potenza del segnale e i messaggi ricevuti dal dispositivo 2 usando i dati presi in un lago .	43
5.12	grafico che mette in relazione la potenza del segnale e la distanza tra i dispositivi usando i dati presi in un lago durante la fase di avvicinamento . . . . .	45
5.13	grafico che mette in relazione la distanza tra le antenne e i messaggi ricevuti dal dispositivo 1 usando i dati presi in un lago durante la fase di avvicinamento . . . . .	46
5.14	Disposizione spaziale dei nodi nel tempo . . . . .	47

---

7.1	Integrazione tra dispositivi LoRa Mesh e l'applicazione . . . . .	53
7.2	Pagina iniziale dell'applicazione . . . . .	54
7.3	Visualizzazione dati LoRa nell'applicazione . . . . .	55
7.4	Visualizzazione dei dati relativi al gps sulla mappa dell'applicazione . . . . .	55
7.5	Schermata dei grafici nell'applicazione . . . . .	56



# Elenco delle tabelle

1.1	Tabella che mette in relazione la distanza con la potenza utilizzata di Bluetooth, Wifi, 3G/4G e LoRa [2] . . . . .	6
5.1	test LoRa area urbana . . . . .	26
5.2	test LoRa Mesh area industriale . . . . .	27
5.3	Tabella dei messaggi totali ricevuti ed inviati in 6 minuti di trasmissione, con un dispositivo fermo e l'altro in movimento .	29
5.4	Tabella dei messaggi ricevuti ed inviati in relazione alla distanza, con un dispositivo fermo e l'altro in movimento . . . .	30
5.5	test LoRa Mesh in linea di vista area urbana . . . . .	31
5.6	Tabella dei messaggi ricevuti con un dispositivo fermo in posizione rialzata e l'altro in movimento a terra . . . . .	32
5.7	Test LoRa Mesh Lago . . . . .	34
5.8	Tabella con tutti i valori significativi rilevati durante un test con un dispositivo statico su terra ferma, e un dispositivo in movimento su un'imbarcazione . . . . .	40
5.9	Tabella con valori che descrivono la qualità della connessione tra nodi(rssi) . . . . .	47



# Capitolo 1

## Stato dell'arte

Ultimamente nel mondo delle imbarcazioni si sente parlare di “smartboat”, o barche connesse 3.0. B&G, Garmin e Raymarine sono le aziende leader che permettono la digitalizzazione degli strumenti nautici. Anche i software si sono evoluti: essi riassumendo e combinando le informazioni aiutano a prendere le decisioni. Tra i sistemi più tecnologici installabili, si trovano ecoscandagli in grado di creare un'immagine tridimensionale del fondale davanti all'imbarcazione, sistemi per il parcheggio autonomo della barca nel porto, interi sistemi domotici per il controllo dell'intera imbarcazione tramite tablet o smart-phone ed infine sta entrando in questo mondo anche la realtà aumentata, in particolare Clear Cruise di Raymarine combina le immagini della camera con le informazioni AIS e cartografiche, indicando distanza, informazioni e allerte relative a tutto ciò che sta attorno all'imbarcazione. Acquistando un sistema supponiamo formato da plotter, radar, ecoscandaglio, strumenti, e una telecamera, si spendono circa 10-12 mila euro escludendo i costi di installazione [5].

LE TECNOLOGIE SMART PER LA TUA BARCA	PERCHÉ AVERLE	COSA OFFRE B&G	COSA OFFRE GARMIN	COSA OFFRE RAYMARINE	GOSTO INDICATIVO	
<i>In Navigazione</i>	<b>Telecomandi per autopilota</b>	Consentono di utilizzare in remoto autopilota e funzioni del plotter (modifica rotta, scelta dell'angolo al vento, virata automatica). Molto utili per la navigazione in equipaggio ridotto.	<b>Telecomando WR-10</b> con base Bluetooth.	<b>Telecomando Reactor</b> , con display a cristalli liquidi.	<b>Telecomando S100</b> con display LCD.	Dai 200 ai 400 euro.
	<b>Radar a stato solido</b>	Senza parti mobili (e con zero manutenzione) sono più compatti e consumano meno, riconoscono da soli bersagli pericolosi, ne calcolano la traccia, ti dicono cosa fare per evitarli e attivano allarmi in caso di pericolo.	<b>HALO20</b> radome a compressione d'impulso che rileva i pericoli di collisione e altri target a distanza ravvicinata. Compatto ed efficiente.	<b>GMR Fantom 18x e 24</b> x da 50 W, evidenziano i bersagli in movimento con diversi colori e calcola la traccia dei target mobili. Affidabili.	<b>CHIRP Quantum 2</b> previene le collisioni con tecnologia doppler: colore verde per i target ok, rosso per quelli in collisione. Sicuro.	Dai 2000 ai 3500 euro.
	<b>Trasduttori multifrequenza</b>	Ricostruiscono in 3D il fondale, visualizzano il fondale di fronte alla barca oltre che sotto. Un bell'aiuto quando si dà ancora in rada o quando si naviga in acque "sporche".	<b>Forward Scan</b> , consente di vedere sul plotter ostacoli e il fondale marino di fronte alla barca fino a 8 volte la profondità corrente.	<b>Panoptix + FrontVü</b> trasduttore con lettura frontale pari a 8/10 volte la profondità sotto la, fino ad una portata massima di circa 100 m.	<b>RealVision 3D</b> è l'ultima tecnologia degli ecoscandagli Raymarine che ricostruisce in 3D sullo schermo del plotter il fondale	Dai 400 euro a 1500 per soluzione completa con centralina di controllo.
	<b>Visione Notturna o potenziata</b>	Le termocamere vedono nelle notte e nella nebbia qualsiasi oggetto in acqua e lo mostrano a display. In alternativa alla tecnologia termica, ci sono le telecamere a base luminosità potenziata.	I plotter B&G supportano la connessione a camere e termocamere compatibili di altri produttori.	<b>GC200</b> camera a visione potenziata a bassa luminosità con Pan e Tilt, non è una termocamera, ma lavora bene con poca luce.	<b>FLIR Serie M300</b> , termocamere per vedere nel buio più totale, con motore Pan Tilt. Si percepiscono anche i colori.	Termocamere dai 3000 euro, camera a visione potenziata dai 400 euro.
	<b>Plotter intelligenti, touch e connessi</b>	Oggi i plotter integrano i dati di tutti gli strumenti anche wireless e visualizzano i dati che servono allo skipper attivando allarmi quando c'è veramente un pericolo. Si collegano a internet per gli aggiornamenti. Processano dati molto più velocemente.	<b>Zeus3S</b> , multifunzione dai 9 pollici in su, touchscreen, specifici per la vela e la regata. Reattivi e configurabili a piacimento.	<b>GPSMAP</b> dai 7 ai 12 pollici, includono anche funzioni specifiche per la navigazione a vela. L'interfaccia è studiata molto bene.	<b>Axiom Lighthouse 3</b> supporta la realtà aumentata ClearCruise, con oggetti sovrapposti sul display video HD.	Dai 1200 ai 4500 euro a seconda della dimensione dello schermo e delle funzioni integrate.
	<b>VHF con AIS Integrato e console remota wifi</b>	Il VHF è cambiato: non è più solo una "radio", ma un vero e proprio multifunzione dedicato alla sicurezza.	<b>VHF V100</b> supporta fino a 8 ricevitori collegati (4 cablati e 4 wireless) con display, e fino a 4 altoparlanti esterni. AIS, DSC, GPS integrati.	<b>VHF 315i</b> , modulare con microtelefono, dotato di display LCD da 2", tastiera multifunzione, con tasto dedicato DSC, integra il GPS.	<b>VHF RAY63</b> affidabile stazione base DSC con possibilità di aggiungere microfono wireless con display integrato. Dotato di GPS integrato.	Circa 800 euro la base, dai 350 euro i microfoni aggiuntivi.
<i>In porto e in rada</i>	<b>Ormeggio assistito</b>	Come i sensori di parcheggio nelle auto, speciali telecamere e sensori riescono a calcolare la distanza dalla banchina o altre barche aiutandoti a ormeggiare anche in presenza di vento forte.	Non ha ancora a catalogo prodotti specifici per l'ormeggio assistito.	<b>Surround View</b> , sfrutta telecamere installate a filo sullo scafo, fornisce una visione a 360 gradi. Ha i "parabordi virtuali" con Visual Bumper.	<b>DockSense</b> , telecamere Stereo 3d ricostruiscono sul display ostacoli in banchina, cime, gavitelli, e ne rilevano distanza. Molto usato sui cat.	Dai 9000 euro per sistemi con una telecamera in su, a seconda della tipologia di barca.
	<b>Intrattenimento</b>	Radio, audio Bluetooth, sistemi per ascoltare musica "immersivi", televisione, Spotify, persino Netflix sono ormai integrati a bordo con il plotter e gli altri sistemi.	<b>SonicHub 2</b> , sistema bluetooth integrato per l'intrattenimento audio a bordo. Controllabile anche da tablet con app dedicata.	<b>Fusion Signature</b> , serie di amplificatori nautici multicanale integrati per l'audio a bordo di alta qualità. Gestibile da remoto.	<b>Rockford</b> , sistema completo compatibile NMEA o Ethernet, display integrati Spotify e Netflix con 2 casse base. Puoi gestirlo da remoto.	Dai 400 ai 2000 euro.
	<b>All'ancoraggio</b>	Potrete stare tranquilli in rada, se qualcosa non va, scatta l'allarme. E vi avverte anche se non siete a bordo!	Tutti i produttori offrono funzioni di "allarme ancora". Gli ausili per un ancoraggio vengono dagli ecoscandagli di ultima generazione che dicono come è il fondo, dalla cartografia ad alta risoluzione, dal controllo remoto della barca e dalle previsioni dei venti e meteo integrate nei plotter.			Gratis, come tante altre funzioni spesso sono già integrate nelle app o nelle versioni nuove del software del plotter.
<i>Quando non ci sei</i>	<b>Controllo centralizzato</b>	Avrete il monitoraggio remoto di tutta la barca dal plotter (batterie, acqua in sentina, sensori di accesso magnetici, luci, livelli): se connessi, riceverete allarmi e notifiche, e potrete visualizzare ciò che succede a bordo con le termocamere.	<b>B&amp;G Command</b> monitora e gestisce i servizi di bordo, fino a 8 canali relé e 8 canali con fusibile. Con la app vedi tutto sul tuo telefono.	<b>Ondeck</b> monitora e controlla anche sul tuo smartphone fino a 5 utenze della tua barca. Con router, copertura 3G/4G garantita.	<b>YachtSense Link</b> , un router "all in one" che fornisce connettività internet e monitoraggio con 4 ingressi e uscite per i sensori.	Circa 2500 euro per un monitoraggio base con sensori già cablati e connessione remota.
	<b>App remote</b>	La barca sul tuo smartphone, tablet, pc. Per gestirla usando il tuo device come un secondo plotter o tenerla sotto controllo sempre, anche quando siete a casa sul divano.	<b>App B&amp;G</b> gratuita, replica le funzioni del plotter su tablet e smartphone, fornendo di fatto un affidabile secondo schermo.	<b>App ActiveCaptain</b> gratuita sul tuo smartphone. Personalizza le notifiche di allarme in base alle tue necessità.	<b>App RayMarine</b> gratuita, a bordo replica il plotter su tablet o telefono. L'App GeoFence permette di ricevere allarmi/notifiche remote dal sistema YachtSense.	Le app sono spesso gratuite, e consentono di avere un secondo monitor plotter... gratis.

Figura 1.1: Tabella riassuntiva di varie tecnologie installabili sulla propria imbarcazione e relativi costi [5]

## 1.1 Tecnologie standard

Sono molti anni che la tecnologia è entrata nel mondo delle imbarcazioni, soprattutto per quanto riguarda la sicurezza alcuni sistemi sono diventati obbligatori. Nelle prossime sezioni si andrà a parlare di quelli che sono alcuni standard che fanno da filo conduttore tra le varie aziende e che rendono possibile la comunicazione tra diverse generazioni, marche e modelli di prodotti.

### 1.1.1 nmea 0183

Questo standard è sviluppato per consentire una comunicazione di dati pronta e soddisfacente tra strumenti marittimi, apparecchiature di navigazione e apparecchiature di comunicazione, quando interconnesse tramite un'interfaccia appropriata. Questo standard intende supportare la trasmissione seriale unidirezionale di dati da un singolo TALKER a uno o più LISTENER. Si tratta di dati in formato ASCII stampabile e possono includere informazioni come posizione, velocità, profondità ecc. I messaggi tipici possono avere una lunghezza compresa tra 11 e 79 caratteri e, generalmente, richiedono la trasmissione non più di una volta al secondo. Tutti i dati trasmessi devono essere interpretati come caratteri ASCII. Il bit più significativo del carattere a 8 bit deve essere sempre trasmesso come zero ( $d7 = 0$ ). Tutti i dati possono essere catturati da un'interfaccia seriale come può essere una comune usb.



