

**Corso di Laurea Magistrale di Ingegneria Elettrica**  
**Gestione, automazione e comunicazione**  
**dei sistemi elettrici**  
**AA 2014-15**

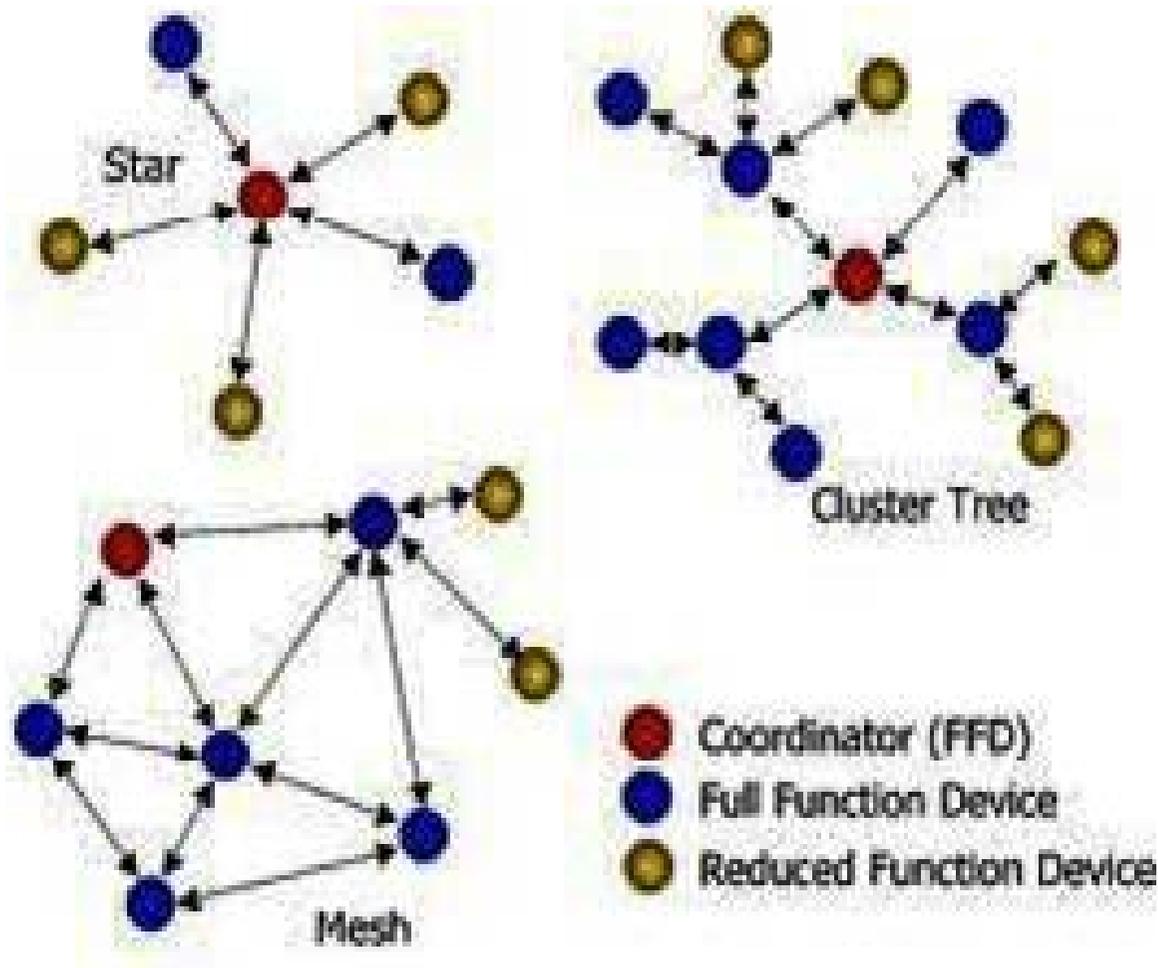
**Tecnologie e protocolli per**  
**Smart Grid**

**Francesco Benzi**

**Versione in fase di revisione e sistemazione.**  
**Non pubblicare o diffondere senza questo avviso.**

## Tecnologie: ZigBee

### La struttura a rete di Zigbee



È definito per diverse bande di frequenza (es. 868- 868.8 MHz in Europa, 902-928 MHz in US) ma è implementato più spesso sulla banda 2,4 GHz (2.400- 2.4835 GHz) **non regolamentata** sulla quale può operare con una velocità di trasmissione dati fino a 250 kbps (la rete WiFi IEEE 802-11 a confronto consente trasmissioni in banda larga con velocità fino a diverse decine di Mbps nella stessa banda 2,4 GHz).

## Tecnologie: ZigBee

### Lo standard IEEE 802.15.4 come tecnologia di base

Lo standard IEEE 802.15.4 definisce un protocollo di comunicazione wireless operante a velocità relativamente bassa (max 250 kbps), caratterizzato da basso consumo di energia e pertanto operabile con batterie .

