



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<sup>™</sup>, implementata attraverso l'utilizzo del framework open-source Kura<sup>™</sup> sviluppato da Eurotech<sup>™</sup>.



# Note

■ Completare e riscrivere . . . . .	2
■ Trovare termine per multipath . . . . .	3
■ Modificare e riscrivere . . . . .	3
■ Riscrivere . . . . .	3
■ Rivedere i vari punti e cambiare il linguaggio . . . . .	5
■ Aggiungere immagine e finire la spiegazione . . . . .	5
■ Riguardare ultimo punto della documentazione pagina 14 . . . . .	7
■ Chiedere se il termine protocollo è appropriato . . . . .	7



# Indice

<b>Indice</b>	<b>v</b>
<b>Elenco delle figure</b>	<b>vii</b>
<b>Introduzione</b>	<b>ix</b>
<b>1 LPWAN e Lora</b>	<b>1</b>
1.1 LPWAN . . . . .	1
1.2 LoRa . . . . .	2
1.3 CSS . . . . .	2
1.4 LoRaWAN . . . . .	7
1.5 Frequenze . . . . .	8
<b>Bibliografia</b>	<b>11</b>





# Elenco delle figure

1	Numero di dispositivi per anno . . . . .	ix
2	Comparazione tipologia di reti . . . . .	x
3	Comparazione tipologia di reti . . . . .	xi
1.1	Comparazione tra UNB e SSP . . . . .	2
1.3	Comparazione simbolica dei vari SF . . . . .	5
1.4	Struttura pacchetto Lora . . . . .	6
1.5	Pacchetto codificato dal layer fisico . . . . .	6
1.6	Struttura interna ricevitore SX1301 . . . . .	7
1.7	Struttura rete a stella LPWAN . . . . .	8
1.8	Stack del protocollo della rete LoRaWAN . . . . .	9



# 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.

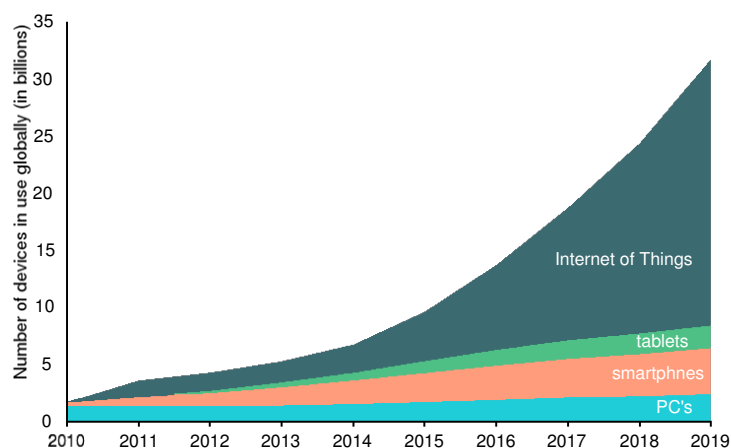


Figura 1: Numero di dispositivi per anno

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 SigFox<sup>TM</sup>, LoRaWAN<sup>TM</sup>, NB-IoT<sup>TM</sup> e Weightless<sup>TM</sup>.