Figura 1.2: Esempio di schema di collegamento possibile usando nmea0183 [20]

Negli ultimi anni viene utilizzato un nuovo standard chiamato mnea2000, anche se spesso, viene poi riconvertito in mnea0183 per garantire retro-compatibilità. Mnea2000 ha dei connettori proprietari che ne facilitano l'installazione, ma rendono le cose complicate per chi vuole "customizzare" la propria rete autonomamente senza comprare componentistica proprietaria.

### 1.1.2 AIS

AIS(Automatic Identification System) è un sistema utilizzato da navi, imbarcazioni da diporto e stazioni di controllo del traffico. Questo strumento permette di avere informazioni riguardanti posizione, velocità e rotta e quindi è molto utile per la gestione del traffico navale. La Convenzione IMO per la sicurezza della vita umana in mare (SOLAS) Regolamento V/19.2.4 richiede che tutte le navi di 300 tonnellate e superiori impegnate in viaggi internazionali e tutte le navi passeggeri, indipendentemente dalle dimensioni, abbiano l'AIS a bordo. Esistono due tipi di AIS:

- **Classe A:** obbligatorio per tutte le navi di 300 tonnellate e oltre impegnate in viaggi internazionali e per tutte le navi passeggeri
- **Classe B:** fornisce funzionalità limitate ed è destinato a navi non SOLAS. Utilizzato principalmente per le imbarcazioni da diporto

L'AIS opera principalmente su due frequenze dedicate su canali VHF:

- AIS 1: funziona su 161.975 MHz- Canale 87B
- AIS 2: 162.025 MHz- Canale 88B

Queste frequenze hanno un limite della linea di vista che è di circa 40 miglia.

Di seguito alcune delle principali informazioni trasmesse tramite AIS

Informazioni statiche (ogni 6 minuti e su richiesta):

- Numero MMSI
- Numero IMO
- Nome
- Lunghezza
- Tipo di nave

Informazioni dinamiche:

- Posizione della nave con indicazione di precisione
- Timestamp di posizione (in UTC)

Informazioni relative al viaggio (ogni 6 minuti, quando i dati vengono modificati o su richiesta)

- Pescaggio della nave
- Tipo di carico
- Piano del percorso



Figura 1.3: Esempio di dispositivo ais [15]

Questi dispositivi hanno un prezzo che parte da qualche centinaia di euro per quelli più semplici, fino ad arrivare a qualche migliaio. È possibile usare delle alternative più economiche come per esempio l' RTL-SDR, che però sono in

grado solo di ricevere dati e non di trasmetterli; questa limitazione è dovuta al fatto che tale protocollo lavora su frequenze licenziate.

## 1.2 Ambiente e tecnologia

Considerando l'inquinamento registrato in questo periodo storico, è necessario che ci siano degli sforzi per volgere la tecnologia a tutela dell'ambiente. La realtà dei parchi marini viene costantemente messa a rischio da imbarcazioni che vi entrano senza rispettare un regolamento e posizionano ancore andando a distruggere il fondale. Esistono già delle realtà come Resinex [16] che forniscono tramite delle boe una barriera di protezione per i parchi marini. In questo caso specifico via internet si prenota, segnalando il periodo di sosta e le dimensioni della barca, che per il momento non può superare i 24 metri. Ottenuto il codice d'accesso, si riceve un pass a forma di anello, che bisogna agganciare alla cima con la quale si fissa la barca alla boa.

## 1.3 LoRa

LoRa(Long Range), è una tecnologia utilizzata principalmente in ambito IoT.

Technology	Wireless Communication	Range	Tx Power
Bluetooth	Short range	10 m	2.5 mW
Wifi	Short range	50 m	80 mW
3G/4G	Cellular	5 km	5000 mW
LoRa	LPWAN	2-5 km (urban) 5-15 km (rural) >15 km (LOS)	20 mW

Tabella 1.1: Tabella che mette in relazione la distanza con la potenza utilizzata di Bluetooth, Wifi, 3G/4G e LoRa [2]

LoRa è basata sulla modulazione di frequenza, in Europa 433MHz o 868MHz sono bande gratuite ISM. Per legge, in Europa: [2]

- Per l'uplink, la potenza di trasmissione massima è limitata a 25 mW (14 dBm).
- Per il downlink (per 869,525 MHz), la potenza di trasmissione massima è limitata a 0,5 W (27 dBm).
- Il Duty Cycle totale per la trasmissione dei canali deve essere minore dell'1%.
- Guadagno antenna massimo consentito +2,15 dBi

*Le regolamentazioni per l'uso delle bande ISM cambiano per ogni area geografica.*

#### **Vantaggi della banda ISM:**

- Chiunque può utilizzare queste frequenze.
- Non è richiesto alcun canone.

#### **Svantaggi della banda ISM:**

- Velocità dati bassa.
- Molte interferenze perché chiunque può usare queste frequenze.

LoRa utilizza la modulazione Chirp-spread-spectrum (CSS) per mantenere le caratteristiche di bassa potenza a vantaggio dell'aumento del raggio di comunicazione. È la prima implementazione per un'infrastruttura a basso costo ad essere commercializzata utilizzando il CSS. Il CSS è stato utilizzato nelle comunicazioni a lungo raggio da agenzie militari e spaziali grazie alla sua capacità di resistere alle interferenze.

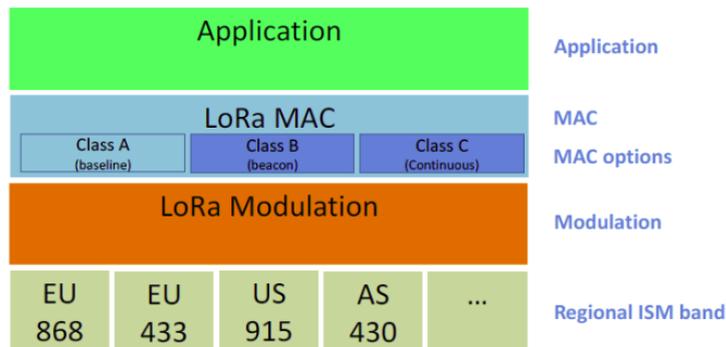


Figura 1.4: Struttura dei diversi livelli dei nodi LoRa [1]

### 1.3.1 Proprietà chiave della modulazione LoRa

- **Larghezza di banda scalabile**

A differenza degli schemi di modulazione a banda stretta o larga esistenti, LoRa può essere facilmente adattato per entrambe le modalità di funzionamento con poche semplici modifiche al registro di configurazione.

- **Bassa potenza**

Per merito del guadagno di elaborazione associato a LoRa, la potenza di uscita del trasmettitore può essere ridotta rispetto a un collegamento FSK convenzionale pur mantenendo un bilancio di collegamento uguale o migliore.

- **Elevata robustezza**

Un segnale LoRa è molto resistente alle interferenze sia in banda che fuori banda.

- **Resistente al fading**

LoRa offre immunità al multipath e al fading, rendendolo ideale per l'uso in ambienti urbani e suburbani, dove entrambi i fenomeni predominano.

- **Capacità a lungo raggio**

Confrontato per potenza di uscita e un throughput fissi, il bilancio di collegamento di LoRa supera quello dell'FSK convenzionale.

- **Capacità di rete**

La modulazione Semtech LoRa consente la trasmissione di più segnali contemporaneamente e sullo stesso canale.

In conclusione la modulazione LoRa di Semtech è una implementazione del livello fisico che offre un significativo miglioramento del bilancio di collegamento rispetto alla modulazione convenzionale a banda stretta. Inoltre, la maggiore robustezza e selettività fornita dalla modulazione a spettro diffuso consente di ottenere una maggiore distanza di trasmissione, anche in ambienti difficili e ostili. [17]

### 1.3.2 LoRa WAN

Il protocollo LoRaWAN (Low Power Wide Area Network) è un protocollo di comunicazione wireless sviluppato da LoRa Alliance per la comunicazione a lungo raggio usata per l'IoT. Il protocollo e la relativa architettura di rete hanno una grande influenza nel determinare la durata della batteria del nodo, la capacità della rete, la qualità del servizio e la sicurezza.

### 1.3.3 LoRaMesh

L'idea alla base di LoRaMesh [14] è quella di connettere vari nodi tra di loro e usarli per creare una vera e propria rete in grado di coprire grandi distanze. In una rete mesh i dati si propagano nella rete attraverso ogni nodo. Nelle reti mesh ogni nodo trasmette lo stesso messaggio indipendentemente dalla destinazione finale o dall'instradamento, per cui il messaggio si propaga lungo un percorso fino alla sua destinazione. Le reti mesh in genere utilizzano tabelle di routing o sono autoinstradanti. [17] I vantaggi di una rete mesh sono la capacità di "auto-guarigione" e di riconfigurarsi in caso di perdita di connettività a un nodo o gruppo di nodi. Uno svantaggio di questa topologia è la complessità relativamente maggiore rispetto alle reti a stella tradizionali e un aumento del traffico di rete dovuto alla ridondanza intrinseca della

rete. L'implementazione utilizzata nel progetto sfrutta la libreria pyMesh sviluppata da Pycom. Quest' ultima è basata a sua volta su OpenThread [8], sviluppata da Google, che va a gestire gli algoritmi di routing e fornisce uno strato ipv6 per facilitare la comunicazione.

### 1.3.4 OpenThread

OpenThread gestisce la rete mesh dividendo i dispositivi della rete in tre categorie [8]:

- Leader max 1
- Router max 32
- Child max 511 per router

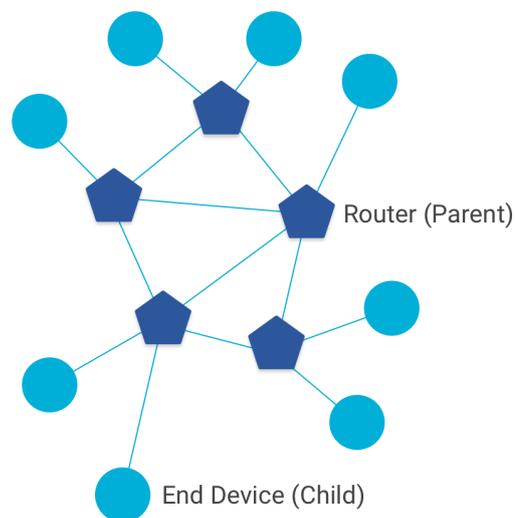


Figura 1.5: Esempio di rete con router e child [8]

Il Leader gestisce il set di router in una rete Thread e si occupa di ridistribuire informazioni tra i nodi.

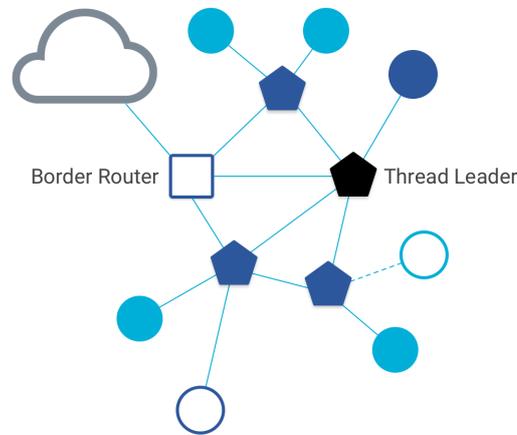


Figura 1.6: Esempio di rete con router , child e il Leader [8]

Un router è un nodo che devia pacchetti per i dispositivi di rete, fornisce servizi per i dispositivi che tentano di collegarsi alla rete e mantiene il rice-trasmittitore sempre abilitato.

Il child(dispositivo finale), comunica principalmente con un singolo router, non inoltra i pacchetti per altri dispositivi di rete e può disattivare il suo ricetrasmittitore per ridurre il consumo [8]

Un nuovo dispositivo che si accende ha due opzioni: se c'è una rete già esistente si collega a quest'ultima come router o come child, se invece è da solo, crea una nuova rete e si proclama Leader [7]. Se due reti distinte entrano in contatto sono in grado di fondersi, e diventare un'unica rete.

I router devono formare un set di dominazione connessa (CDS), il che significa: [9]

- Esiste sempre un percorso tra due router.
- Qualsiasi router in una rete Thread può raggiungere qualsiasi altro router restando completamente all'interno del set di router.
- Ogni dispositivo finale di una rete Thread è collegato direttamente a un router.

La rete mantiene un minimo livello di ridondanza e cerca di aumentare il numero di percorsi. Sotto i 16 router, tende ad aumentare la copertura.