È definito per diverse bande di frequenza (es. 868 MHz in Europa, 902-928 MHz in US) ma è implementato più spesso sulla banda 2,4 GHz (2.400-2.4835 GHz) **non regolamentata** sulla quale può operare con una velocità di trasmissione fino a 250 kbps (la rete WiFi IEEE 802-11 consente trasmissioni in banda larga con velocità fino a diverse decine di Mbps nella stessa banda 2,4 GHz).

La trasmissione effettiva occupa canali della larghezza di 5 MHz, per cui in pratica è possibile scegliere di lavorare su uno di **16 canali adiacenti**. In questo modo è possibile evitare interferenze con altre reti che operino nella stessa area, sulla stessa banda.

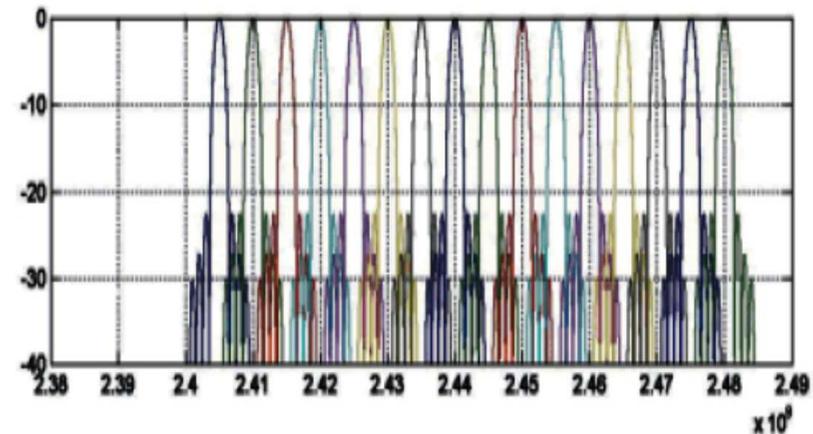
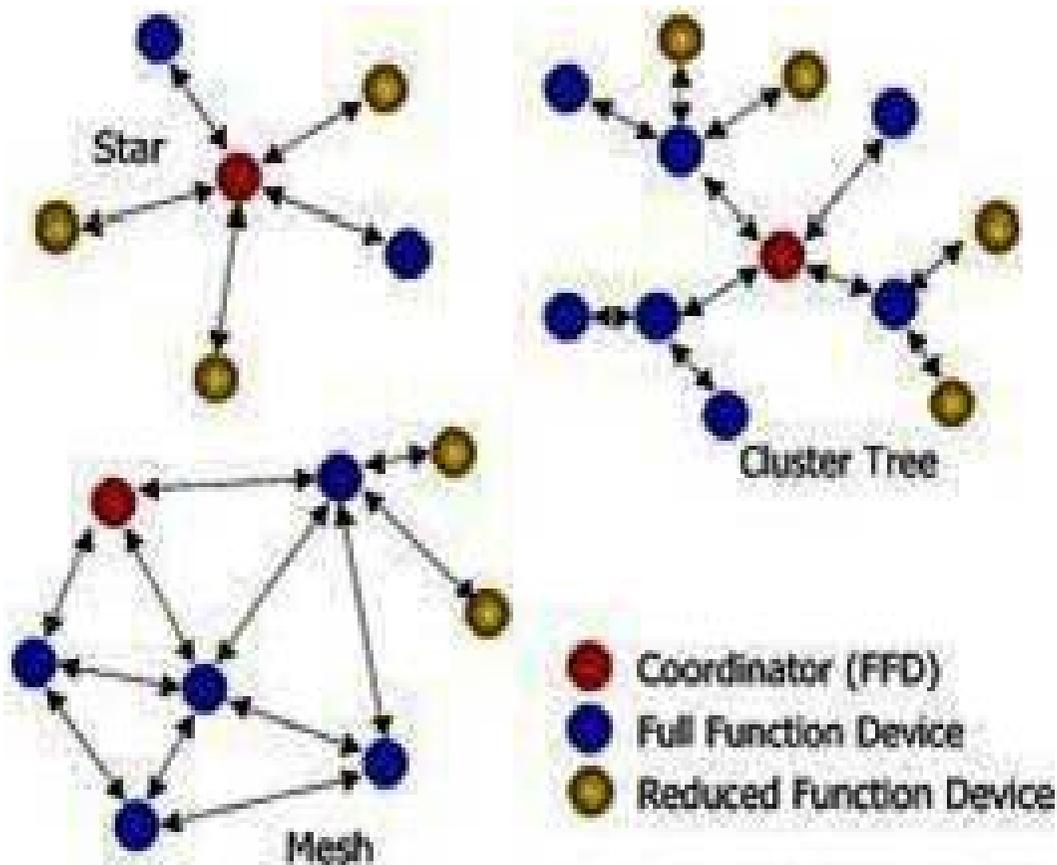