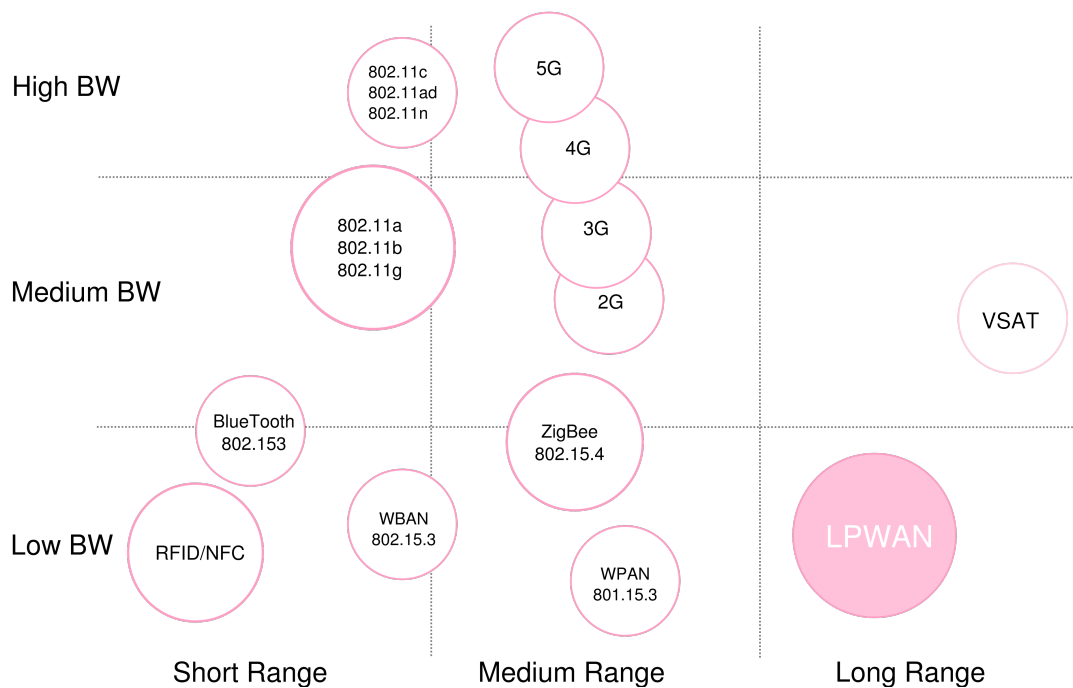


Figura 2: Comparazione tipologia di reti

Con questa tesi si è voluto studiare i casi applicativi della tecnologia Lora<sup>TM</sup> nel abito della agricoltura di precisione, utilizzando il framework open-source Kura<sup>TM</sup> messo

a disposizione da Eurotech<sup>TM</sup>, andando a creare un applicativo OSGI<sup>®</sup> installabile nel framework.



Figura 3: Comparazione tipologia di reti



# 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, Sigfox<sup>TM</sup> e Semtech<sup>TM</sup> possessore di Lora<sup>TM</sup>. 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

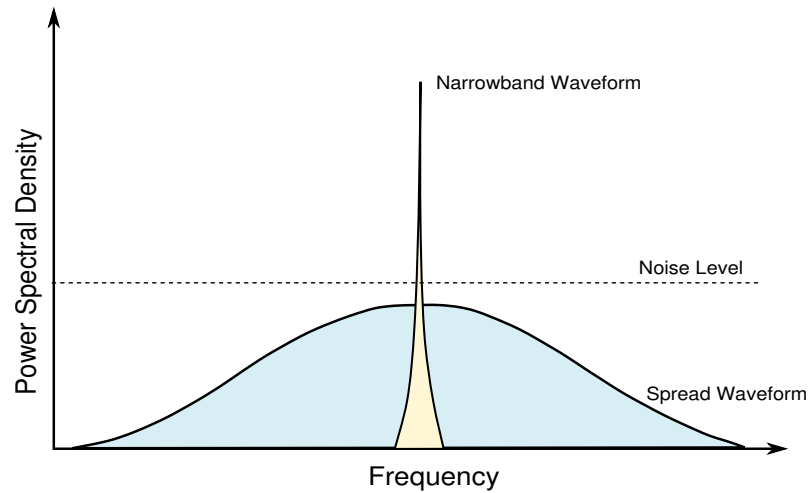


Figura 1.1: Comparazione tra UNB e SSP

## 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  $2^{\text{SF}}$  bits in un simbolo. Un differente SF implica anche un differente tempo di comunicazione secondo la formula

