



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

Corso di Laurea in Ingegneria elettronica

Dipartimento di (DPIA) Dipartimento Politecnico di Ingegneria e
Architettura

Tesi di Laurea

LORA AND IOT

Relatore:
Prof. Antonio Abramo

Laureando:
Enrico Tolotto

Correlatore:
Prof.

Anno Accademico 2016/2017.

Sommario

La richiesta di device dotati di una connessione wireless è in continuo aumento, seguendo il trend del *Internet delle cose*(IoT). Questa continua crescita ha portato alla creazione di nuove tecnologie, le quali sono in competizione per aggiudicarsi la maggioranza del mercato. In questo campo le cosiddette (LPWAN) *Low Power Wide Area Networks* sono in forte aumento, grazie alla loro connettività a lungo raggio sfruttando bande di frequenza libere. Questa tesi si focalizzerà sulla tecnologia LoRa[™], implementata attraverso l'utilizzo del framework open-source Kura[™] sviluppato da Eurotech[™].

Note

■	Scrivi qualcosa di decente qui	1
■	Completare e riscrivere	6
■	Trovare termine per multipath	7
■	Modificare e riscrivere	7
■	Riscrivere	7
■	Rivedere i vari punti e cambiare il linguaggio	9
■	Aggiungere immagine e finire la spiegazione	9
■	Riguardare ultimo punto della documentazione pagina 14	11
■	Chiedere se il termine protocollo è appropriato	11

Indice

Indice	v
Elenco delle figure	vii
Introduzione	ix
0.1 IoT	1
1 LPWAN e Lora	5
1.1 LPWAN	5
1.2 LoRa	6
1.3 CSS	6
1.4 LoRaWAN	11
1.5 Frequenze	12
1.6 LPWAN	14
1.6.1 NB-IoT e LTE-M	14
1.6.2 Sigfox	15
Bibliografia	17

Elenco delle figure

1	Numero di dispositivi per anno	ix
2	Comparazione tipologia di reti	x
3	Comparazione tipologia di reti	xi
4	Numero di dispositivi per anno	1
5	Numero di dispositivi per anno	2
1.1	Comparazione tra UNB e SSP	6
1.3	Comparazione simbolica dei vari SF	9
1.4	Struttura pacchetto Lora	10
1.5	Pacchetto codificato dal layer fisico	10
1.6	Struttura interna ricevitore SX1301	11
1.7	Struttura rete a stella LPWAN	12
1.8	Stack del protocollo della rete LoRaWAN	13
1.9	Comparazione tipologia di reti	15
1.10	Comparazione tipologia di reti	16

Introduzione

L'Internet delle cose è un termine descrittivo per riassumere una visione di un futuro prossimo nel quale, sempre più dispositivi, riescano ad intercambiare informazione senza l'ausilio umano. "IoT verrà utilizzato" In questa visione di un futuro non troppo lontano, termini quali, intelligent system transport, smart home automation, precision agriculture[2], industrial automation, ecc.

Il mercato di questi *smart devices* è in rapida crescita con una stima di 8,3 miliardi di dispositivi connessi nel anno 2017, e di circa 20 miliardi per l'anno 2020 [1]. Andando ad creare un impatto economico compreso tra i 2.7 e i 14 trilioni di dollari. I mercati principali saranno quelli del health care con un introito compreso tra i 1.1 e i 2.5 trilioni di dollari e il settore industriale con 2.3 a 11.6 trilioni di dollari.

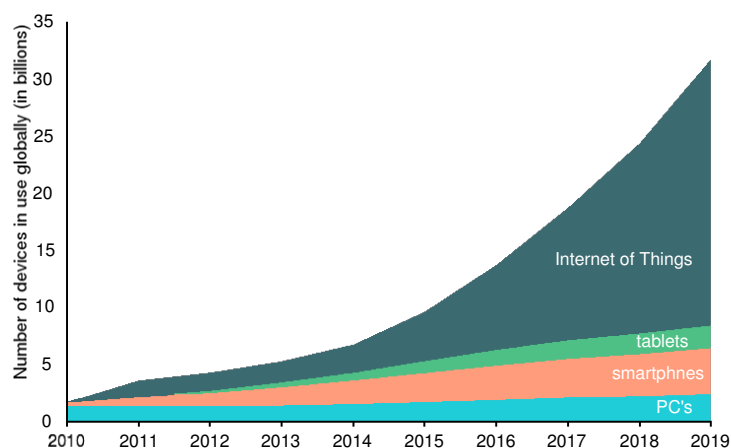


Figura 1: Numero di dispositivi per anno

Questa rapida crescita ha portato alla ricerca e sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche per supportare il carico di dispositivi simultaneamente connessi alla rete, senza avere un degrado evidente delle performance. Per non alterare il *QoS* Quality of Service della rete ed garantire costi non elevati tecnologie come *LPWAN* sono state ideate. I punti chiave per garantire tutto ciò sono

- **Scalabilità:** Dato l'elevato numero di devices connessi, scenari urbani ed industriali, la network tecnologia alla base dovrà essere estremamente adattabile, in maniera dinamica, al carico di dispositivi connessi.
- **Costo unitario:** Il costo del singolo modulo, dovrà essere basso per garantire la più ampia fetta di mercato.
- **Durata della batteria:** La maggior parte dei dispositivi sarà alimentata tramite batteria, e la durata media è stimata di anni.
- **Costo computazionale:** La modulazione alla base di queste nuove tipologie di rete, dovrà essere concepita in modo da non avere un costo computazionale elevato.
- **Distanza:** Un altro punto fondamentale è la possibilità di avere comunicazioni a lunga distanza.

La rete di tipo *LPWAN* è in grado di supportare tutti questi aspetti, le principali tecnologie che già supportano questo tipo di rete son SigFoxTM, LoRaWANTM, NB-IoTTM e WeightlessTM.