Fig. 1: IEEE802.15.4 channel spacing

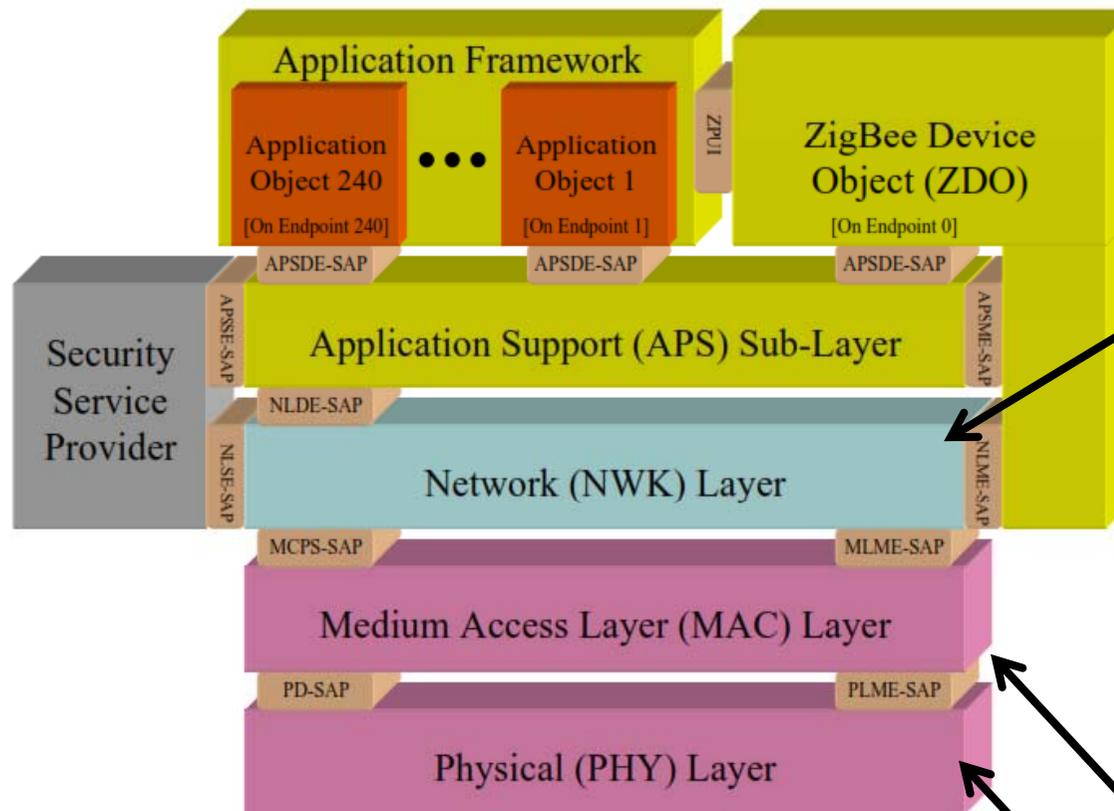
## Tecnologie: ZigBee

### Diversi ruoli dei nodi

Una tipica rete basata su questo standard prevede collegamenti punto a punto ovvero punto a multi-punto, con **nodi master** con piena funzionalità (generalmente alimentati da una linea di potenza), che fanno da collettore di dati, mentre gli altri **nodi a funzionalità ridotta**, spesso alimentati da batteria, si limitano a rispondere rinviano i dati richiesti, con un meccanismo di “sonno” per cui questi ultimi, se non interrogati o attivati, autoriducono il livello di attività e energia richiesta consentendo il risparmio energetico di cui sopra.



## Tecnologie: ZigBee



La tecnologia **ZigBee** (sviluppata da ZigBee Alliance, ZA) interviene su questa base, aggiungendo allo standard IEEE 802.15.4 le specifiche del livello superiore (Network) e di un livello di sicurezza e predisponendo le successive funzionalità applicative per organizzare una rete a maglia.

Il protocollo IEEE 802.15.4 si limita a definire i due strati inferiori ISO-OSI **Fisico e MAC** che implementano appunto il meccanismo di “sonno” e le specifiche di security.