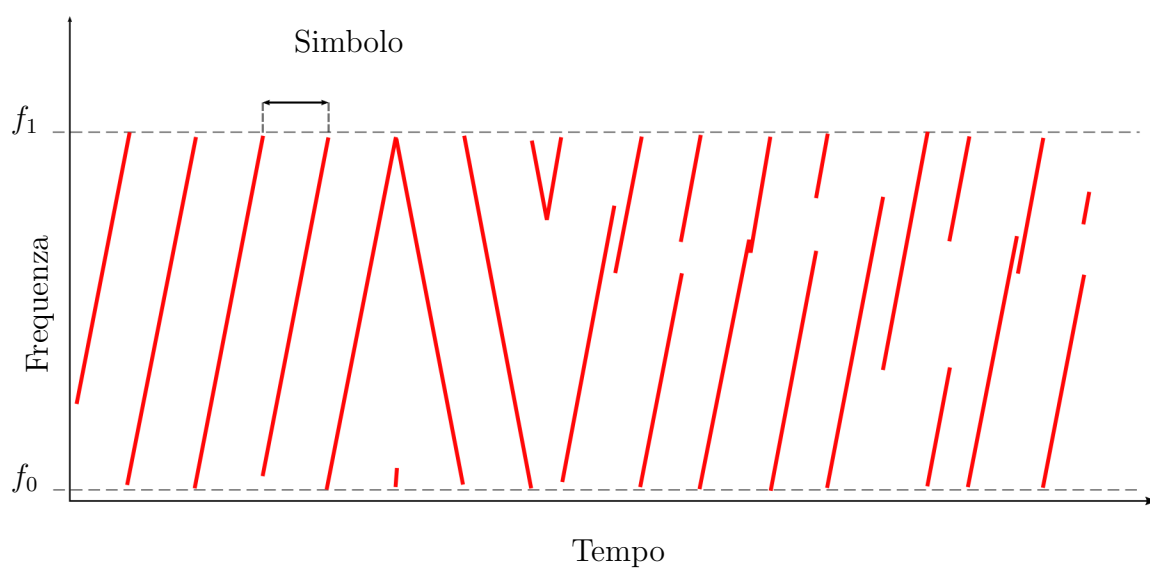
Riscrivere

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

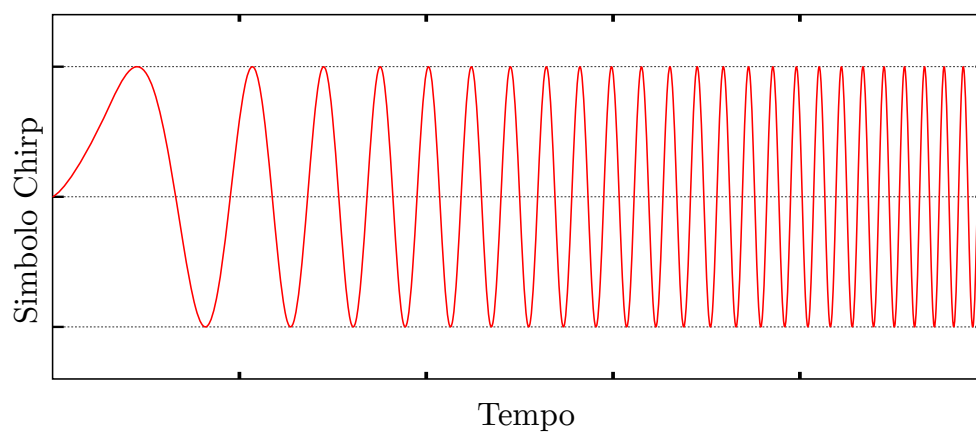
Dalla quale si evince che andando ad aumentare lo spread factor di una unità, mantenendo una lunghezza di banda fissa  $B$ , otteniamo un raddoppio nel tempo di trasmissione. Il fatto di avere messaggi più lunghi, conferisce un robustezza superiore alle interferenze e al rumore. In discapito a tutto 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