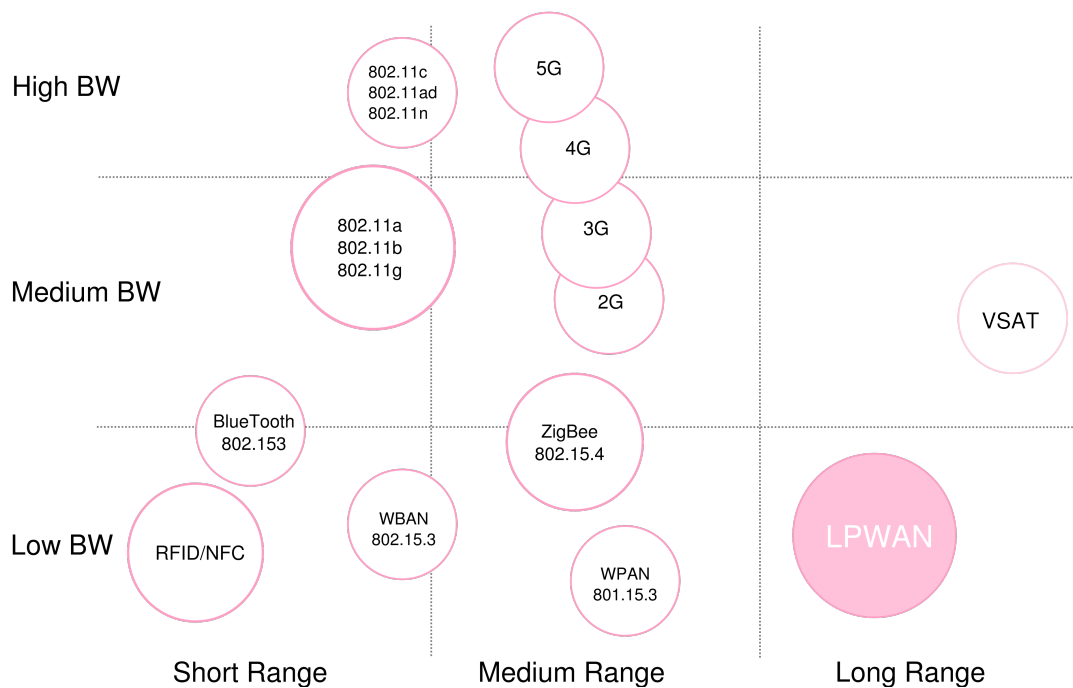


Figura 2: Comparazione tipologia di reti

Con questa tesi si è voluto studiare i casi applicativi della tecnologia LoraTM nel ambito della agricoltura di precisione, utilizzando il framework open-source KuraTM messo

a disposizione da EurotechTM, andando a creare un applicativo OSGI[®] installabile nel framework.



Figura 3: Comparazione tipologia di reti

0.1 IoT

Sempre più spesso si parla di Internet delle cose, o IOT, con questo termine si intende un'evoluzione delle applicazioni legate al settore mobile, al settore della home automation e al settore embedded. In questo scenario ogni oggetto il quale contiene un sensore sarà connesso ad Internet. Avvalendosi di questa connessione, i vari dati raccolti potranno essere inviati nel cloud, dove verranno elaborati e resi disponibili alle varie applicazioni. Per fare in modo che questo update avvenga, è necessario riuscire a creare una rete di devices correlati nelle loro funzionalità, i quali riescano a *parlare un linguaggio comune*. Il punto principale di questo upgrade sta nel riuscire a creare una rete di devices connessi ad Internet. Per supportare e utilizzare una potenza di calcolo maggiore andando a combinare tecniche di data analytics per estrarre le informazioni più significative.

Scrivi qualcosa di decente qui

In questa visione, milioni di devices saranno connessi a Internet e molto presto milioni di milioni di devices.

Il mercato di questi *smart devices* è in rapida crescita con una stima di 8,3 miliardi di dispositivi connessi nel anno 2017, e di circa 20 miliardi per l'anno 2020 [1]. Andando ad creare un impatto economico compreso tra i 2.7 e i 14 trilioni di dollari. I mercati principali saranno quelli del health care con un introito compreso tra i 1.1 e i 2.5 trilioni di dollari e il settore industriale con 2.3 a 11.6 trilioni di dollari.

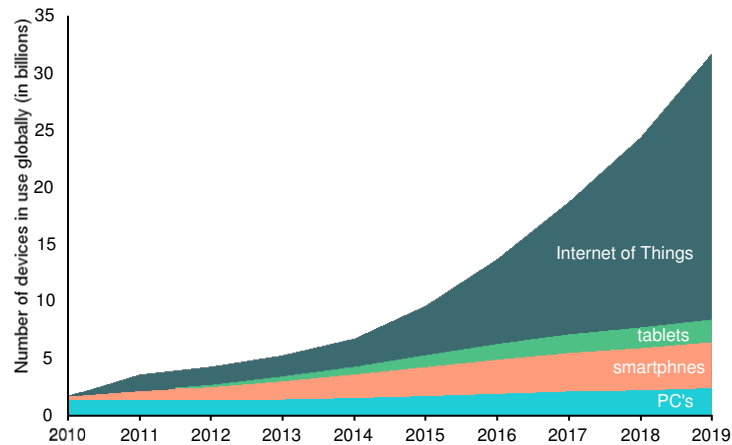


Figura 4: Numero di dispositivi per anno

Questa rapida crescita ha portato alla ricerca e sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche per supportare il carico di dispositivi simultaneamente connessi alla rete, senza avere un degrado evidente delle performance. Per non alterare

il *QoS* Quality of Service della rete, hardware e software dovranno essere rivisti insieme alla topologia di rete utilizzata. I principali punti chiave sono

- **Scalabilità:** Dato l'elevato numero di devices connessi, scenari urbani ed industriali, la network tecnologia alla base dovrà essere estremamente adattabile, in maniera dinamica, al carico di dispositivi connessi.
- **Costo unitario:** Il costo del singolo modulo, dovrà essere basso per garantire la più ampia fetta di mercato.
- **Durata della batteria:** La maggior parte dei dispositivi sarà alimentata tramite batteria, e la durata media è stimata di anni.
- **Costo computazionale:** La modulazione alla base di queste nuove tipologie di rete, dovrà essere concepita in modo da non avere un costo computazionale elevato.
- **Distanza:** Un altro punto fondamentale è la possibilità di avere comunicazioni a lunga distanza.
- **Sicurezza:** Ogni device dovrà essere difficilmente penetrabile da attacchi esterni.
- **Management:** I vari dispositivi dovranno essere facilmente controllabili da remoto.
- **Fail-safe:** Il non funzionamento di devices non dovrà compromettere l'intera infrastruttura a lui connessa.