# Tecnologie: ZigBee

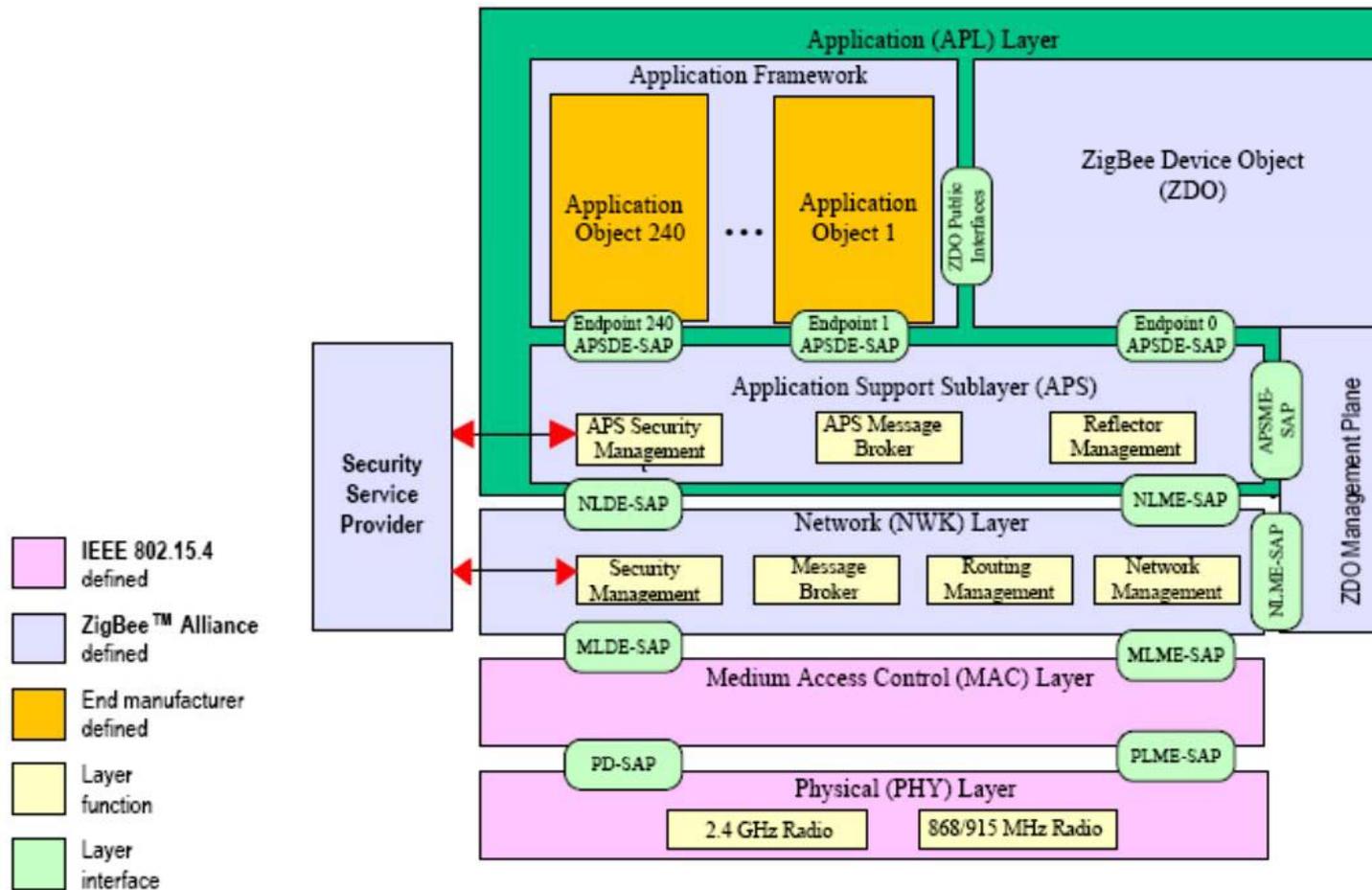


Figure 1.1 Outline of the ZigBee Stack Architecture

## Tecnologie: ZigBee

In particolare le specifiche di ZigBee [stabiliscono modalità per la **ridefinizione della rete quando un nuovo nodo si aggiunge e per creare automaticamente i percorsi che consentono di raggiungere punti anche relativamente distanti attraverso nodi intermedi mediante ritrasmissione dei dati, con capacità di riparazione e scelta di percorsi alternativi in caso di necessità.**

Questi meccanismi da un lato garantiscono un **elevato livello di affidabilità, grazie alla ridondanza e capacità di verifica dei messaggi**, auto-riparazione e correzione, ma al tempo stesso il tempo necessario a queste fasi operative riduce l'efficacia della trasmissione in termini di velocità; pertanto il protocollo non si presta a trasmissioni in banda larga anche se la sua velocità è sufficiente ; esso tuttavia funziona con prestazioni adeguate alle applicazioni domotiche o simili (monitoraggio di variabili a bassa dinamica nell'industria di processo, gestione di contatori di energia elettrica o altro).

La distanza tipica è nell'ordine delle decine di metri fino al centinaio, estendibili come detto in un sistema a rete ramificata.