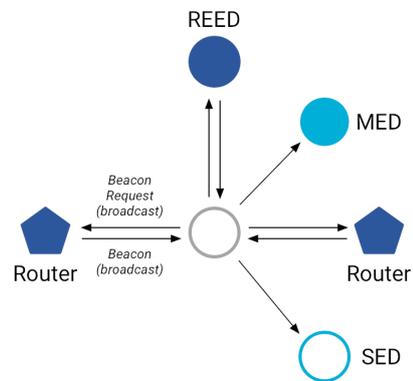


Figura 1.7: Esempio di scansione della rete e collegamento di un nuovo nodo [9]

## Capitolo 2

# Progetto e possibili sviluppi

In questo progetto è stata sviluppata un'infrastruttura in grado di far comunicare imbarcazioni da diporto su bande non licenziate, utilizzando solo materiale OpenSource. Per queste ragioni i costi da destinare alla comunicazione tra imbarcazioni si abbassano drasticamente. Tale infrastruttura, inoltre, non basandosi su uno standard definito, ha la possibilità di adattarsi a qualsiasi tipo di dato. Nei prossimi capitoli verrà mostrato come i dati, che sono stati raccolti durante lo svolgimento dei test, sono stati presi localmente o passati tramite bluetooth e come l'infrastruttura, in pratica, sia in grado di accettare sorgenti di dati da molteplici tecnologie pre-esistenti. Per queste ragioni è possibile integrare i dati forniti, per esempio dall'AIS, 1.1.2 per quanto riguarda la posizione, la rotta e la velocità e allo stesso tempo è possibile passare i dati che scorrono tramite mnea0183 1.1.1, fornendo quindi i dati rilevati dai sensori che l'imbarcazione possiede a bordo 2.1. Ci sono vari progetti che vanno a sfruttare la tecnologia LoRa applicata a delle boe che monitorano costantemente lo stato del tempo e del mare. La tecnologia LoRa è molto adatta a questo scopo, visto che, consumando poca corrente, permette di alimentare le boe con un piccolo pannello solare. Avere, inoltre, un oggetto di cui si conosce la massa e la forma, e che è molto suscettibile al moto ondoso, permette di conoscere con una buona precisione il moto ondoso nell'area della boa. Si può vedere nell'articolo [13] un esempio di come una

serie di boe siano state posizionate in una baia e, per monitorare i dati da terra, sia stata usata una rete LoRa. Andando quindi sotto costa, qualora ci siano delle Boe LoRa, è possibile leggere i dati trasmessi da queste ultime per poter capire se le condizioni del mare sono adatte all'imbarcazione che si vuole portare in quel luogo, così da evitare incidenti. Sempre rimanendo nel tema delle boe e della salvaguardia del territorio, esistono tecnologie che aiutano i parchi marini a rimanere incontaminati come spiegato al capitolo 1.2. Se la tecnologia LoRa entrasse a far parte di questa categoria di dispositivi, considerato il basso costo, potrebbe essere installata con buona facilità, garantendo maggior tutela del territorio, per esempio andando ad avvisare l'entrata in eventuali aree protette, e segnalando eventuali infrazioni alle autorità a terra. Come specificato nei capitoli precedenti, esistono già delle tecnologie usate per agevolare la navigazione, ma queste ultime spesso comportano costi proibitivi e, trattandosi di tecnologie proprietarie, sono poco adattabili a tutti i tipi di esigenza. Questo progetto è volto a fornire un'alternativa che ovviamente non vada a sostituire la tecnologia già esistente, ma che la affianchi con l'obiettivo di creare una rete che possa essere usata in maniera polivalente, utilizzabile sia per la sicurezza della navigazione che per il monitoraggio ambientale.

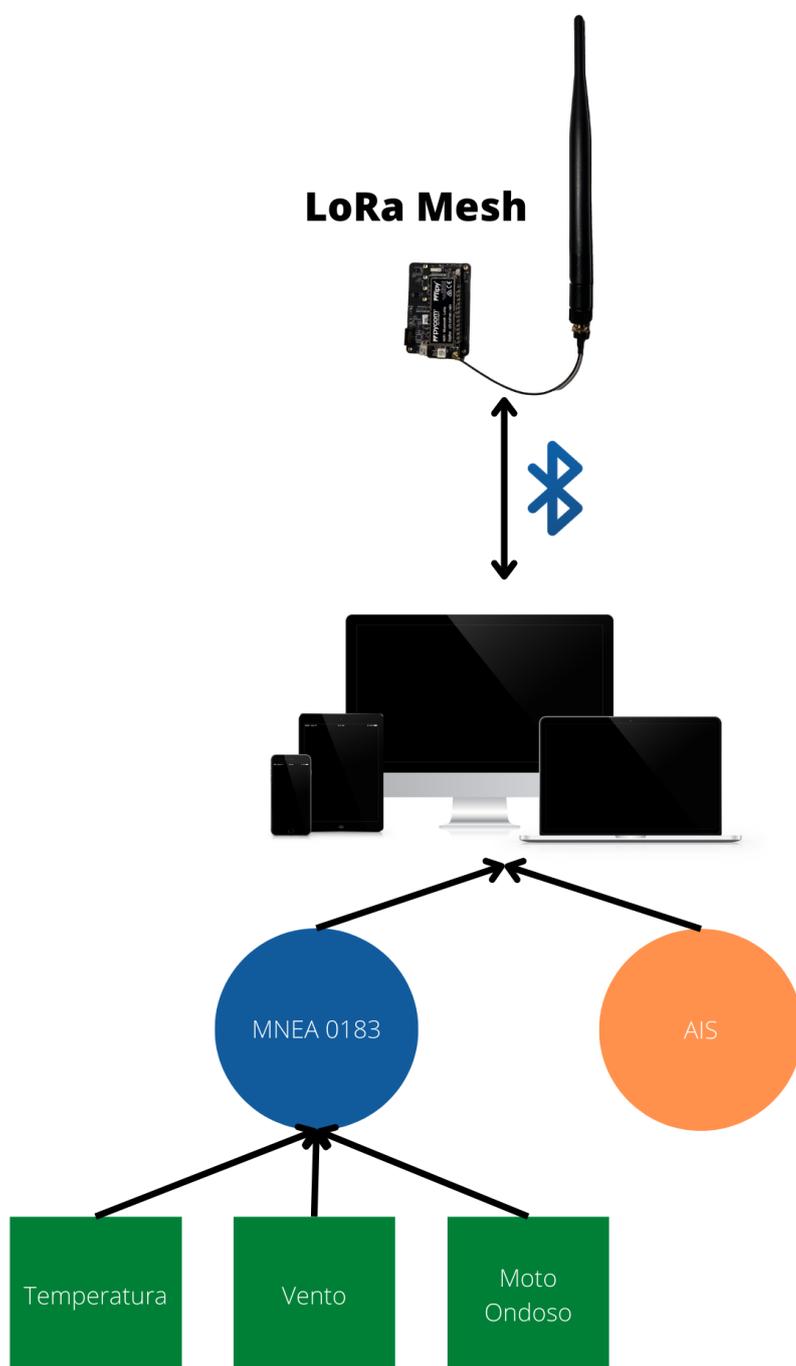


Figura 2.1: Esempio di come potrebbero essere gestiti i vari dati delle imbarcazioni



# Capitolo 3

## Tecnologie

Il progetto è stato svolto principalmente utilizzando moduli Pycom per l'implementazione di una rete LoRa Mesh.



Figura 3.1: FiPy + Antenna lora + Pysense2

**Software:**

- micriopython
- PyMesh
- git

**Hardware:**

- FyPy x3
- PySense2 x3
- Antenna Lora x3
- Case impermeabili x3
- Batterie x3
- Raspberry b3+

### 3.1 Descrizione dell'hardware

Tutto l'hardware può essere alimentato da una batteria o una porta USB collegate alla scheda pysense. Sulla scheda sono presenti uno slot per microSD, un indicatore dello stato di carica, un indicatore di alimentazione e un controllore della tensione della batteria tramite WiPy ADC. Semtech (attuale produttore di chip LoRa [19]) offre chip ricetrasmittitori SX127x per nodi finali che hanno un consumo di energia estremamente basso (9,7 mA - modalità di ricezione, 200 nA - modalità di attesa con passaggio istantaneo alla modalità operativa), ecco perché questi componenti sono i più adatti per dispositivi con alimentazione a batteria. La famiglia di microcircuiti SX127x è composta da sei ricetrasmittitori di dominio pubblico per gli sviluppatori di dispositivi wireless. I ricetrasmittitori SX1272/3 sono adatti alla frequenza nell'intervallo da 868 a 915 MHz. I ricetrasmittitori di questa serie possono essere definiti universali: i registri di memoria interna sono in grado di modificare la dinamica della frequenza operativa, nonché il bit rate, il tipo di modulazione, la deviazione, la potenza di uscita e altri parametri. Il consumo energetico del ricetrasmittitore in modalità di ricezione è pari a circa 13 mA, con una tensione di alimentazione di 3,3 V e una larghezza di banda di 500KHz.





# Capitolo 4

## Implementazione

Durante lo sviluppo del codice sono emersi diversi problemi di stabilità delle board. Per rendere il sistema stabile sono state create delle interfacce, in grado di catturare alcuni di queste anomalie e gestirle. In particolare, è stato necessario disabilitare l'avvio automatico di PyMesh [14]. A questo punto sono state implementate funzioni utili, come l'invio di messaggi in broadcast e la possibilità di specificare funzioni di callback associate alla ricezione di un nuovo messaggio.

### 4.1 Struttura

Pycom mette a disposizione un firmware con all'interno implementate varie librerie per la gestione del BLE e di LoRa Mesh. Invece di utilizzare direttamente queste librerie, sono state sviluppate delle classi intermedie che vanno a catturare errori ed eccezioni, così da rendere più pulito il codice principale.

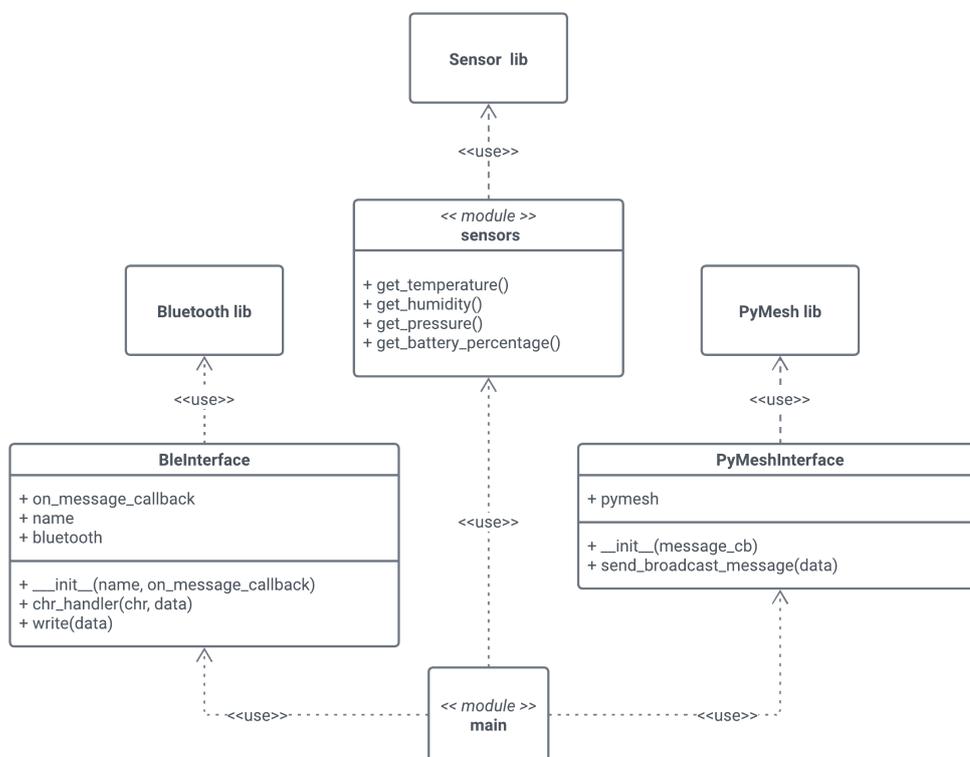


Figura 4.1: Diagramma delle classi del codice micropython eseguito nel fipy

Nel diagramma di iterazione 4.2 è possibile notare tre macro-aree:

- Ricezione di un messaggio dalla rete LoRa Mesh: in tal caso quest'ultimo viene inoltrato al client ble connesso.
- Invio periodico di messaggi all'interno della rete LoRa Mesh: questi ultimi vengono re-inviati al dispositivo iniziale che li inoltra al client ble connesso.
- Messaggio inviato dal client ble: il messaggio viene inoltrato alla rete LoRa Mesh, che lo re-inoltra al dispositivo fipy che lo re-inoltra a sua volta al client ble

Un codice così strutturato garantisce che tutto quello che passa per la rete LoRa Mesh sia anche inviato al client BLE connesso.