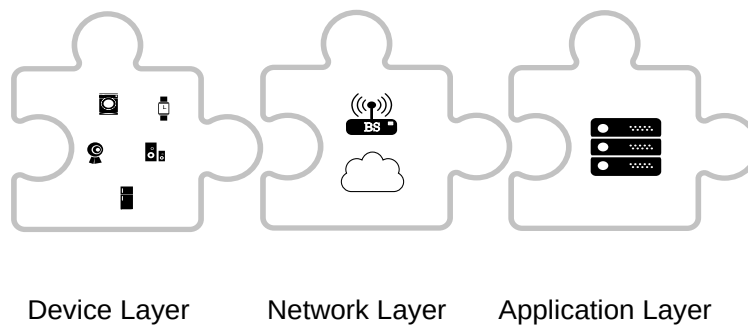


Figura 5: Numero di dispositivi per anno

Vari tipi di architetture di rete sono stati proposti per realizzare questa nuova infrastruttura. Per quanto le varie proposte si basano su tecnologie differenti, è possibile individuare tre layer comuni

- **Device layer** formato da tutti i dispositivi che collezionano dati e sono connessi alla rete.
- **Network layer** La struttura della rete, la quale permette di connettere i vari devices in modo che possano scambiare i dati tra di loro o inviarli ad un data-center.
- **Application layer** il quale interpreta e utilizza i dati ricevuti.

Attualmente sono diversi i concorrenti che provano ad affermarsi nel settore del IoT proponendo soluzioni diverse. Nei seguenti capitoli ci sarà un'analisi generale delle varie topologie proposte, in particolare verrà analizzata la tecnologia Lora ed il protocollo LoraWAN.

Capitolo 1

LPWAN e Lora

Nel seguente capitolo si approfondirà il concetto di reti *LPWAN* e la loro struttura. Si analizzeranno i principali vantaggi che queste reti portano e i vari use-case, focalizzando l'attenzione sulla tecnologia Lora sviluppata da Semtech.

1.1 LPWAN

Tra le varie tipologie di rete emergenti per l'IoT, LPWAN sta riscuotendo sempre più interesse. Questo tipo di reti si basano su una topologia a stella, la quale permette di avere un elevato numero di devices connessi ad una sola stazione base. Ideate per comunicazioni a lungo raggio, risultano ideali per i vari *use-case* del internet of things quali smart-city, agricoltura, assistenza sanitaria ecc... I principali concorrenti che implementano queste tecnologie sono NWave, NB-IoT, SigfoxTM e SemtechTM possessore di LoraTM. Tra i principali competitors, Sigfox e Lora sono le tecnologie maggiormente utilizzate. L'implementazione proposta da Sigfox utilizza un tipo di comunicazione basata sulle frequenze ISM e modulazione Ultra Narrow Band. Questa tecnologia è capace di inviare messaggi con payload lungo 12 *byte* in 6 secondi usando una frequenza di 100[Hz]. Per via della modulazione scelta e le varie regolazioni delle frequenze ISM, utilizzando la tecnologia Sigfox si ha un numero limitato di 140 messaggi per giorno. Al contrario la tecnologia Lora, implementa una modulazione basata su uno spettro diffuso il quale permette una maggiore ricezione andando ad influire sul data-rate possibile

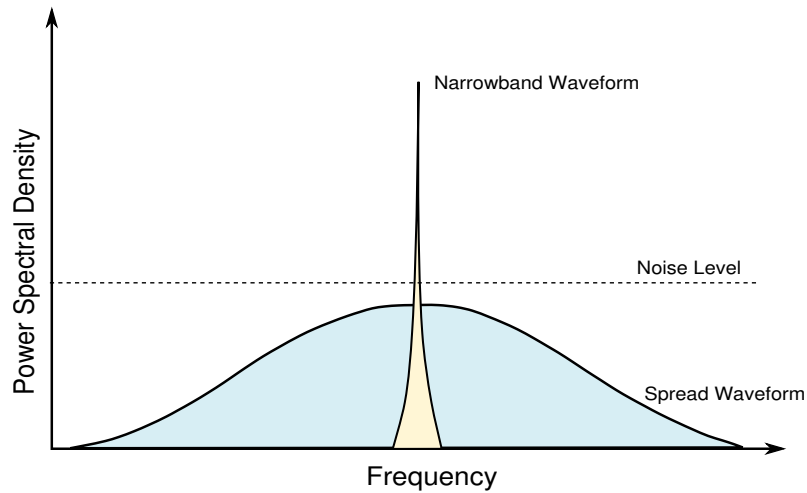


Figura 1.1: Comparazione tra UNB e SSP

1.2 LoRa

LoRa è una tecnologia di modulazione wireless semi-proprietaria sviluppata da Semtech. *LoRa* è composta da un layer fisico ,proprietario, che prende il nome di *LoRa*[3] , e una parte libera chiamata LoRaWAN[4], la quale definisce un protocollo di comunicazione, il quale usa LoRa come layer fisico. I punti chiave di questa tecnologia, sono il grande raggio di copertura e il basso consumo energetico per effettuare uno scambio dati. Per le comunicazioni , vengono utilizzata la banda ISM, grazie alle quale è possibile costruire una rete ,che implementa questa tecnologia, senza possedere alcuna licenza.