## ZigBee – I profili applicativi

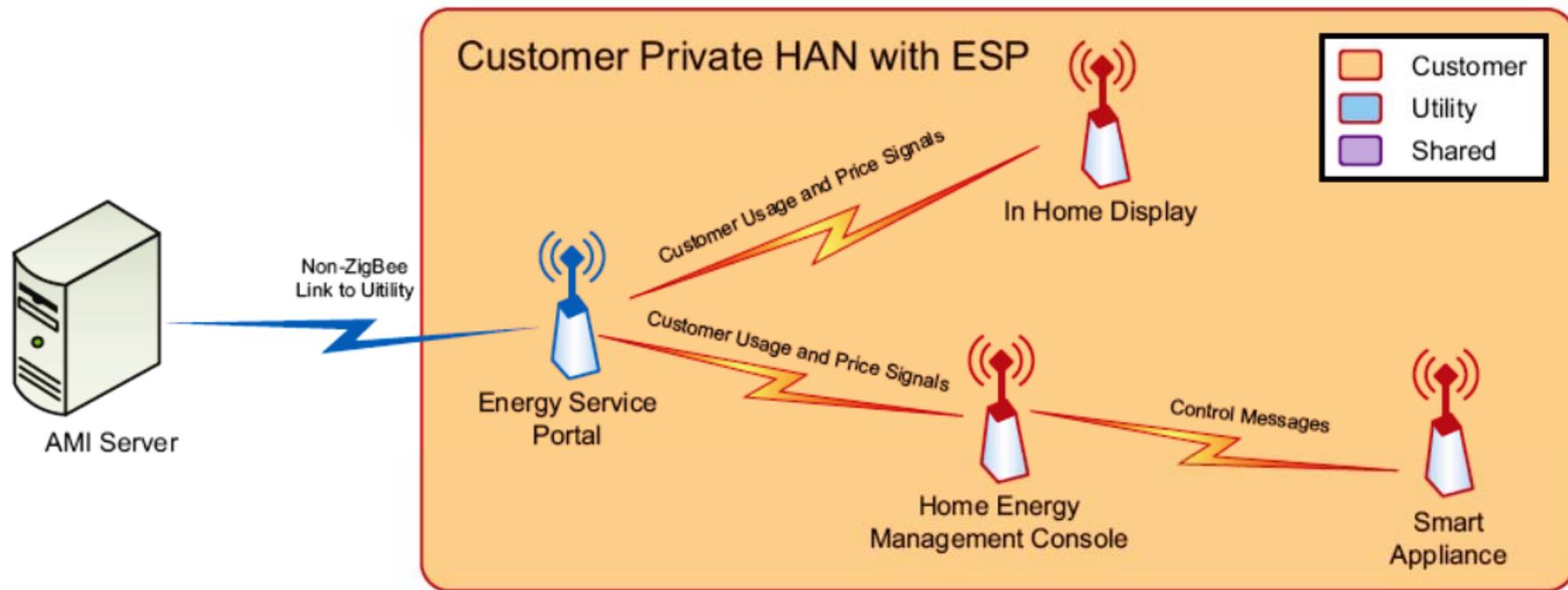
La comunicazione fra dispositivi avviene al livello di Application Framework attraverso la definizione di Profili applicativi dedicati a determinati contesti.

**Industrial Plant Monitoring (IPM), Home Automation (HA) , Commercial Building Automation (CBA) , Telecom Applications (TA), Personal Home & Hospital Care (PHHC), Advanced Metering Initiative (AMI)**

L'autorizzazione a definire un profilo è fornita dalla ZigBee Alliance che richiede quindi al proponente di definire l'elenco dei dispositivi appartenenti al profilo, ovvero significativi per una determinata area applicativa (es. domotica, smart metering, ...); per ciascuno di essi i "cluster" che ne definiscono la funzionalità attraverso la definizione degli attributi che ne rappresentano lo stato e l'elenco dei comandi che permettono la comunicazione con altri oggetti. Infine la descrizione funzionale di ogni dispositivo; la definizione dei test di conformità dei nuovi componenti rispetto al Profilo proposto.

**I dispositivi ZigBee di qualunque costruttore conformi a un determinato profilo sono interoperabili.**

## ZigBee – Il profilo Smart Energy



**Figure 5.3** Customer Private HAN

## ZigBee – Il profilo Smart Energy

**Il profilo dedicato ai sistemi avanzati di misura dell'energia, definito Smart Energy**, è dedicato alle reti degli utilizzatori.

È rivolto a definire sistemi comprendenti dispositivi quali misuratori di energia e funzionalità per attuare strategie di Demand Response e Gestione dei carichi in ambito residenziale o di piccolo ambiente commerciale.

I dispositivi previsti e specificati sono: **il portale per i servizi energetici, contatore elettronico, in-home display, termostato programmabile, controllore dei carichi, router per l'estensione del servizio, elettrodomestico intelligente, terminale per l'energia prepagata.**

Una sezione della specifica è dedicata all'implementazione in sicurezza di reti diverse che possono interagire in aree ristrette senza interferire .

### **Apertura, standardizzazione e diffusione**

Basato sullo standard IEEE 802-15-4 per i livelli inferiori, ZigBee è uno standard aperto, le cui specifiche sono note, e la cui tecnologia è utilizzabile liberamente. Tuttavia per poter certificare i prodotti i costruttori devono aderire alla ZA con una quota annua e sottoporre i prodotti a un processo di certificazione. La diffusione di ZigBee è significativa a livello mondiale nei settori di interesse.