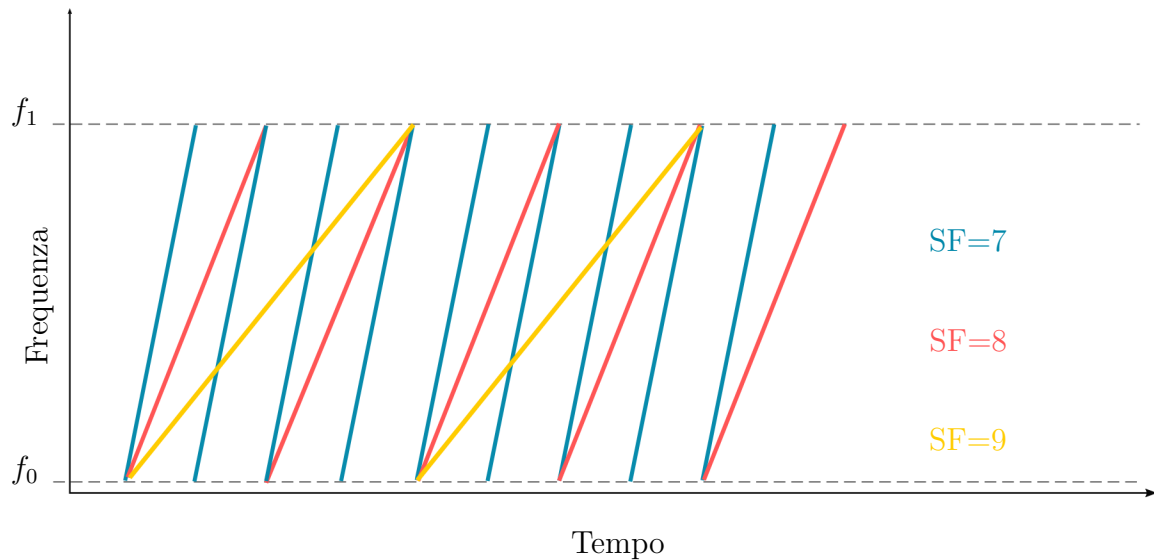


Figura 1.3: Comparazione simbolica dei vari SF

- 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.

Rivedere i vari punti e cambiare il linguaggio

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.