Completare e riscrivere

1.3 CSS

Alla base del layer fisico troviamo la modulazione Chirp Spread Spectrum (CSS). Questo tipo di modulazione, ottenuta facendo variare in modo lineare, la frequenza di un segnale sinusoidale di durata finita, chiamato chirp. In questo modo è possibile distribuire l'informazione su di un spettro maggiore rispetto a quello normalmente utilizzato. In questo modo è possibile ottenere numerosi vantaggi quali

- Uno spettro idealmente rettangolare, il quale utilizza tutta la capacità del canale e fornisce un'ottima densità spettrale di potenza rispetto agli altri tipi di trasmissione.

- **Segnali di tipo Chirp** possono essere sovrapposti in modo tale da poter variare il data-rate e l'energia per bit in modo adattativo per aumentare l'efficienza complessiva.
- **Hanno guadagno programmabile**, il quale permette di raggiungere distanze considerevoli mantenendo un buon SNR .
- **Ottima risoluzione nel asse del tempo**, quindi ottimi per coprire lunghe distanze.
- **Immuni al effetto Doppler**
- **Immuni alle degenerazioni per effetto di multipath**

Trovare termine per multipath

Un segnale di tipo *Chirp* assume valori compresi nella banda di frequenza $B = [f_0, f_1]$, il suo andamento è di tipo monotono , crescente o decrescente compreso tra le due frequenze f_0 e f_1 . Quindi possiamo parlare di *Up-chirp* o di *down-chirp*.

Uno degli aspetti principali del layer fisico, è la possibilità di adattare il numero di bit codificati in un simbolo in base alle varie esigenze. Questo parametro che prende il nome di *Spread Factor*, permette a parità di potenza impiegata nella trasmissione, di ottenere distanze maggiori andando ad aumentare il tempo totale di trasmissione secondo la seguente formula: In questo modo è possibile, inviare segnali a distanze maggiori, utilizzando la stessa potenza trasmissiva.

Modificare e riscrivere

Questa possibilità di adattamento permette a parità di potenza di riuscire a raggiungere distanze maggiori andando a variare, quello che nella documentazione ufficiale è chiamato *Spread Factor*. Tutto ciò significa che (SF) rappresenta 2^{SF} bits in un simbolo. Un differente SF implica anche un differente tempo di comunicazione secondo la formula

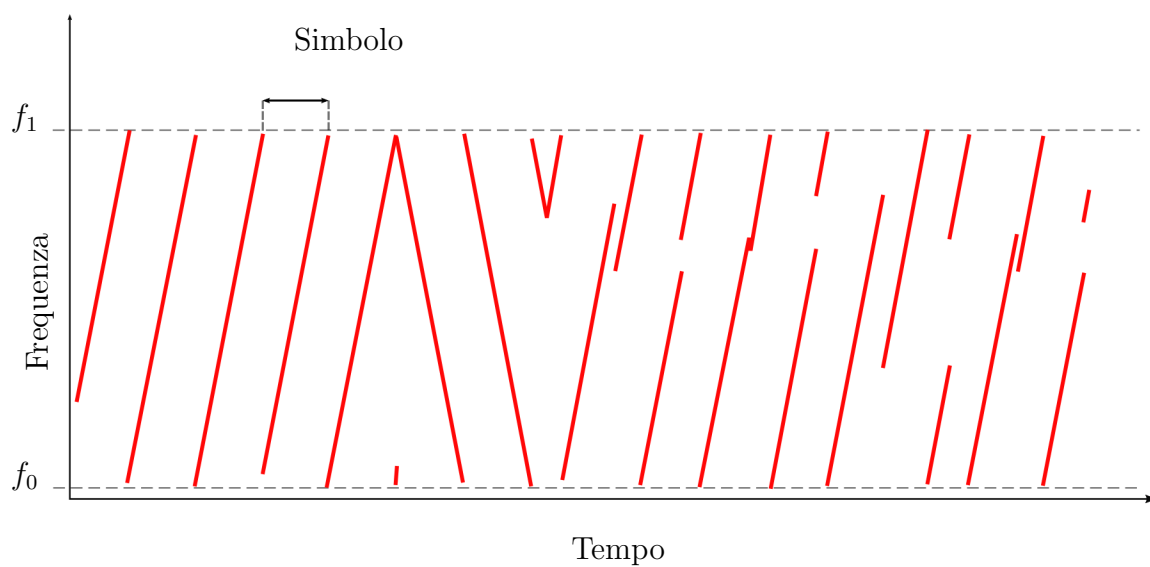
Riscrivere

$$T_s = \frac{2^{\text{SF}}}{B}. \quad (1.1)$$

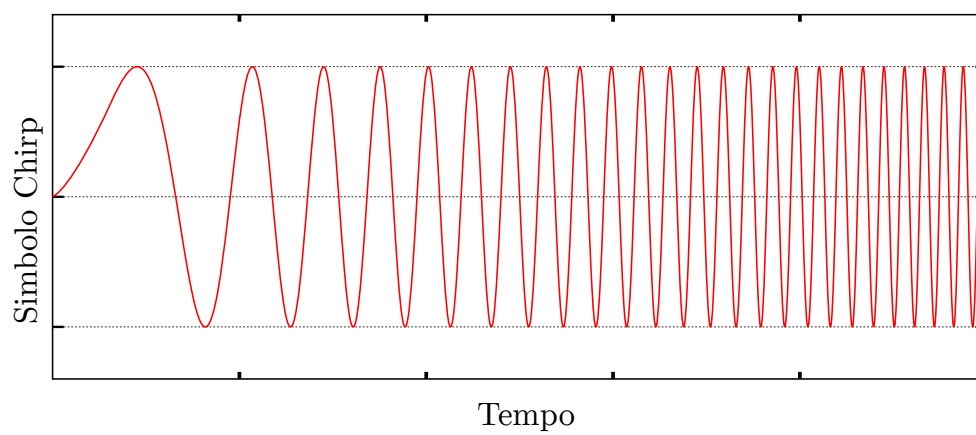
Dalla quale si evince che andando ad aumentare lo spread factor di una unità, mantenendo una lunghezza di banda fissa B , otteniamo un raddoppio nel tempo di trasmissione. Il fatto di avere messaggi più lunghi, conferisce un robustezza superiore alle interferenze e al rumore. In discapito a tutto ciò, il fatto di dover codificare il messaggio con un maggiore numero di simboli, aumenta la possibilità di errore alla ricezione.