## ZigBee – Vantaggi

- ZigBee has 16 channels in the 2.4 GHz band, each with 5 MHz of bandwidth. 0 dBm (1 mW) is the maximum output power of the radios with **a transmission range between 1 and 100 m with a 250 Kb/s data rate** and OQPSK modulation.
- ZigBee is considered as a good option for metering and energy management and ideal for smart grid implementations along with its **simplicity, mobility, robustness, low bandwidth requirements, low cost of deployment, its operation within an unlicensed spectrum**, easy network implementation, being a standardized protocol based on the IEEE 802.15.4 standard.
- **ZigBee Smart Energy Profile (SEP) also has some advantages for gas, water and electricity utilities**, such as load control and reduction, demand response, real-time pricing programs, real-time system monitoring and advanced metering support.

## ZigBee – Svantaggi

Low processing capabilities, small memory size, small delay requirements and being subject to **interference with other appliances, which share the same transmission medium, license-free** industrial, scientific and medical (ISM) frequency band ranging from IEEE 802.11 wireless local area networks (WLANs), WiFi, Bluetooth and Microwave [18].

Hence, these concerns about the robustness of ZigBee under noise conditions increase the possibility of corrupting the entire communications channel due to the **interference of 802.11/b/g** in the vicinity of ZigBee.

Interference detection schemes, interference avoidance schemes and energy-efficient routing protocols, should be implemented to extend the network life time and provide a reliable and energy-efficient network performance.

**Il problema della durata delle batterie come per tutti i dispositivi wireless**

## Wireless Mesh

Tecnologia wireless sviluppata da utilities in California (es. PG&E (Pacific Gas & Energy) per gestire gli smart meter elettrici.

### Technology

*La rete (mesh) è costituita dagli stessi contatori che sono dotati di stazioni radio e interagiscono fra loro come una rete di comunicazione vera e proprio in grado, fra l'altro di risolvere problemi di trasferimento e scelte alternative di percorsi in caso di guasto*

- The meters in the PG&E deployment include **two radios: one (not STANDARD) in the unlicensed ISM band of 902 to 928 MHz for communication back to the utility provider,**
- Another intended for future communication to a home network.** The technology has low bit rate requirements, but also needs to be very low cost.

**Silver Spring** is a partner with more than 40 companies and provides additional applications to utilities and customers on the Smart Energy Platform **like smart thermostats, in-home displays, and electric vehicle (EV) charging technology.** Silver Spring began its technology offering with a smart grid network based on Internet Protocol (IP) technology, which was advocated for the smart grid by the U.S. Federal Communications Commission (FCC) and other smart grid experts. Silver Spring expanded on the network to smart grid application software that includes demand response (DR), demand management<sup>[2]</sup> and other services for utilities and their customers.

## Wireless Mesh

- **Vantaggi** Mesh networking is a **cost effective solution** with dynamic self-organization, self-healing, selfconfiguration, high scalability services, which provide many advantages, such as improving the network performance, balancing the load on the network, extending the network coverage range. Good coverage can be provided in urban and suburban areas with the ability of **multi-hop routing**. Also, the nature of a mesh network allows meters to act as signal repeaters and adding more repeaters to the network can extend the coverage and capacity of the network. *AMI systems and home energy management are some of the applications that wireless mesh technology can be used for. (Ma ne limita anche l'uso)*
- **Svantaggi** Network **capacity, fading and interference can be counted as the major challenges** .... In urban areas, mesh networks have been faced with a coverage challenge since the meter density cannot provide complete coverage .... Furthermore, **a third party company is required** to manage the network, and since the metering information passes through every access point, some encryption techniques are applied to the data for **security purposes**. In addition, while data packets travel around many neighbors, there can be loop problems causing additional overheads in the communications channel that would result in a reduction of the available bandwidth.

## Cellular Network Communication

- **Vantaggi Cellular networks already exist.** Therefore, utilities do not have to incur extra cost for building the communications infrastructure required for a smart grid. Widespread and cost-effective benefits make cellular communication one of the leading communications technologies in the market. Due to data gathering at smaller intervals, a huge amount of data will be generated and the cellular networks will provide sufficient bandwidth for such applications. When security comes into discussion, cellular networks are ready to secure the data transmissions with strong security controls. **To manage healthy communications with smart meters in rural or urban areas, the wide area deployment capability of smart grid becomes a key component and since the cellular networks coverage has reached almost 100 %.**

## Cellular Network Communication

- **Vantaggi** In addition, GSM technology performs up to 14.4 Kbps, GPRS performs up to 170 Kbps and they both support AMI, Demand Response, Home Area Network (HAN) applications. Anonymity, authentication, signaling protection and user data protection security services are the security strengths of GSM technology . Lower cost, better coverage, lower maintenance costs and fast installation features highlight why cellular networks can be the best candidate as a smart grid communications technology for the applications, such as **demand response management, advanced metering infrastructures, HAN, outage management, etc.**

## Cellular Network Communication

**-Svantaggi** Some power grid mission-critical applications need continuous availability of communications. However, the services of cellular networks are shared by customer market and this may result in network congestion or decrease in network performance in emergency situations.