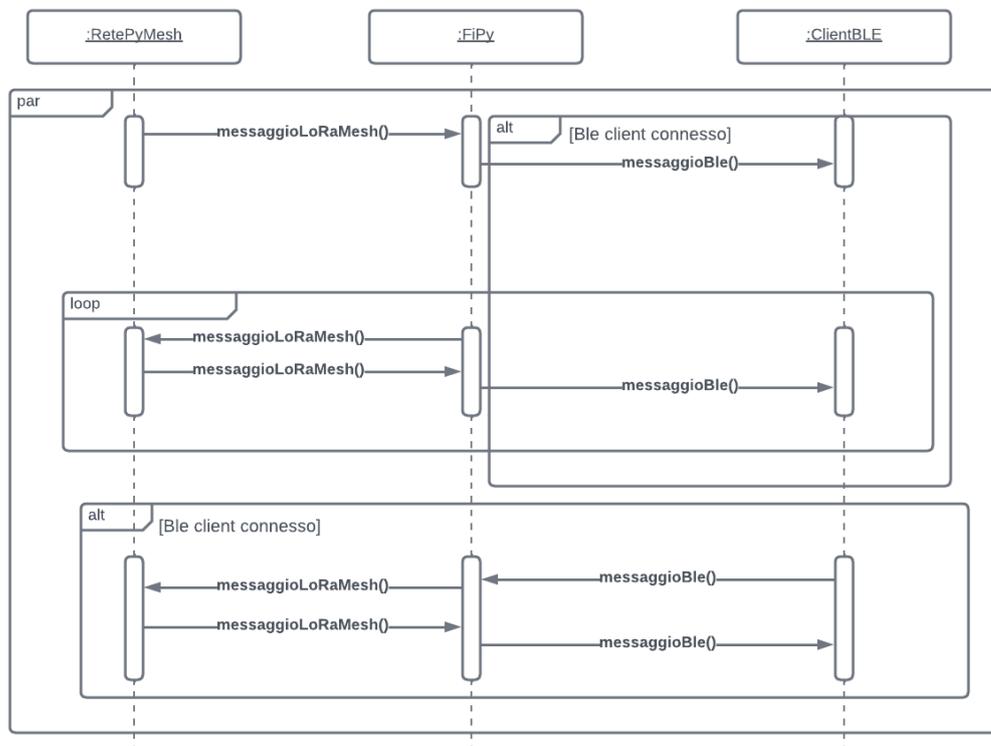


Figura 4.2: Diagramma di iterazione del codice micropython eseguito nel fipy

## 4.2 Dinamicità della rete Mesh

Condizioni critiche rilevate durante i test:

- Il leader perde la connessione
- Perdita improvvisa di segnale da parte di un router con figli

Per ovviare a queste criticità, è stato implementato un watch-dog che monitora costantemente lo stato di rete e, in caso di problemi, riavvia il dispositivo e quindi la porzione di rete a lui collegata. La condizione critica che fa riavviare la rete, in particolare, è la perdita di connessione per più di due minuti: infatti, anche se il dispositivo non ha nodi vicini a cui collegarsi, dovrebbe creare una rete distinta in attesa che altri dispositivi si connettano. Purtroppo questo meccanismo mostra dei problemi al verificarsi delle condizioni sopra elencate. Considerando che l'applicazione per cui è stata pensata non

ha bisogno di un flusso di dati estremamente stabile, l'idea più pratica è stata affidarsi a un watch-dog, anche se questo vuole significare un buco di circa 2 minuti nella comunicazione, nel momento in cui quest'ultimo si attiva.

### 4.3 Sensoristica

Per mezzo del modulo PySense, è possibile avere accesso a una serie di sensori, in particolare, nel codice viene fornita un'interfaccia che formatta i dati dei sensori direttamente in json.

Sensori supportati dall'interfaccia:

- temperatura
- umidità
- carica della batteria
- pressione atmosferica

Tutti i messaggi inviati (LoRa mesh e ble) hanno un formato json, per esempio {"temperatura" : 22}

# Capitolo 5

## Test

Molti test sono stati effettuati utilizzando come riferimento l' RSSI(Received Signal Strength Indication) che rappresenta la potenza del segnale ricevuto in milliwatt ed è misurata in dBm. Questo valore può essere utilizzato come misura di quanto bene un ricevitore può "sentire" un segnale da un mittente. L'RSSI è misurato in dBm ed è un valore negativo.

Più è vicino a 0, migliore è il segnale.

I valori tipici di LoRa RSSI sono:

[2]

- Minimo RSSI = -120 dBm.
- RSSI= -30dBm: il segnale è forte.
- RSSI= -120dBm: il segnale è debole.

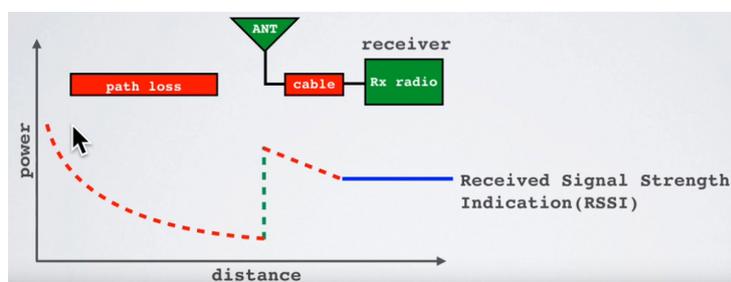


Figura 5.1: Grafico che mette in rapporto distanza e potenza [2]

## 5.1 LoRa Mesh test

Tutti i test sono stati effettuati con una potenza dell'antenna pari a 14 dBm.

Tutti i dati raccolti ed utilizzati sono al link: [shorturl.at/kCRVZ](http://shorturl.at/kCRVZ)

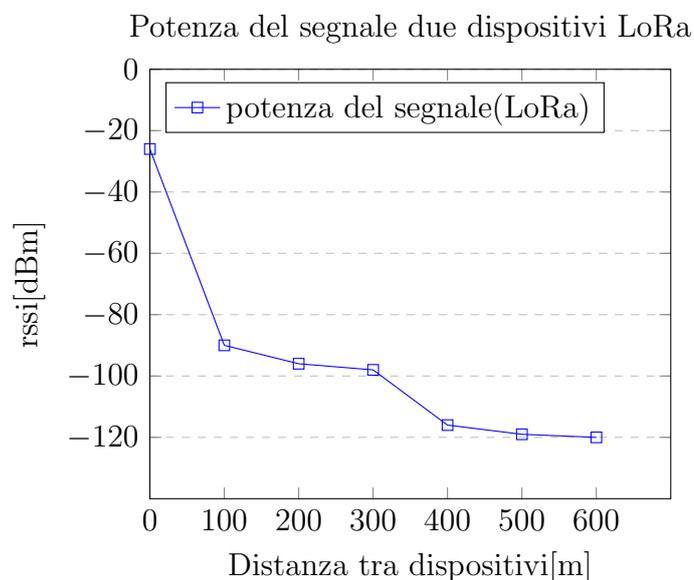
Per la raccolta dati è stata usata l' applicazione descritta al capitolo 7.

### 5.1.1 Test sulla distanza su terra

- Test effettuato in area urbana con un'antenna posizionata all'interno di un palazzo a circa 30m d'altezza e l'altra mobile. Per il test iniziale di distanza è stato usato un collegamento LoRa punto punto. Con questa configurazione la maggior distanza ottenuta è stata di circa 600 metri.

	Dispositivo 1	Dispositivo 2
Altezza da terra [m]	30	1
In movimento	no	si
Tipo di territorio	Urbano	

Tabella 5.1: test LoRa area urbana



Questa tecnologia non è stata pensata per funzionare in un ambiente urbano pieno di muri e ostacoli, infatti troviamo un grafico mol-

to irregolare, e una distanza massima molto minore rispetto a quella teorica.

- Test svolto in una strada dritta in una zona industriale, tramite due dispositivi LoRa Mesh: Dispositivo 1 in movimento, e Dispositivo 2 fermo. Un'automobile ha percorso avanti ed indietro a velocità costante la tratta visibile nell'immagine 5.2. Entrambi i dispositivi hanno inviato costantemente vari dati, con una frequenza media di undici messaggi al minuto.

	Dispositivo 1	Dispositivo 2
Altezza da terra [m]	1	1
In movimento	si	no
Tipo di territorio	Industriale/Agricolo	

Tabella 5.2: test LoRa Mesh area industriale

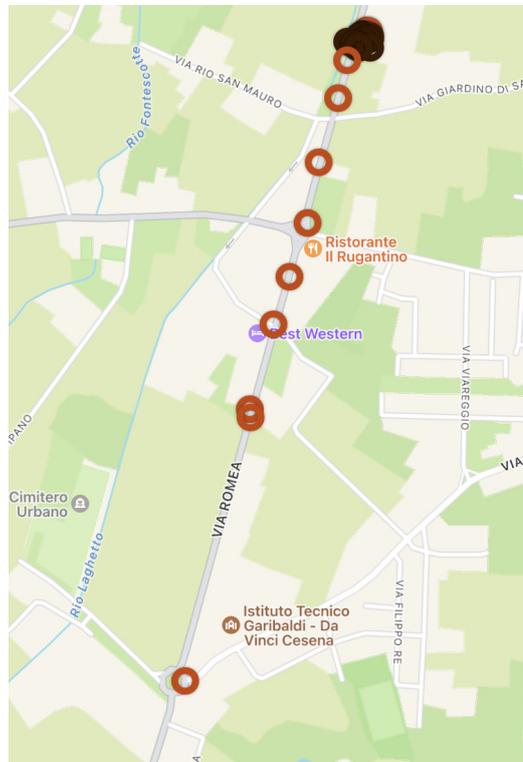
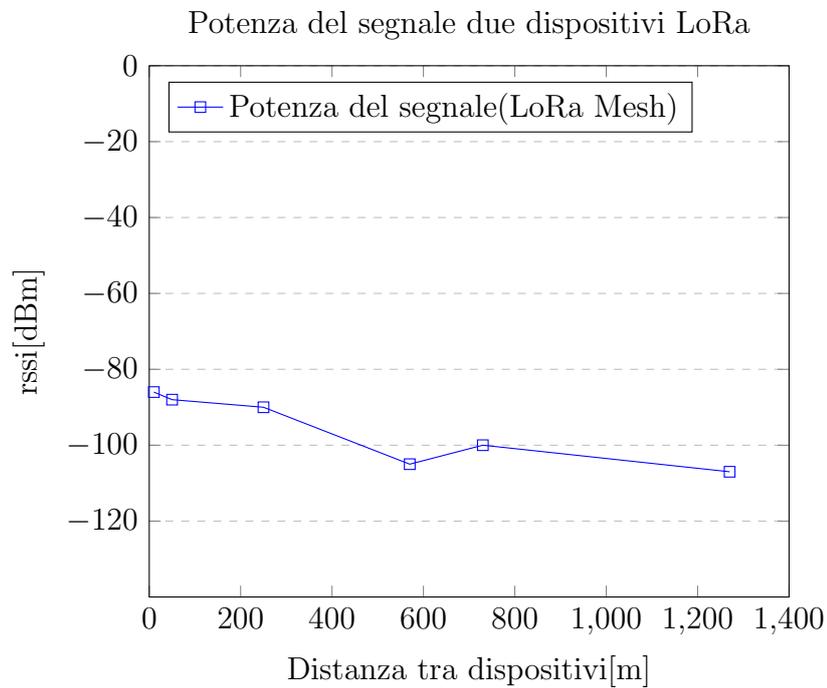


Figura 5.2: immagine dati gps relativi a due dispositivi LoRa Mesh, di cui uno in movimento



Nelle tabelle 5.3 si può notare come circa il 41% dei messaggi inviati vada perso. Per avere dei dati più significativi, nella tabella 5.4 è evidente che questo dato è fortemente influenzato dalla distanza.

	Messaggi ricevuti	Messaggi inviati
<b>Dispositivo 1 (In movimento)</b>	46	79
<b>Dispositivo 2 (Fermo)</b>	45	77

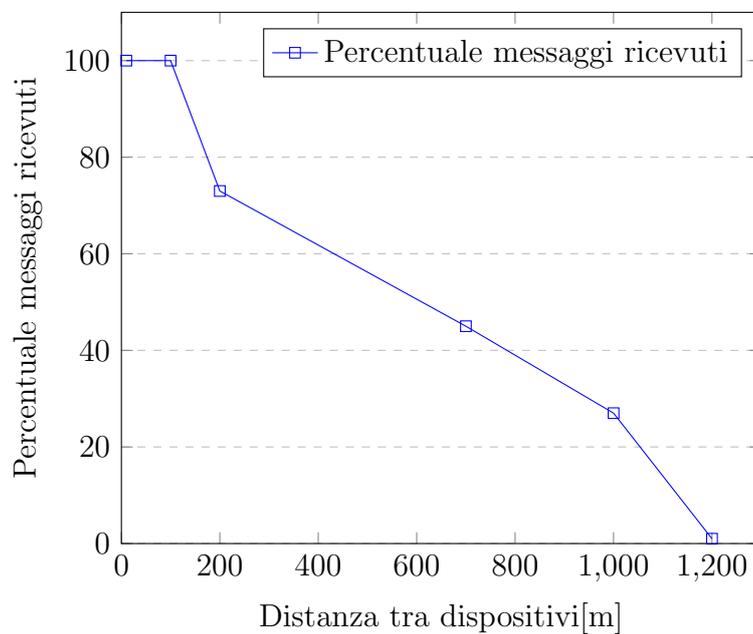
Tabella 5.3: Tabella dei messaggi totali ricevuti ed inviati in 6 minuti di trasmissione, con un dispositivo fermo e l'altro in movimento

Nella tabella 5.4 si deve considerare che i messaggi inviati al minuto sono pari a 11. I messaggi ricevuti sono stati ricavati tramite una media di più viaggi avanti ed indietro per lo stesso percorso.