Questo nuovo modo di trasmettere i vari dati porta con se molti vantaggi.

- La modulazione Lora è semplice da implementare nei dispositivi, quindi i moduli radio al loro interno saranno economici.



(a) Segnale Chirp nel dominio della frequenza



(b) Simbolo codificato col metodo Chirp nel dominio del tempo

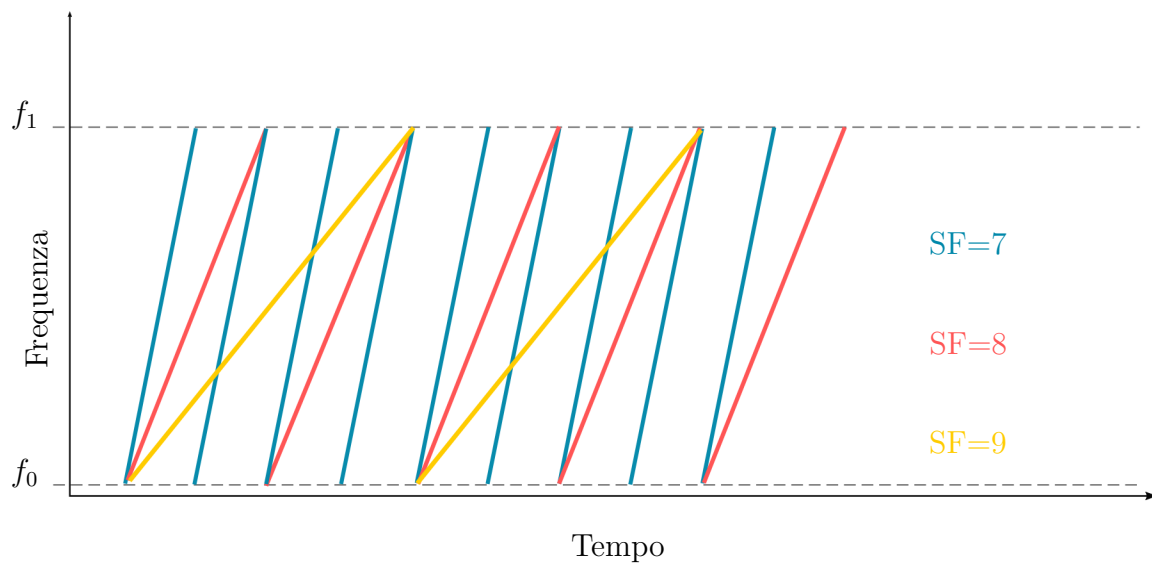


Figura 1.3: Comparazione simbolica dei vari SF

- Resistente alle interferenze in banda e fuori banda.
- Resistente all'effetto Doppler, in questo modo è possibile utilizzare cristalli non molto accurati all'interno dei devices, in modo tale da abbattere i costi di produzione.
- Il modulo di ricezione è altrettanto semplice da costruire, quindi non molto costoso.

Analizzando lo spettrogramma di una comunicazione Lora è possibile distinguere in modo semplice le varie parti che compongono il pacchetto trasmesso.

Osservando l'immagine precedente è facile notare come è strutturato un pacchetto. La prima parte della trasmissione, nonché il preambolo stesso è codificato con una serie di *up-chirp*. In questo modo il gateway riesce a sintonizzarsi sulla stessa frequenza del dispositivo trasmittente. Successivamente vengono inviati una serie di *down-chirp* i quali rappresentano l'header codificato dal layer fisico, dove sono presenti dei bit di controllo e correzione degli errori. L'ultima parte rappresenta il payload codificato dal PHY, in questa parte, formata solo da *up-chirp* sono presenti dei salti, i quali sono un chiaro segno della presenza di dati codificati.

Rivedere i vari punti e cambiare il linguaggio

Aggiungere immagine e finire la spiegazione

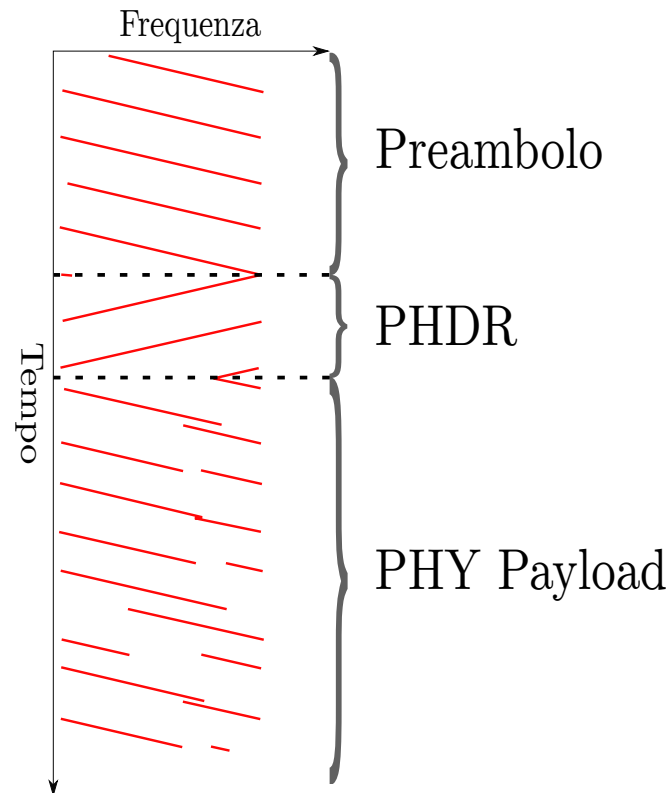


Figura 1.4: Struttura pacchetto Lora

Radio PHY layer :



Figura 1.5: Pacchetto codificato dal layer fisico

Per quanto riguarda la struttura interna dei moduli radio, non si hanno molte informazioni dato che la tecnologia è proprietaria di Semtech. Nella documentazione ufficiale è presente una rappresentazione grafica dei vari blocchi presenti al interno dei moduli radio.