-Hence, these considerations can drive utilities to build their own private communications network. In abnormal situations, such as a wind storm, cellular network providers may not provide guarantee service. Compared to public networks, private networks may handle these kinds of situations better due to the usage of a variety of technologies and spectrum bands.

## PLC (Power Line Communication – Onde convogliate) (1)

L'impiego della linea di potenza come mezzo di trasmissione delle informazioni ha il vantaggio di disporre di un **supporto fisico preesistente e diramato in maniera estesa su tutto il territorio**; in particolare, proprio nelle locazioni in cui viene distribuita l'energia.

Nell'arco degli anni (dagli ultimi decenni del secolo scorso) la maggior parte degli operatori elettrici ha sfruttato **le linee elettriche in AAT, AT e MT per realizzare collegamenti punto-punto con PLC** in tecnica analogica (APLC) in gamma 50-500 KHz, per supportare **i servizi di teleprotezione/telescatto agli estremi delle linee stesse e trasportare in FDM servizi telefonici per l'emergenza e/o segnali di telecontrollo degli impianti.**

Attualmente anche per la distribuzione (linee AT e MT) vengono utilizzate tecniche di codifica digitale (DPLC) a banda stretta, nel campo di frequenze regolamentato.

## PLC (Power Line Communication – Onde convogliate) (2)

Le caratteristiche tecniche degli apparati utilizzati fornivano le dovute garanzie per il trasferimento dei comandi di teleprotezione, ma permettevano lo sviluppo solo di reti a bassa velocità (50-600 b/s), spesso impiegate come reti di backup per i sistemi legacy SCADA” o per la telefonia di emergenza a banda stretta.

Lo sviluppo di tecniche digitali ha consentito di ampliare le velocità e la tipologia di segnali trasmessi.

## **PLC (Power Line Communication – Onde convogliate) (3)**

**Per le applicazioni in bassa tensione, lato utilizzatore e centrate sulla gestione dei contatori e dei carichi dell'utente finale (domestico), la tecnica digitale è necessaria e sarebbero utili anche tecnologie su bande di frequenza più elevate e con spettro più esteso.**

Nell'ambito della distribuzione si trovano oggi alcuni esempi in cui **sulla rete di bassa tensione vengono convogliati oltre ai segnali di comunicazione e misura strettamente necessari alla gestione della rete, anche segnali in banda larga**, e su un campo di frequenze più elevate, utilizzabili da parte degli utenti per l'implementazione dei servizi di internet o simili (progetto ADSL, Brescia). Le due tipologie di segnali, operanti quindi su portanti diverse, possono coesistere sulla medesima linea di potenza.

## PLC (Power Line Communication – Onde convogliate) (4)

Le tecniche di modulazione si dividono in **tecniche a banda stretta e a banda estesa**.