Metri di distanza tra i dispositivi	Messaggi ricevuti dal Dispositivo 2	Percentuale messaggi ricevuti dal dispositivo 2
10	11	100
100	11	100
200	8	73
700	5	45
1000	3	27
1200	1	1

Tabella 5.4: Tabella dei messaggi ricevuti ed inviati in relazione alla distanza, con un dispositivo fermo e l'altro in movimento

Percentuale messaggi ricevuti in ambiente urbano-industriale



- Test in cui è stata posizionata un'antenna statica sulla cima di un'edificio di 40m e l'altra antenna a terra in movimento. Con questa prova si è cercato di mantenere la linea a di vista.

	Dispositivo 1	Dispositivo 2
Altezza da terra [m]	40	1
In movimento	no	si
Tipo di territorio	Urbano	

Tabella 5.5: test LoRa Mesh in linea di vista area urbana

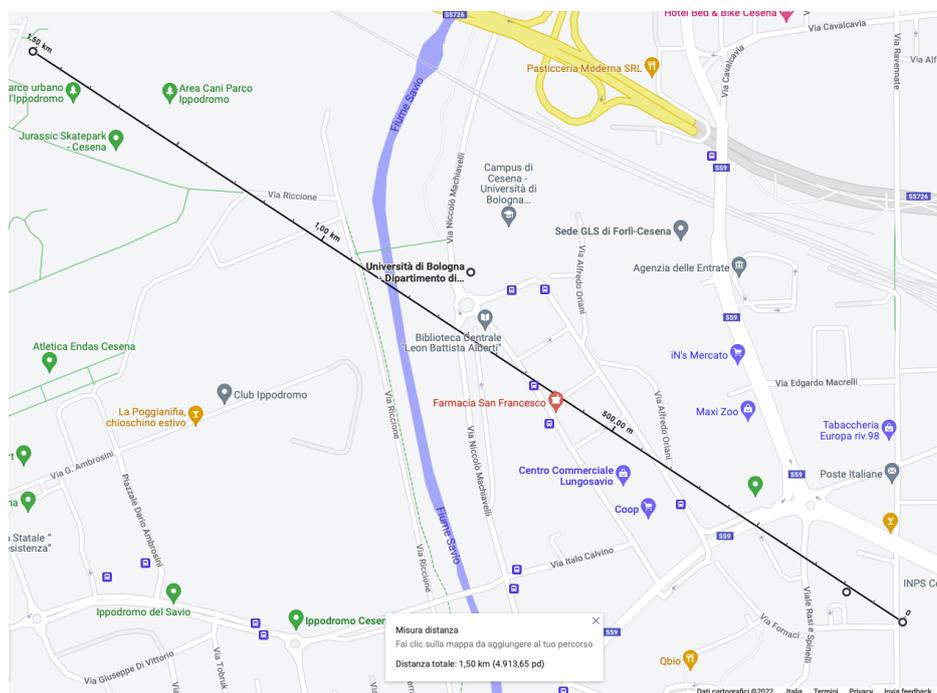
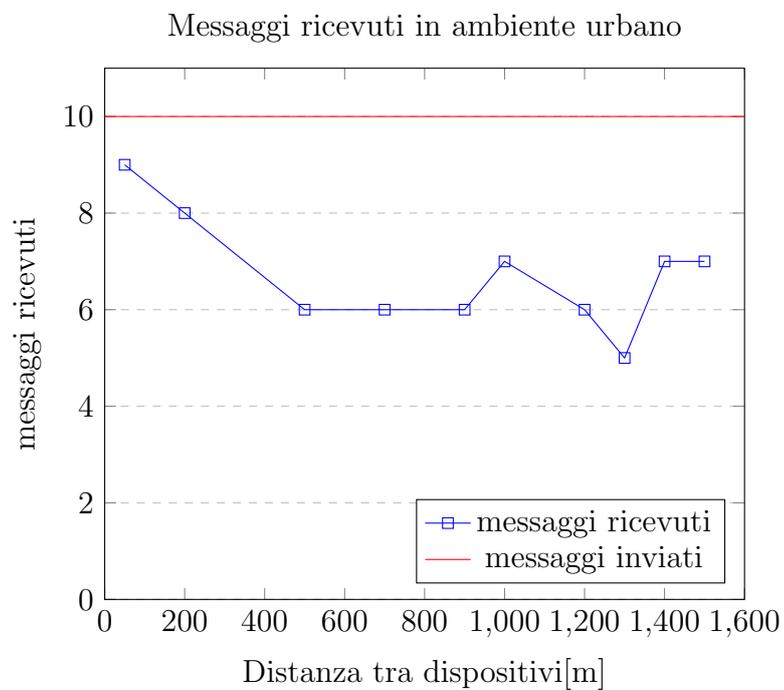
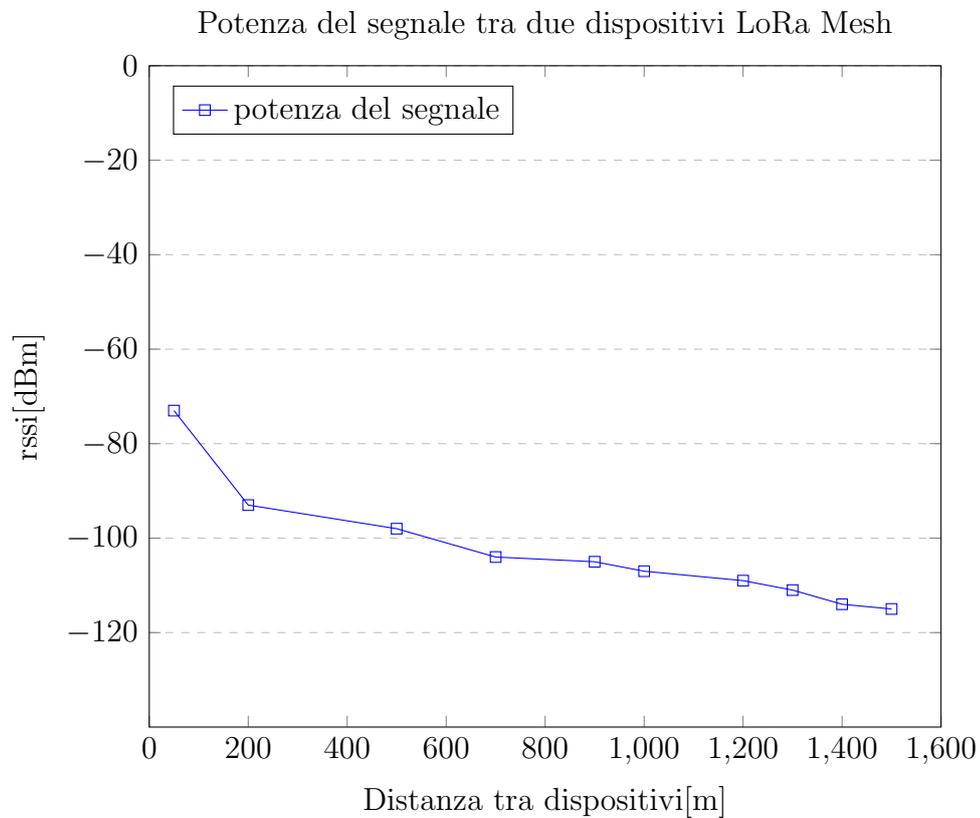


Figura 5.3: immagine dati gps relativi a due dispositivi LoRa Mesh, di cui uno in movimento e l'altro posizionato in alto

Metri di distanza tra i dispositivi	Potenza del segnale	Messaggi ricevuti
50	-73	9/10
200	-93	8/10
500	-98	6/10
700	-104	6/10
900	-105	6/10
1000	-107	7/10
1200	-109	6/10
1300	-111	5/10
1400	-114	7/10
1500	-115	7/10

Tabella 5.6: Tabella dei messaggi ricevuti con un dispositivo fermo in posizione rialzata e l'altro in movimento a terra





È interessante notare che il grafico 5.1.1, presenta una linearità nella perdita di potenza, questo è dovuto al mantenimento del punto di vista, e alla scarsa quantità di ostacoli che possono andare ad interferire con il segnale.

### 5.1.2 Test sull'acqua

Questo test è stato effettuato al lago Trasimeno. Per effettuare le misurazioni sono state utilizzate due antenne: la prima è stata posizionata sul terrazzo di un edificio situato vicino al porto e l'altra sulla poppa della barca a vela utilizzata. I dati raccolti durante l'allontanamento delle antenne sono completi, mentre quelli raccolti durante il riavvicinamento delle antenne non lo sono, poiché la grande mole di dati raccolti ha mandato in blocco il telefono che raccoglieva i dati, causando così un buco nelle rilevazioni. A causa delle difficoltà logistiche legate alla effettuazione di questo tipo di rilevazioni, non

è stato possibile ripetere il test. Il buco di dati si può notare facilmente nell'immagine 5.5 ed è durato circa 20 minuti.

	Dispositivo 1	Dispositivo 2
Altezza da terra [m]	1	3
In movimento	si	no
Tipo di territorio	Lago	

Tabella 5.7: Test LoRa Mesh Lago

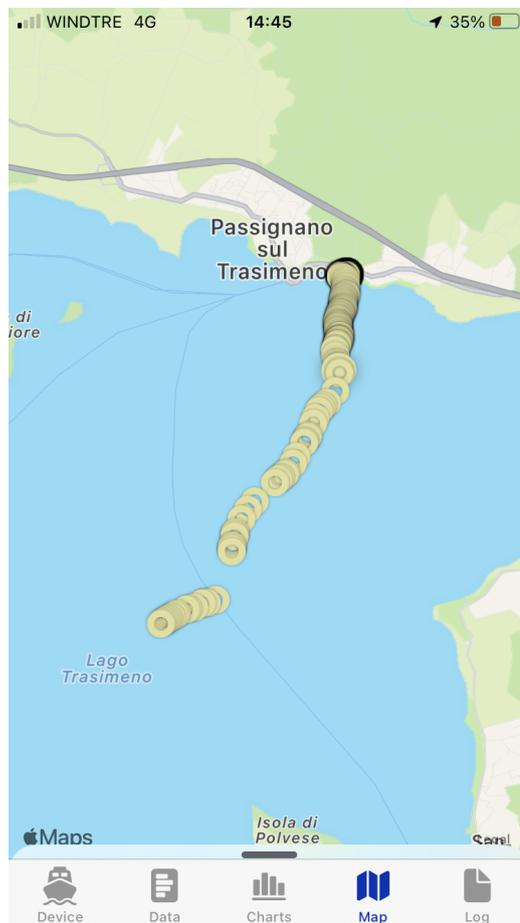


Figura 5.4: immagine del percorso d'andata dell'imbarcazione usata per il test (punto di vista del dispositivo 2)



Figura 5.5: immagine del percorso d'andata e ritorno dell'imbarcazione usata per il test (punto di vista del dispositivo 1)

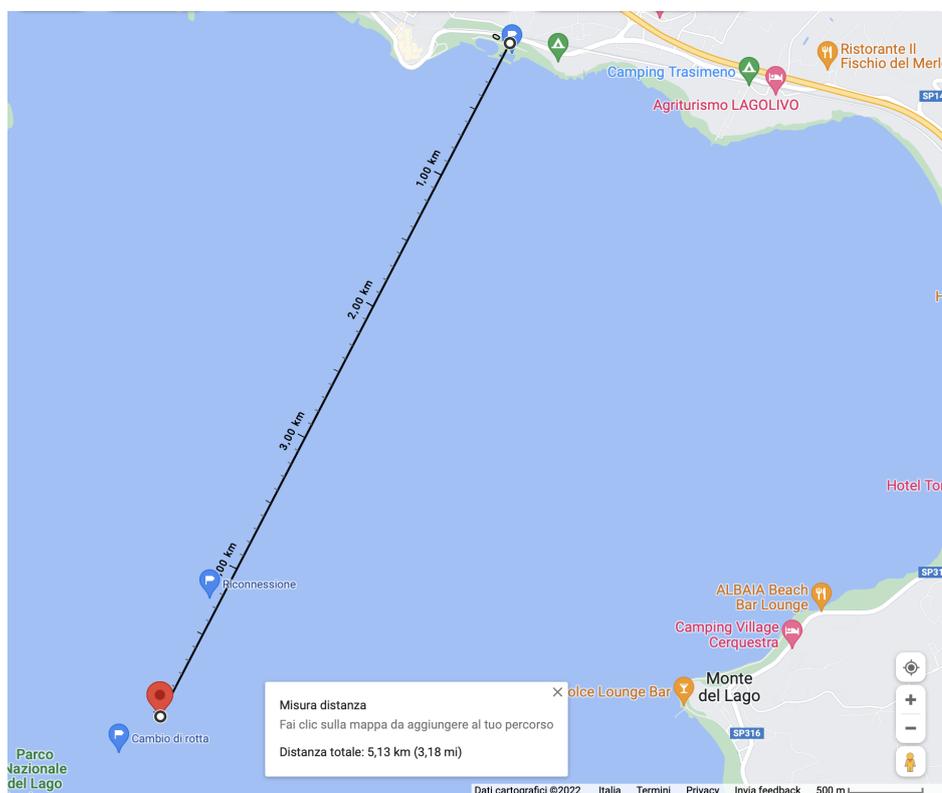


Figura 5.6: immagine dei punti di connessione, disconnessione e riconnessione

Analizzando i dati, come si può vedere in figura 5.6, si evince che si sono riusciti ad ottenere dei messaggi fino a circa 5 km di distanza tra le antenne, dopo di che si è perso il segnale. È stato effettuato un cambio di rotta circa 300 m dopo, ed il segnale è stato riacquisito a circa 4.3 km di distanza tra le antenne. Il tratto di andata, visionabile dall'immagine, 5.4 è stato percorso in circa 65 minuti, mentre il ritorno visibile nell'immagine 5.5, è stato percorso in circa 45 minuti, dalla riacquisizione del segnale fino al porto. Tralasciando l'uscita dal porto, si è mantenuta una velocità pressoché costante durante tutto il test. Le velocità medie di allontanamento e avvicinamento sono state rispettivamente di circa 5.1km/h e 5.7km/h. Malgrado la velocità data dal motore sia rimasta costante durante il test, come si può vedere dalla figura 5.5, le rotte sono differenti, e nel ritorno si è mantenuta una maggior linearità, che ha comportato una velocità di riavvicinamento maggiore di

quella dell'allontanamento.