Dalla figura 1.6 è evidendte che il gateway rimane in ascolto su 8 frequenze diverse, le quali permettono di coprire tutti i vari SF. Tutto ciò è possibili anche grazie al fatto che i vari SF sono quasi ortogonali fra di loro, perciò il ricevitore è in grado di ricevere pacchetti da SF diversi contemporaneamente. Questo tipo di ricevitore può demodulare fino ad un massimo di 8 pacchetti contemporaneamente. Inoltre questa topologia permette di avere vari vantaggi

- I vari nodi della rete, possono cambiare frequenza in ogni trasmissione in modo casuale, andando a migliorare di molto la robustezza del sistema

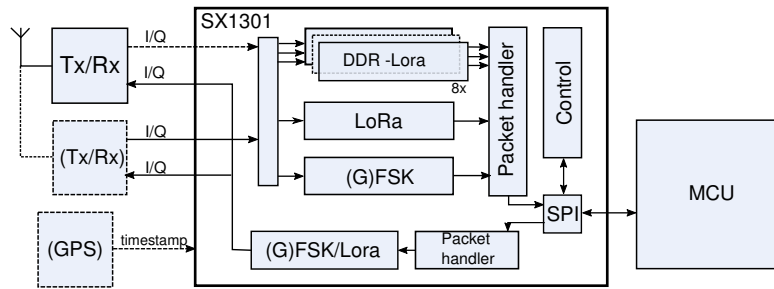


Figura 1.6: Struttura interna ricevitore SX1301

alle varie interferenze.

- Non è necessario avere tabelle contenenti informazioni riguardanti il data-rate dei vari nodi. Ogni data-rate viene demodulato contemporaneamente.
- È possibile utilizzare più antenne nel gateway per realizzare il cosiddetto true antenna diversity, per aumentare la robustezza al multi-path

Riguardare ultimo punto della documentazione pagina 14

1.4 LoRaWAN

Chiedere se il termine protocollo è appropriato

La parte non proprietaria del protocollo è chiamata *LoRaWAN*, in essa viene descritta la topologia di rete, la struttura dei pacchetti e le varie classi di device possibili.

La topologia di rete utilizzata, è una topologia a stella, nella quale molti dispositivi sono connessi e comunicano con uno o più base station. Le BS non sono altro che dei ponti per poter trasmettere i messaggi ricevuti dai vari devices al Network Server, tramite una connessione ethernet, 3G o 2G. Per come è strutturata la rete, un messaggio inviato da un singolo device, può essere ricevuto e inoltrato da più BS al Network Server.

Il NS ha il compito di interpretare e scartare i vari messaggi duplicati che arrivano, selezionare la BS più adatta per inviare il messaggio di downlink creando un database di tutti i vari devices presenti nella rete. Nella figura 1.8 è rappresentato lo stack del protocollo degli end-devices, gateway e network-server.

Esistono tre classi di devices, le quali specificano i vari use-case per possibili.

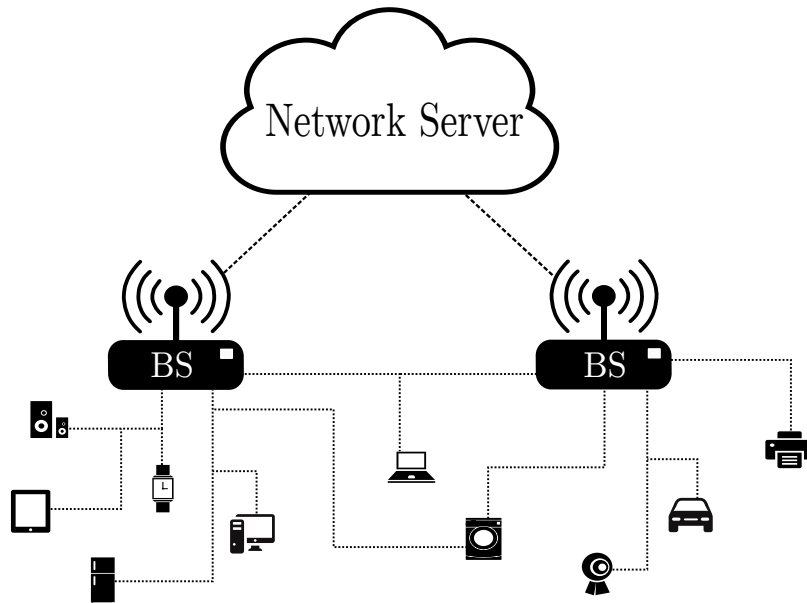


Figura 1.7: Struttura rete a stella LPWAN

- **Class A** è la modalità di funzionamento predefinita. In questa modalità il device si occupa solo di trasmettere i vari messaggi in maniera completamente asincrona. Eseguita la trasmissione, due finestre di ascolto vengono aperte nel end-device. La prima finestra rimane in ascolto nella stessa frequenza in cui il dato è stato comunicato, mentre la seconda rimane in ascolto su una frequenza nota a priori e comunicata tramite il MAC.
- **Class B** sono devices i quali sono sincronizzati con il NS tramite beacon packets. In questo modo hanno la possibilità di ricevere dati in un determinata finestra di tempo. In questa classe rientrano interruttori , attuatori ecc..
- **Class C** è riservata ai devices che hanno la possibilità di essere alimentati direttamente dalla rete elettrica, quindi possono mantenere il ricevitore costantemente in ascolto.