Aggiungere immagine e finire la spiegazione

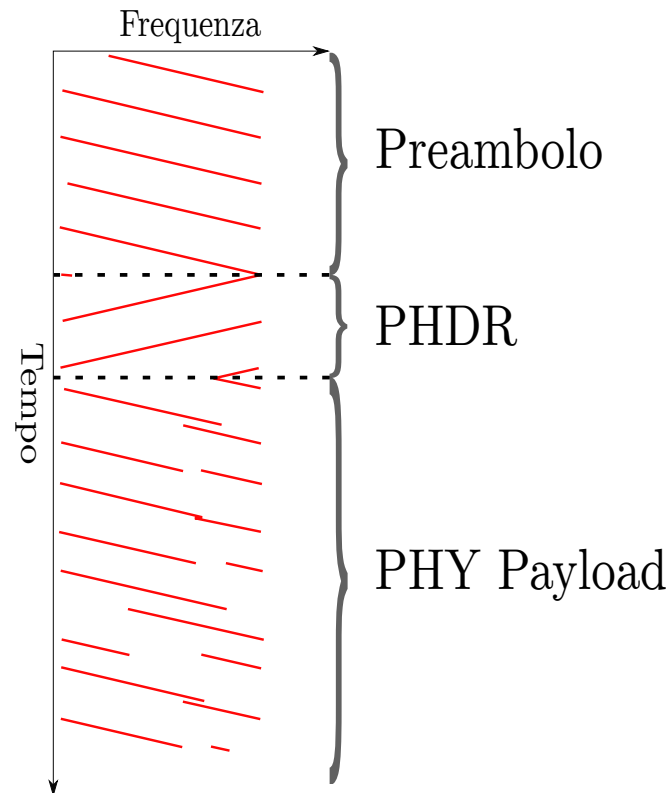


Figura 1.4: Struttura pacchetto Lora

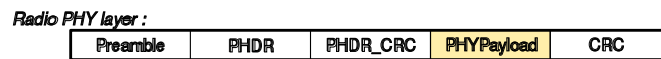


Figura 1.5: Pacchetto codificato dal layer fisico

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

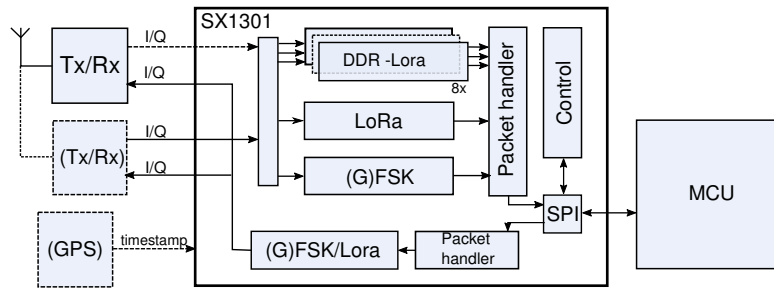


Figura 1.6: Struttura interna ricevitore SX1301

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.

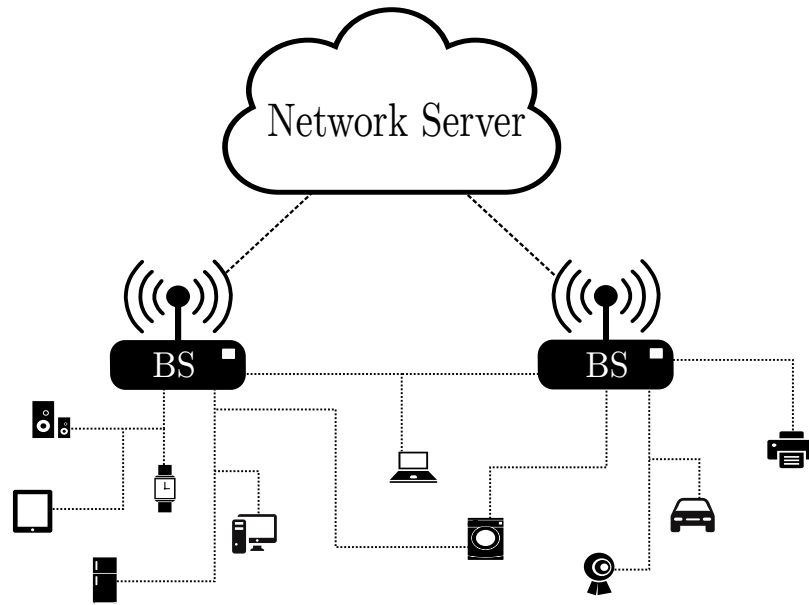


Figura 1.7: Struttura rete a stella LPWAN

- **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

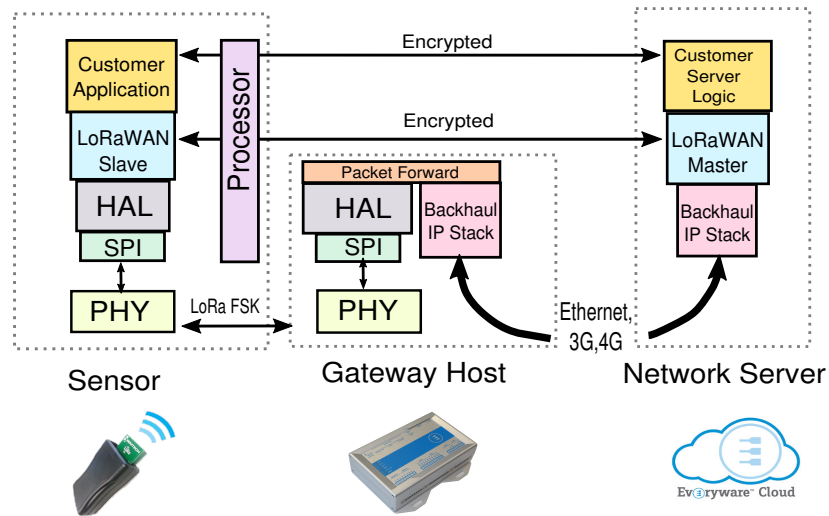


Figura 1.8: Stack del protocollo della rete LoRaWAN

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]





# 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<sup>TM</sup> 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](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_20fe760334f84a9788c5b11820281bd0.pdf).