## 5.2 Allontanamento

Nella seguente tabella sono riportati tutti i dati significativi catturati durante l'allontanamento delle due antenne.

Minuti	rsi[dBm]	Distanza tra i dispositivi	Messaggi arrivati [Dispositivo 1]	Messaggi arrivati [Dispositivo 2]
0	-75	0,14	13	12
	-75	0,17		
	-75	0,19		
1	-75	0,21	13	13
	-75	0,23		
	-71	0,24		
	-71	0,26		
	-65	0,26		
2	-65	0,28	13	12
	-65	0,29		
	-65	0,31		
3	-65	0,32	13	13
	-65	0,33		
	-65	0,35		
	-65	0,36		
	-65	0,38		
4	-65	0,39	12	12
	-65	0,40		
	-65	0,42		
5	-65	0,42	13	13
	-65	0,44		
	-65	0,45		
	-65	0,46		
6	-65	0,46	12	11
	-65	0,47		
	-65	0,49		
	-65	0,50		
	-87	0,50		

Minuti	rssi[dBm]	Distanza tra i dispositivi	Messaggi arrivati [Dispositivo 1]	Messaggi arrivati [Dispositivo 2]
	-87	0,51		
	-87	0,53		
	-87	0,54		
8	-83	0,55	8	13
	-83	0,56		
	-83	0,57		
	-83	0,58		
9	-83	0,60	6	8
	-83	0,61		
	-83	0,63		
10	-83	0,64	13	13
	-83	0,65		
	-83	0,66		
	-83	0,66		
11	-83	0,67	10	10
	-91	0,68		
	-91	0,69		
12	-91	0,70	9	9
13	-92	0,72	13	8
	-92	0,74		
	-92	0,74		
14	-92	0,76	13	13
	-92	0,77		
15	-92	0,79	13	12
	-92	0,79		
	-92	0,79		
16	-92	0,79	12	13
	-92	0,82		
	-92	0,83		
	-92	0,84		
17	-89	0,84	13	10
	-89	0,84		
	-89	0,84		
	-90	0,87		
18	-91	0,89	11	11

Minuti	rsi[dBm]	Distanza tra i dispositivi	Messaggi arrivati [Dispositivo 1]	Messaggi arrivati [Dispositivo 2]
	-91	0,89		
	-91	0,90		
19	-89	0,91	7	7
	-89	0,92		
20	-95	0,97	7	7
21	-92	0,98	8	11
	-92	0,99		
22	-92	1,06	11	2
23	-92	1,14	11	3
	-90	1,19		
24	-90	1,20	8	3
	-90	1,23		
	-90	1,25		
	-92	1,27		
27	-93	1,50	4	2
29	-94	1,67	1	4
	-94	1,72		
30	-100	1,75	5	4
	-100	1,79		
31	-98	1,89	4	2
32	-98	1,96	6	1
34	-98	2,13	9	7
	-103	2,15		
	-103	2,21		
35	-103	2,23	2	2
37	-111	2,43	7	3
38	-114	2,53	6	1
39	-112	2,67	6	3
40	-112	2,69	3	4
	-112	2,75		
41	-112	2,77	4	7
	-115	2,83		
45	-115	3,15	3	2
46	-115	3,28	2	5
47	-111	3,43	4	1

Minuti	rss[dBm]	Distanza tra i dispositivi	Messaggi arrivati [Dispositivo 1]	Messaggi arrivati [Dispositivo 2]
49	-116	3,61	7	3
	-116	3,64		
50	-116	3,66	4	3
52	-116	3,80	3	1
53	-116	3,78	3	6
	-114	3,83		
	-114	3,86		
59	-115	4,51	7	4
60	-115	4,59	5	4
61	-115	4,61	3	3
	-115	4,63		
62	-115	4,71	6	10
	-114	4,76		
	-115	4,78		
63	-115	4,88	8	6
	-115	4,91		
64	-114	4,95	3	8
	-114	4,98		
65	-114	5,04	10	3

Tabella 5.8: Tabella con tutti i valori significativi rilevati durante un test con un dispositivo statico su terra ferma, e un dispositivo in movimento su un'imbarcazione

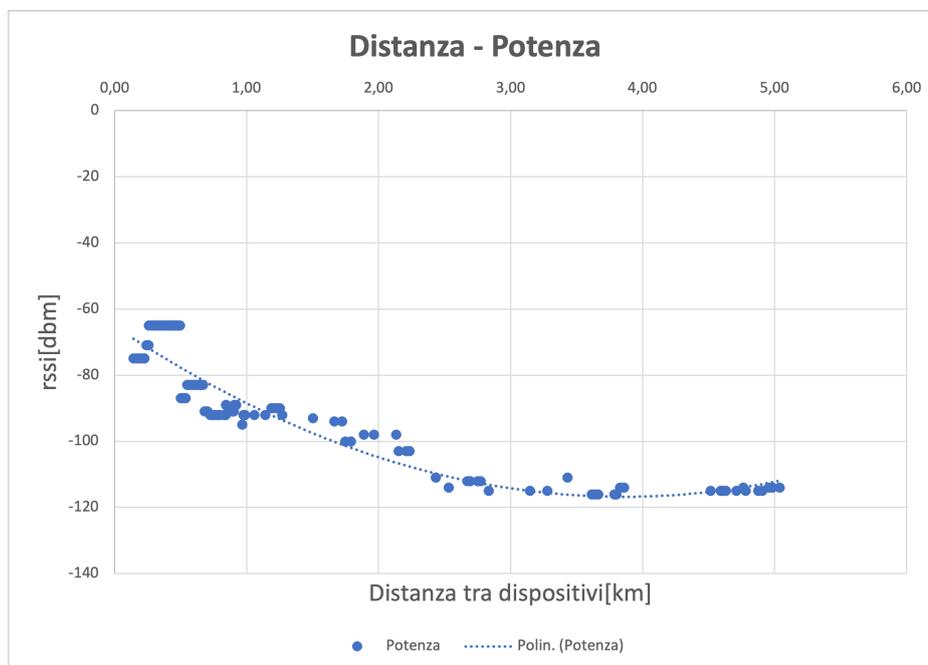


Figura 5.7: grafico che mette in relazione la distanza e la potenza usando i dati presi in un lago

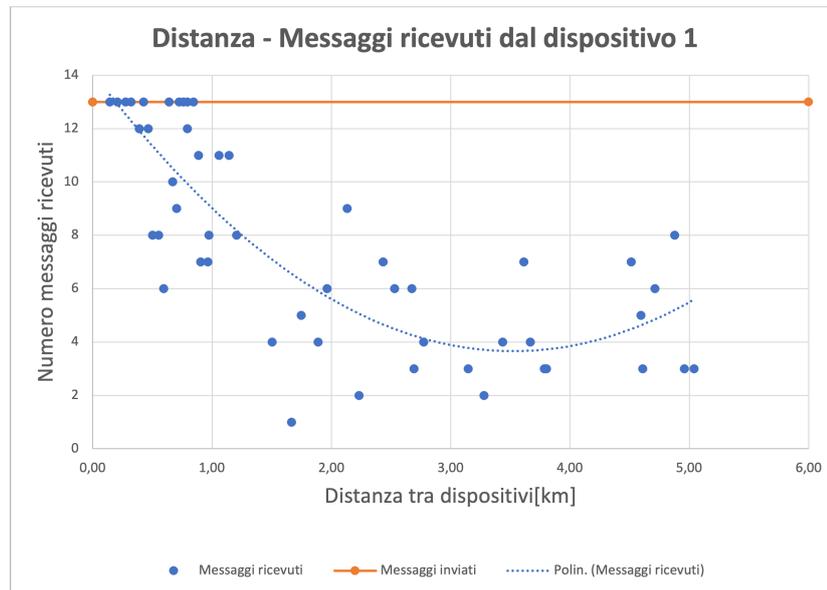


Figura 5.8: grafico che mette in relazione la distanza e la potenza usando i dati presi in un lago

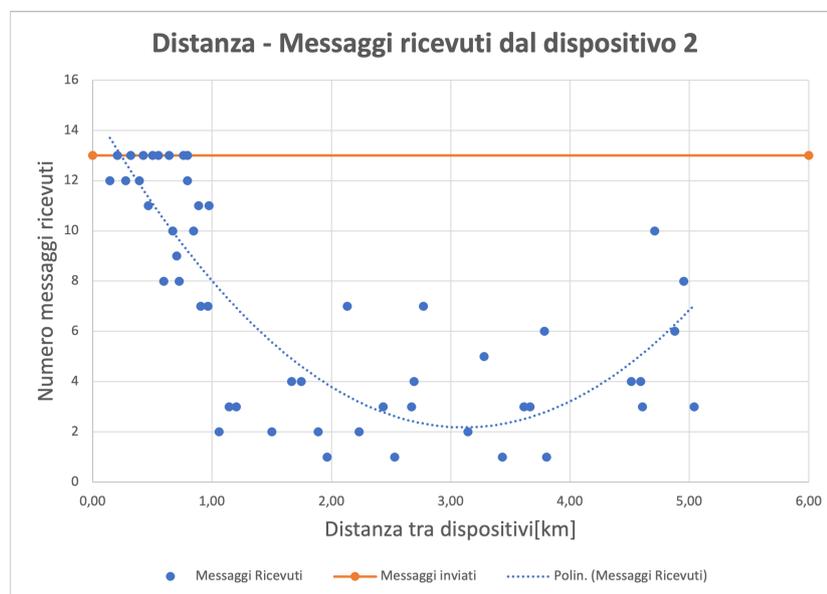


Figura 5.9: grafico che mette in relazione la distanza e i messaggi ricevuti dal dispositivo 2 usando i dati presi in un lago

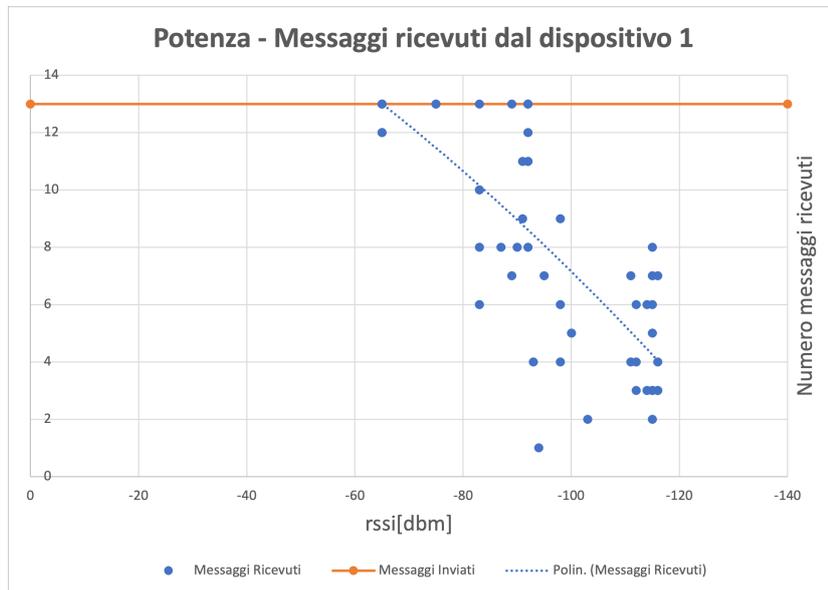


Figura 5.10: grafico che mette in relazione la potenza del segnale e i messaggi ricevuti dal dispositivo 1 usando i dati presi in un lago