1.5 Frequenze

A seconda della regione in cui operano i devices, lo standard LoRaWAN definisce quali frequenze vengono occupate in base alle regolamentazione vigente in Europa Cina e Stati Uniti. Per ognuna di queste regioni, vengono definite la

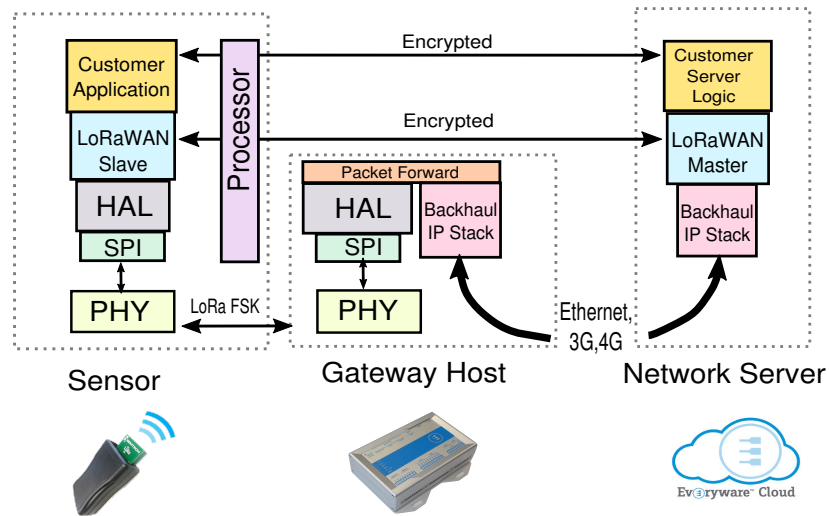


Figura 1.8: Stack del protocollo della rete LoRaWAN

struttura del payload, la frequenza, lo spreading factor, e la massima lunghezza possibile del payload. Inoltre tutte le frequenze sono comprese nelle bande

Stato	Frequenza [MHz]
Europa	868-870
US	902-928
China	779-787

Tabella 1.1: Bande di frequenza per le varie regioni

ISM, e non sono particolarmente elevate, rendendole preferibili per le lunghe distanze rispetto a frequenze quali 2.4 [GHz] e 5[GHz]

1.6 LPWAN

Per riuscire a gestire in maniera adeguata il sempre maggior numero di device connessi, e le diverse problematiche che essi comportano, è necessario andare a cambiare le topologie di rete per fare in modo che rispecchino i punti necessari per garantire il corretto funzionamento. Finora le principali tecnologie utilizzate erano la rete cellulare 2G, 3G, 4G, la quali hanno un'ampia copertura su tutto il territorio, ma devices che alimentati tramite batteria hanno durate massime di mesi. Oltre alla rete cellulare abbiamo gli standard IEEE 802.11, il comunemente chiamato wifi, il quale garantisce una copertura di poche decine di metri e favorisce una connessione veloce a discapito della durata della batteria. Oppure, Bluetooth e ZigBee i quali hanno offrono una connessione wireless con copertura di poche decine di metri. Oltre al fatto di una scarsa copertura e di un elevato consumo di energia per comunicazione, tutte queste tipologie di rete non sono scalabili cioè non sono ideate per supportare un carico di milioni di devices connessi contemporaneamente. Per colmare il gap tra tecnologie esistenti e le necessita di connettere milioni di devices diversi standard sono stati proposti, per risolvere queste problematiche. Pur essendo diversi, alla base di ognuno di essi viene attuata il concetto di del LPWAN *Low power area network*. LPWAN è un termine usato per identificare tutte quelle reti che permettono di connettere un numero elevato di device in modo wireless per chilometri di distanza, riuscendo comunque a mantenere basso il consumo energetico richiesto per la comunicazione. Inoltre l'hardware utilizzato in questo tipo di rete ha un costo di produzione relativamente basso, rendendole ottime per il mondo del IoT. Per raggiungere questi punti, è necessario accettare dei compromessi sul numero di dati trasmissibili e sulla banda utilizzata.

In questo contesto, i maggiori competitor sono Lora, Sigfox, NB-IoT e LTE-M. Anche se ognuna di queste soluzioni punta a ottenere la più ampia fetta di mercato, esse implementano soluzioni tecniche molto diverse tra di loro.

1.6.1 NB-IoT e LTE-M

NB-IoT e LTE-M, sono due nuovi standard certificati da 3GPP, entrambe questi standard si basano su una versione modificata della rete 4G già esistente. Quindi funzionano in uno spettro proprietario, e forniscono prestazioni diverse per i diversi use-case. In particolare devices che utilizzano NB-IoT hanno una durata della batteria molto più prolungata di quelli che utilizzano la connessione LTE-M, la quale permette un maggiore band-width a discapito della durata. Il vantaggio di questi standard è che non servono grandi cambiamenti alla rete telefonica, quindi sono facilmente implementabili dalle compagnie telefoniche. Inoltre, ogni device sarà dotato di una sim-card per poter connettersi, in que-