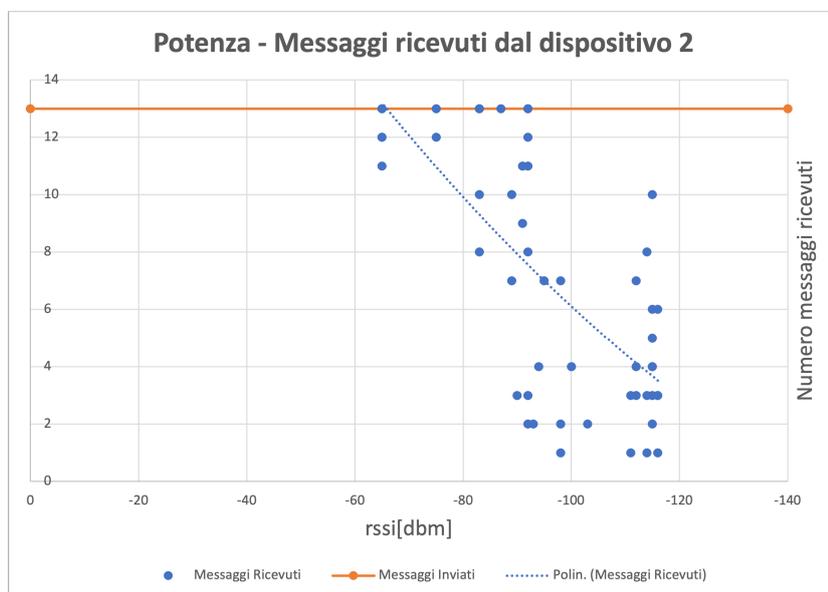


Figura 5.11: grafico che mette in relazione la potenza del segnale e i messaggi ricevuti dal dispositivo 2 usando i dati presi in un lago

Dal grafico 5.7 si può notare che la potenza minima del segnale viene trovata a circa 3.75km, per poi aumentare di nuovo fino alla disconnessione. Probabilmente questo fenomeno è dovuto alla riflessione delle onde sull'acqua. Le onde riflesse vanno in contro-fase con quelle che arrivano in maniera diretta, annullandole. Considerando le condizioni specifiche in cui si è effettuato il test, questo problema trova il suo picco a 3.75 km di distanza tra le antenne. Nei grafico 5.8 e 5.9 si può notare come questo fenomeno sia molto influente sul' integrità dei messaggi trasmessi. Mettendo a confronto, invece, la potenza del segnale con i messaggi ricevuti 5.10, 5.11 si riesce a trovare una proporzionalità nei dati acquisiti.

### 5.3 Avvicinamento

Nei grafici visibili nelle figure 5.12 e 5.13, si può notare il buco di informazioni dovuto dal crash temporaneo dell'applicazione usata per catturare i dati, malgrado ciò, confrontando i grafici con quelli dell'avvicinamento, si evidenzia un andamento simile. Il numero di messaggi inviati è variato da 13 a 9 in quanto, con l'applicazione bloccata, alcuni dati non sono stati più inviati.

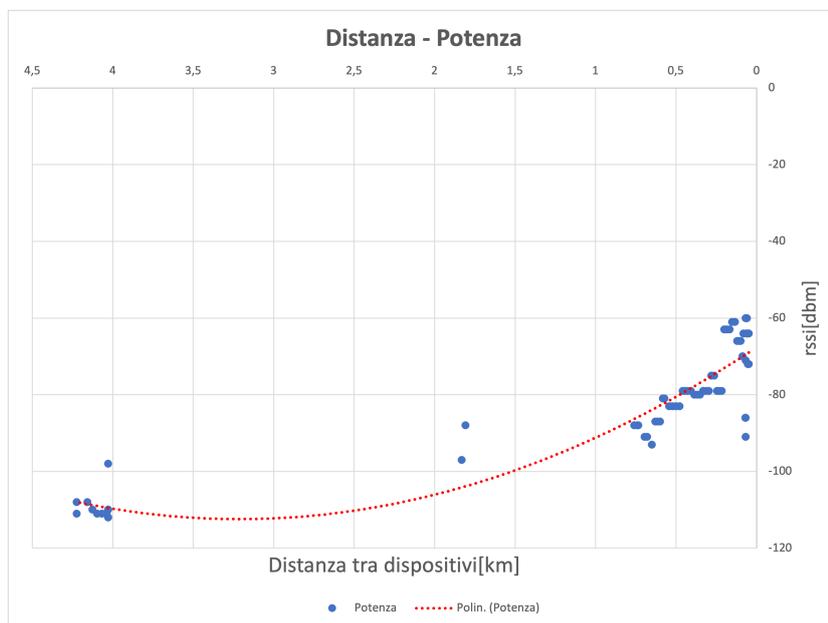


Figura 5.12: grafico che mette in relazione la potenza del segnale e la distanza tra i dispositivi usando i dati presi in un lago durante la fase di avvicinamento



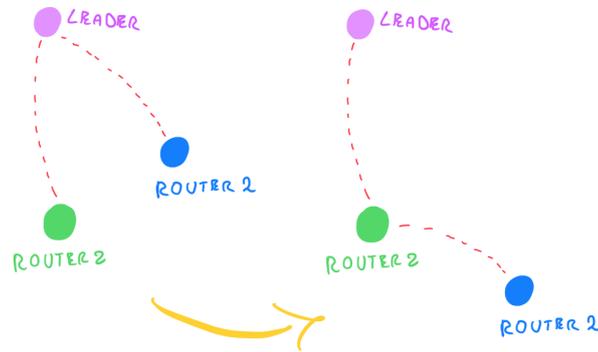


Figura 5.14: Disposizione spaziale dei nodi nel tempo

In particolare, nella seguente tabella si possono leggere la qualità del segnale tra nodi, all'inizio e alla fine, rispettivamente  $t_0$  e  $t_1$ .

rssi[dBm] tra →	Leader	Leader	Router1
	Router1	Router2	Router 2
Posizione Iniziale( $t_0$ )	-82	-75	-65
Posizione Finale( $t_1$ )	-82	-94	-68

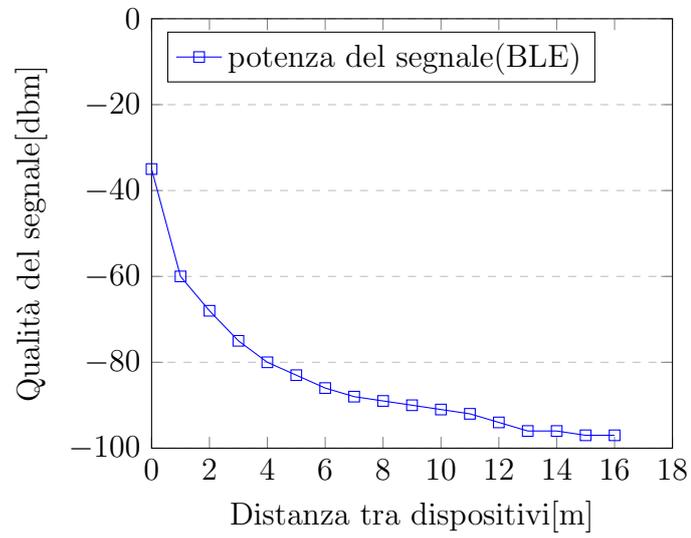
Tabella 5.9: Tabella con valori che descrivono la qualità della connessione tra nodi(rssi)

- Test riguardante la disconnessione del leader, in questo caso dopo 2 minuti i router che hanno perso il leader si riavviano grazie al watchdog, riavviando quindi anche la rete, e dunque selezionando un nuovo leader

## 5.4 BLE

È stata anche implementata un' interfaccia bluetooth che prende tutti i messaggi in ricezione da LoRa e li spedisce al dispositivo connesso al bluetooth e viceversa, quindi tutto quello che sarà inviato tramite bluetooth al nodo sarà inoltrato nella rete LoRa mesh.

Potenza del segnale tra FyPy e Raspberry B3+ dentro abitazione



# Capitolo 6

## Documentazione

Il codice del progetto e la relativa documentazione sono disponibili ai seguenti link

- Codice [https://github.com/Ro0t-set/fipy\\_lora\\_Ble\\_interface](https://github.com/Ro0t-set/fipy_lora_Ble_interface)
- Documentazione(ingelse) [https://github.com/Ro0t-set/fipy\\_lora\\_Ble\\_interface/wiki](https://github.com/Ro0t-set/fipy_lora_Ble_interface/wiki)

È stata prodotta una guida dettagliata per l'esecuzione del codice fornito, e una guida all'utilizzo dei moduli. È possibile trovare un esempio di implementazione nel file `main.py`

### 6.1 PyMeshInterface

```
1 def from_data(rcv_ip, rcv_port, rcv_data):
2     data = str(rcv_data, 'utf-8')
3     print("Lora: ", data, " from ", rcv_ip)
4
5 mesh = PyMeshInterface(from_data)
6
7 mesh.send_broadcast_message(text_message)
```

Questa porzione di codice serve per gestire i messaggi in entrata e in uscita dalla rete LoRa mesh. Per dichiarare l'oggetto *PyMeshInterface* è necessario passargli una funzione di callback che verrà eseguita ogni volta che arriverà un messaggio da un nodo. Alla funzione di callback vengono passati tre

parametri, rispettivamente: l'ip\_v6 del mittente del messaggio, la porta nella quale il messaggio è stato ricevuto ed il contenuto del messaggio.

## 6.2 BleInterface

```
1 BleInterface(ble_name, message_cb)
```

*message\_cb* è una funzione di callback che viene chiamata quando viene ricevuto un messaggio

Una volta dichiarato l'oggetto *BleInterface* viene creato un ble server in background con il nome passato alla variabile *ble\_name*  
esempio:

```
1 ble = bleConnection.BleInterface("FiPy_Ble", lambda mess: print("message  
form ble: ", mess))
```

Codice per inviare un messaggio al client connesso:

```
1 BleInterface.write(text_message)
```

## 6.3 Implementazione proposta

Nelle seguenti righe di codice si può vedere come vengono utilizzate le due classi sopra spiegate, e come viene gestito il watch dog che monitora lo stato della rete, e che in caso di problemi, riavvia la board. A linea 29 viene creato l'oggetto mesh, passando a costruttore la funzione di call \_back che cattura i messaggi in arrivo. A riga 31 viene invece creato l'oggetto ble passandogli come argomenti al costruttore, il nome che il dispositivo dovrà avere e la funzione di call\_back all'arrivo dei messaggi, in questo caso, ogni messaggio in arrivo viene inoltrato alla mesh. Infine, c'è un timer che scatta ogni venti secondi, inviando nella mesh in broadcast vari dati su sensori e informazioni di rete.

```

1 from loRaMashInterface.LoRaMeshInterface import PyMeshInterface
2 import pycom
3 from sensors import sensors
4 import time
5 from ble import bleInteface
6 from machine import Timer
7 from machine import WDT
8 import ubinascii
9
10
11 wdt = WDT(timeout=120000) # enable it with a timeout of 120 seconds
12
13 def json_from_data(rcv_ip, rcv_port, rcv_data):
14     data = str(rcv_data, 'utf-8')
15     print("Lora: ", data, " from ", rcv_ip)
16     ble.write(rcv_ip + "=" + data)
17     # user code to be inserted, to send packet to the designated Mesh-
18     # external interface
19     for _ in range(3):
20         pycom.rgbled(0x888888)
21         time.sleep(.2)
22         pycom.rgbled(0)
23         time.sleep(.1)
24
25     if mesh.pymesh.is_connected():
26         global wdt
27         wdt.feed()
28
29 """initialize mesh net"""
30 mesh = PyMeshInterface(json_from_data)
31 """initialize ble service"""
32 ble = bleInteface.BleInterface("FiPy",
33                                 lambda x: mesh.send_broadcast_message(str(x
34                                     [1][2:len(x[1])+2])))
35
36 def lora_send_data(allarm):
37     global mesh
38     mesh.send_broadcast_message(str({"node_info": str(mesh.pymesh.mesh.
39         get_mesh_pairs())}))
40     mesh.send_broadcast_message(str(sensors.get_temperature()))
41     mesh.send_broadcast_message(str(sensors.get_battery_percentage()))
42
43 update_alarm = Timer.Alarm(lora_send_data, 20.0, periodic=True)

```



# Capitolo 7

## LoRa Ble Data Service

È stata sviluppata un'applicazione mobile per IOS in grado di interfacciarsi facilmente con i dispositivi LoRa e visualizzarne le informazioni. Inoltre l'applicazione è in grado di esportare i dati creati in modo che siano leggibili dai vari software di fogli di calcolo in maniera tale da poter effettuare facilmente l'analisi dati. Il codice dell'applicazione è stato sviluppato nativamente tramite swiftUI e può essere reperito al seguente link GitHub: BLE Data Service,

[https://github.com/Ro0t-set/LoRa\\_BLE\\_Data\\_Service\\_IOS](https://github.com/Ro0t-set/LoRa_BLE_Data_Service_IOS)

### Funzionalità

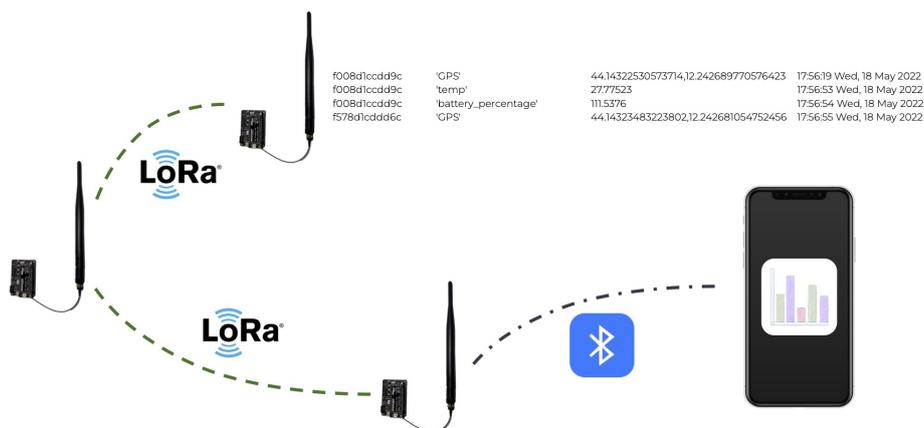


Figura 7.1: Integrazione tra dispositivi LoRa Mesh e l'applicazione

## 7.1 Home

Nella pagina iniziale si può decidere se connettersi ad un dispositivo FiPy o caricare direttamente dei file di log esportati precedentemente.

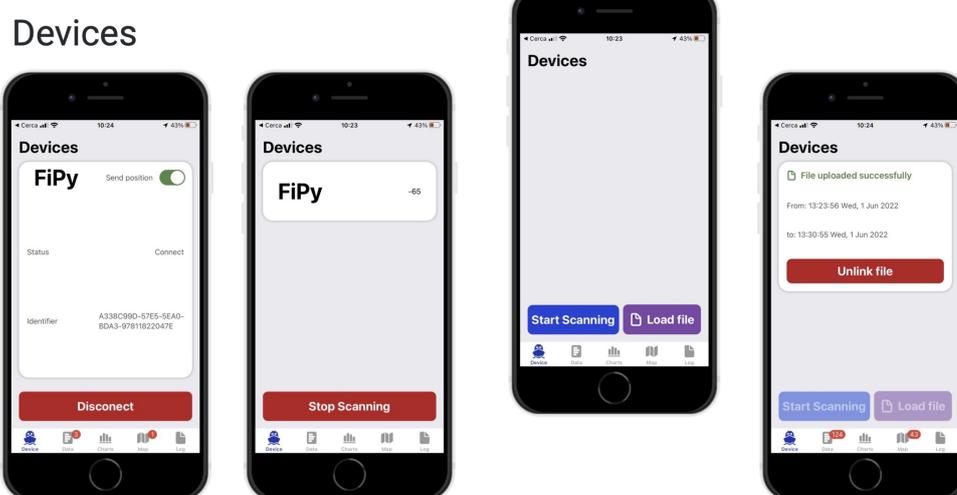


Figura 7.2: Pagina iniziale dell'applicazione

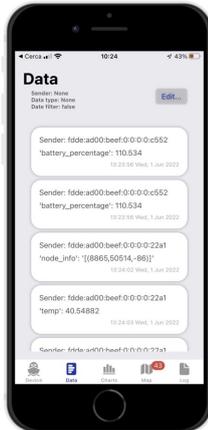
## 7.2 Visualizzazione dati

Tutti i dati possono essere visualizzati, filtrati per:

- Mittente
- Tipo di dato
- Range di tempo

Se il tipo di dato filtrato è numerico, verranno visualizzati dei grafici relativi a quel dato

## Data



## Log

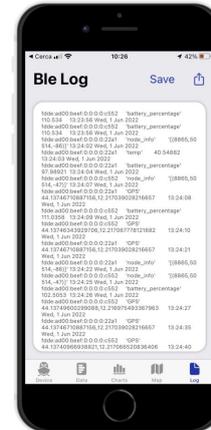
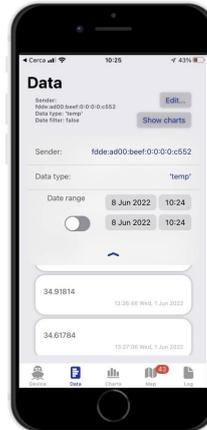


Figura 7.3: Visualizzazione dati LoRa nell'applicazione

## 7.3 Dati si mappa

Se vengono inviati dati relativi al GPS, questi ultimi saranno visualizzati su una mappa. Cliccando sulla posizione desiderata, si avranno delle informazioni relative a quella posizione.

## Map

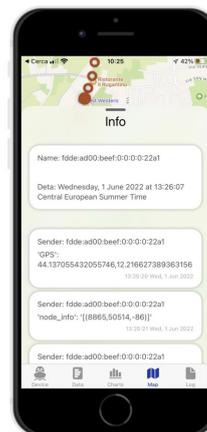
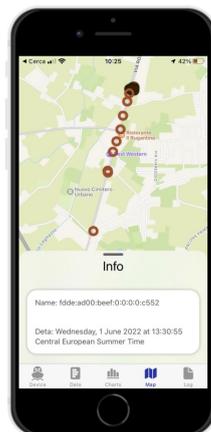


Figura 7.4: Visualizzazione dei dati relativi al gps sulla mappa dell'applicazione

## 7.4 Grafici

Per ogni mittente e per ogni dato numerico ricevuto verranno generati dei grafici.

### Charts

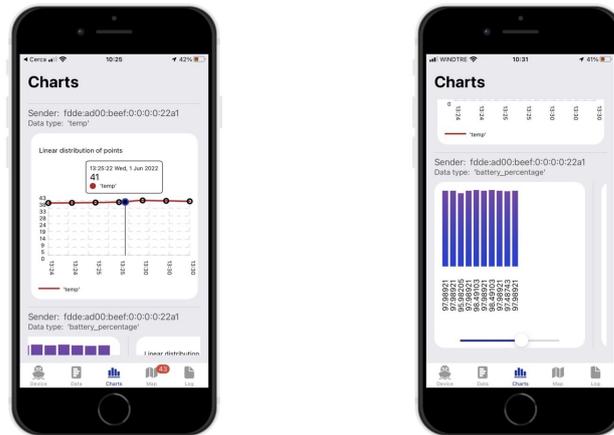


Figura 7.5: Schermata dei grafici nell'applicazione

# Conclusioni

In questo progetto si è voluto testare un nuovo approccio alle comunicazioni tra imbarcazioni, al fine di trovare un'alternativa più libera, flessibile ed economica rispetto alle tecnologie esistenti. Dopo i vari test, si è creata una rete mesh stabile in cui ogni nodo riesce a comunicare in mare con un raggio di 5km. La rete, essendo priva di standardizzazione, permette di comunicare qualunque tipo di dato, essendo aperta all'integrazione con tecnologie come AIS1.1.2 e mnea01861.1.1. al fine di facilitare l'esecuzione dei test, è stata creata l'applicazione descritta nel capitolo 7 che va a visualizzare i dati della rete e a introdurre in quest'ultima i dati relativi al gps del telefono. Tutto ciò viene gestito tramite bluetooth creando così un' interfaccia tra LoRa mesh e bluetooth, utile all'integrazione di qualunque dispositivo in grado di fornire dei dati con la rete LoRa. Questa tecnologia ha già preso piede nel mondo dell'IoT, mostrando le sue potenzialità, infatti il consumo energetico ridotto e il buon range di distanza raggiungibile permettono di utilizzarla in ambienti con scarsa copertura di rete e privi di corrente elettrica. Grazie alla natura stessa di una rete mesh, con l'aumentare del numero delle imbarcazioni dotate di questa tecnologia aumenterebbe anche la copertura e la fruibilità del servizio. Grazie ad un adeguato numero di boe e imbarcazioni, sarebbe possibile raccogliere un'enorme mole di dati utili alla creazione di modelli e allo studio dei mari e del moto ondoso, oltre che alla salvaguardia e alla sicurezza delle imbarcazioni.



# Bibliografia

- [1] ERIC B. **The authors reserve the right to change specifications without notice. LoRaWAN™ 1.1 Specification 2 NOTICE OF USE AND DISCLOSURE 5**, 2017.
- [2] ERIC B. **LoRa Documentation Eric B**, 2019. Available from: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/>.
- [3] BASU. **vu2nsb**, 2022. Available from: <https://vu2nsb.com/radio-propagation/radio-propagation-fundamentals/>.
- [4] **STANDARD FOR INTERFACING MARINE ELECTRONIC DEVICES. National Marine Electronics Association NMEA 0183 Standard For Interfacing Marine Electronic Devices COPYRIGHT© NMEA 2002 NMEA 0183-Standard For Interfacing Marine Electronic Devices NMEA 0183 Version**, 2002.
- [5] LUIGI GALLERANI. **barca-digitale-smartboat**, 2022. Available from: <https://www.giornaledellavela.com/2022/05/21/barca-digitale-smartboat/>.
- [6] GOOGLE. **openthread-ipv6**. [Last updated 2022-04-12 UTC.]. Available from: <https://openthread.io/guides/thread-primer/ipv6-addressing>.
- [7] GOOGLE. **openthread-network**. [Last updated 2022-04-12 UTC.]. Available from: <https://openthread.io/guides/thread-primer/network-discovery>.

- 
- [8] GOOGLE. **openthread-nodi**. [Last updated 2022-04-12 UTC]. Available from: <https://openthread.io/guides/thread-primer/node-roles-and-types>.
- [9] GOOGLE. **openthread-selezione-router**. [Last updated 2022-04-12 UTC]. Available from: <https://openthread.io/guides/thread-primer/router-selection>.
- [10] MARC LICHTMAN. **pysdr**, 2022. Available from: [https://pysdr.org/content/multipath\\_fading.html](https://pysdr.org/content/multipath_fading.html).
- [11] STEFANO MIRANDOLA. **madulazione zanichelli**, 2022. Available from: [https://online.scuola.zanichelli.it/mirandola-files/Corso\\_Elettr\\_V02/Capitolo\\_03/Mirandola\\_V2\\_03-1\\_Modulazioni.pdf](https://online.scuola.zanichelli.it/mirandola-files/Corso_Elettr_V02/Capitolo_03/Mirandola_V2_03-1_Modulazioni.pdf).
- [12] LA NAUTICA IN CIFRE — CONFINDUSTRIA NAUTICA. **La-Nautica-in-Cifre-2022aa-Monitor-rev**, 2022. Available from: <https://lanauticaincifre.it/wp-content/uploads/2022/03/La-Nautica-in-Cifre-2022aa-Monitor-rev.pdf>.
- [13] M. ARAGO NILO. **Long Range Communication Technology for Weather Buoy**. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8:4399–4404, 8 2020.
- [14] PYCOM. **Pymesh**, 2022. Available from: <https://docs.pycom.io/firmwareapi/pycom/network/lora/pymesh/>.
- [15] MARC RAYMARINE. **ais650-350**, 2022. Available from: <https://www.raymarine.it/ais/ais650-350/index.html>.
- [16] RESINEXTRAD. **wondering in the marine parks**, 2022. Available from: <https://www.resinextrad.com/it/wondering-in-the-marine-parks/>.

- 
- [17] SEMTECH. **an1200.22, LoRa Modulation Basics**, 2015. Available from: <https://web.archive.org/web/20190718200516/https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>.
- [18] SEMTECH. **SX1272\_DS\_V4**, 2022. Available from: [https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/440000001NCE/v\\_VBhk1Io1Dgxwwn0pcS\\_vTFxPfSEPQbuneK3mWsX1U](https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/440000001NCE/v_VBhk1Io1Dgxwwn0pcS_vTFxPfSEPQbuneK3mWsX1U).
- [19] SEMTECH SITE. **semtech**, 2022. Available from: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf>.
- [20] YACHTD. **mnea0184 multiplexer**, 2022. Available from: [https://www.yachtd.com/static/img/b/multiplexer\\_nmea0183.png](https://www.yachtd.com/static/img/b/multiplexer_nmea0183.png).



# Ringraziamenti

Ringrazio la Prof.ssa Silvia Mirri, per avermi guidato in questa importante fase del mio percorso accademico e il Prof. Roberto Girau, correlatore di tesi, per il supporto costante, le dritte necessarie e la sua complicità nella stesura di ogni capitolo della mia tesi. Ringrazio la mia famiglia, i miei amici, i miei compagni di università e a tutti quelli che hanno incrociato la loro vita con la mia lasciandomi qualcosa di buono. Un abbraccio speciale a tutti gli amici di Perugia e del gruppo Zuccheri Sintattico, in ordine alfabetico: Ale, Alex, Gus, Gigi, Kel, Manu e Ste. Un' importante riconoscimento va a mio zio Emilio, per aver reso possibile il test sul lago Trasimeno grazie alla sua barca a vela. Grazie a tutti per aver reso questo mio traguardo speciale!