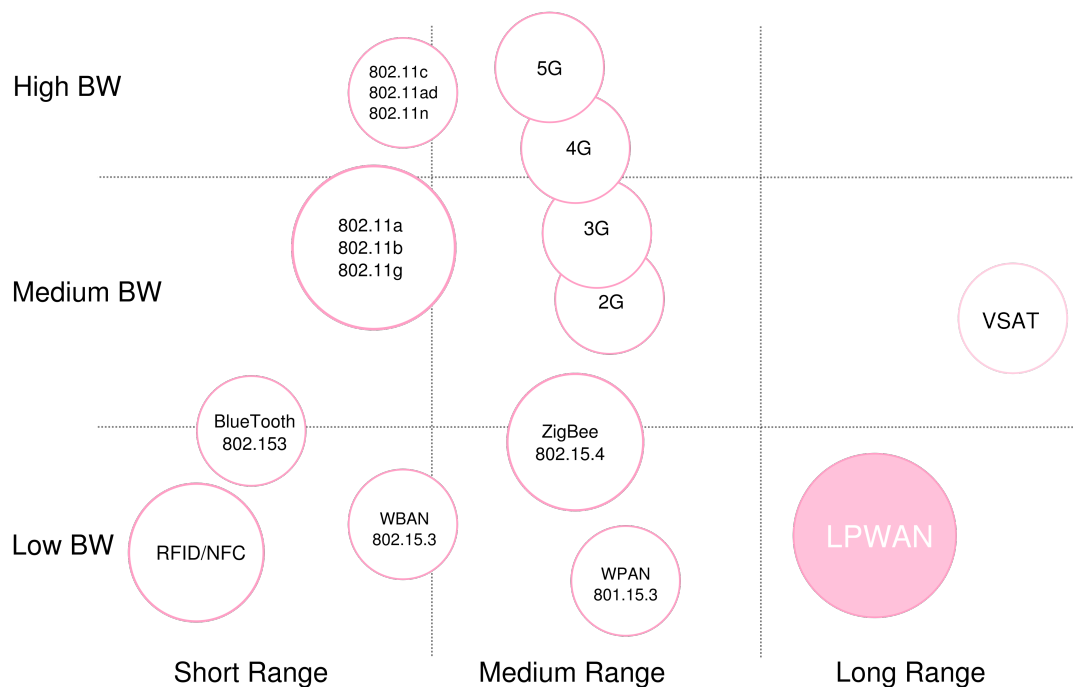


Figura 1.9: Comparazione tipologia di reti

sto modo è possibile ottenere una sicurezza simile a quella implementato nelle connessioni LTE. Altro punto a favore è il fatto che non è necessario utilizzare gateway, ogni device è connesso direttamente alla rete. La maggior parte delle compagnie telefoniche ha già dei piani per rendere disponibile queste due tecnologie.

1.6.2 Sigfox

Sigfox, azienda francese la quale offre una soluzione proprietaria per il mondo del IoT. Sigfox opera sulle frequenze ISM, e punta a creare una rete a copertura mondiale. Quello che promette questa tecnologia è un basso consumo energetico per la comunicazioni andando a limitare di molto la banda utilizzabile per l'invio dei dati. Sigfox utilizza una connessione *Ultra narrow Band*, tramite la quale permette l'invio di un numero massimo di 140 messaggi per giorno, con una lunghezza pari a 12 byte. Creando una rete globale problemi quali compatibilità e roaming vengono superati andando ad offrire un piano unico mondiale. Essendo il protocollo aperto, i vari moduli possono essere prodotti da diverse compagnie andando a creare una concorrenza sul mercato e offrendo diversi tipi di implementazione. I vari moduli sono disegnati per funzionare con tecnologie già esistenti, andando a ridurre in maniera drastica

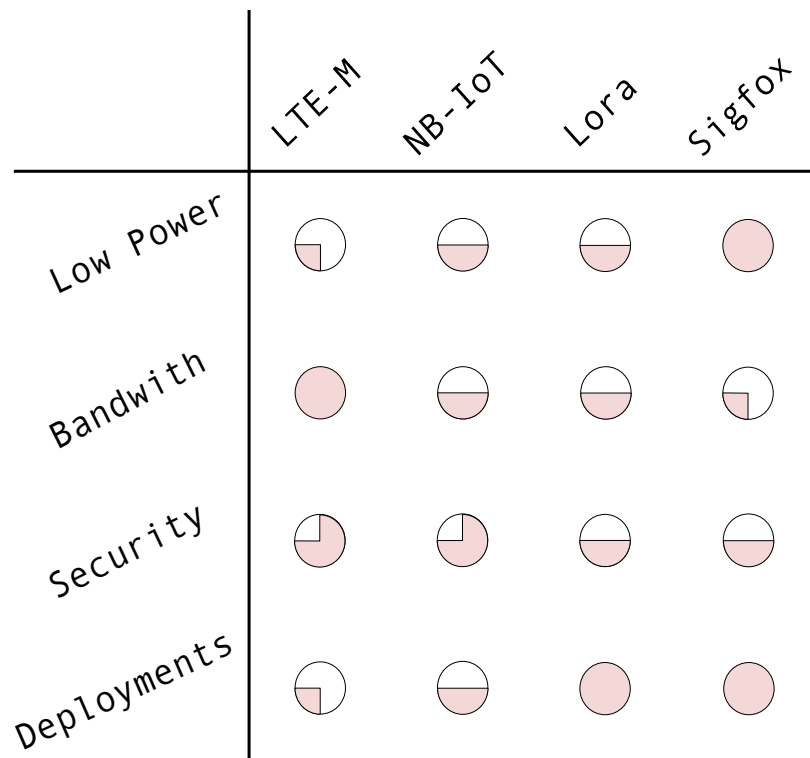


Figura 1.10: Comparazione tipologia di reti

il costo unitario. Inoltre per come è strutturata la rete, i vari device possono comunicare con le varie base station senza avere procedure di handshaking rendendo effettivi i 140 messaggi giornalieri. La comunicazione tra device layer e application layer è garantita da Sigfox stessa, lasciando al utente finale il solo fatto di scrivere una semplice applicazione. Quindi la duplicazione dei messaggi ricevuti e avviene in modo automatico, quando si ha un piano Sigfox. Il range di azione varia da un paio di chilometri in zone urbane fino a decine di chilometri in zone rurali, dipende molto dalla topografia del terreno. Supporta sia il l'uplink che il downlink ma entrambe le comunicazioni devono essere inizializzate dal device. I messaggi non sono a lunghezza prestabilita, quindi ogni messaggi varia in base al payload, payload più corti tempi di comunicazione brevi. Il costo è basso perché l'approccio è open hardware, quindi tutte le case produttrici di chip possono integrare la comunicazione Sigfox. Ogni messaggio è firmato tramite una chiave unica proprietaria del device e il fatto che non ci sono handshake nella comunicazione garantisce che le chiavi di sicurezza non vengano intercettate da attacchi esterni. Ogni messaggio viene inviato 3 volte per garantire la sicura ricezione.

Bibliografia

- [1] Gartner. Gartner says 8.4 billion connected 'things' will be in use in 2017, up 31 percent from 2016. *[Online]*, 2016. <http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>.
- [2] Remco Schrijver. Precision agriculture and the future of farming in europe. *Scientific Foresight Study*, 2016. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU\(2016\)581892_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892_EN.pdf).
- [3] Semtech. An1200.22 lora™ modulation basics. *[Online]*, 2015. <http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>.
- [4] Semtech. Lorawan 101 a technical introduction. *[Online]*, 2017. https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_20fe760334f84a9788c5b11820281bd0.pdf.