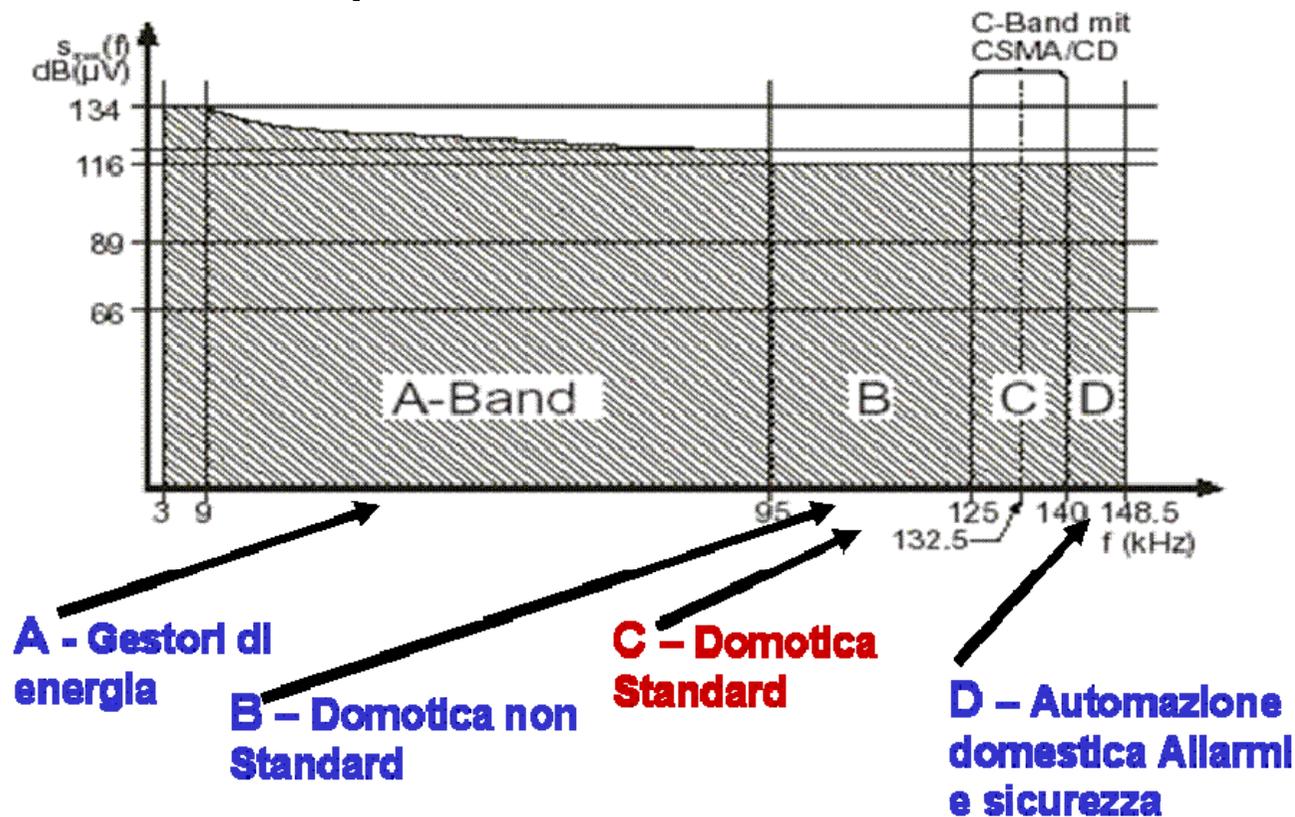
Si possono utilizzare varianti dei classici sistemi di **modulazione** di ampiezza o più spesso **di frequenza (FSK, Frequency Shift Keying)**,

**I disturbi sulla rete di potenza legati all'utilizzo sulla rete di dispositivi elettronici a semiconduttori (apparecchi elettrodomestici, azionamenti con convertitori statici, lampade a dimmer) che iniettano vari tipi di rumore**, di tipo impulsivo o periodico ad alta frequenza, per eliminare i quali si richiedono tipi di modulazione analogica più sofisticati.

Con l'impiego di una banda di comunicazione ristretta aumenta la probabilità che alcuni dei disturbi citati si manifestino in modo imprevedibile e dannoso interferendo proprio sulla frequenza di trasmissione. Le tecniche di trasmissione su spettro esteso e banda più elevata hanno il duplice vantaggio di aumentare l'affidabilità della comunicazione e di consentire operazioni a velocità crescenti

## PLC (Power Line Communication – Onde convogliate)

Lo standard europeo (CENELEC - EN 50065-1) per la trasmissione su linee di potenza individua queste ultime fra i 3 kHz e i 148,5 kHz, riservando in particolare agli utilizzatori le bande 95-125 kHz, 125-140 kHz e 140-148,5 kHz. Lo standard americano consente valori più elevati, fino a 450 kHz.



Lo Standard (USA e Europa) è in evoluzione per consentire l'uso di frequenze e velocità più elevate .

## PLC (Power Line Communication – Onde convogliate) (6)

- Con queste ampiezze di banda la **velocità di trasmissione dei dati può raggiungere l'ordine di alcuni kbps.**
- si tratta di valori relativamente bassi, **tuttavia compatibili** con le principali applicazioni legate alla Smart Grid: Smart metering, applicazioni di domotica, in particolare quelle che utilizzano la trasmissione dell'informazione per il comando dei dispositivi (illuminazione, climatizzazione, sicurezza e movimentazione).

I numerosi esperimenti di impiego di PLC in banda larga (servizi internet, audio e video) **si sono sostanzialmente conclusi in termini negativi.** Restano di interesse le tecnologie di trasmissione in Banda larga all'interno del singolo appartamento per la distribuzione dei segnali fra diverse stanze (Vedi soluzioni HomePlug) in alternativa a altri tipi di router WiFi.

## STANDARD IN US

**USA** - The **IEEE Std 1901-2010** is a standard for high speed (up to 500 Mbit/s at the physical layer) communication devices via electric power lines, Broadband over power lines (BPL). The standard uses transmission frequencies below 100 MHz. It also includes connection to Internet access services as well as BPL devices used within buildings for LAN, smart energy applications, transportation platforms (vehicle).

The IEEE Std 1901-2010 standard replaced a dozen previous powerline specifications. The IEEE 1901 ISP prevents interference when the different BPL implementations are operated within close proximity of one another.

The 1901 standard is mandatory to initiate **SAE J1772 electric vehicle charging** and the sole powerline protocol for IEEE 1905.1 heterogeneous networking. **It was highly recommended in the IEEE P1909.1 Smart grid standards because those are primarily for control of AC devices, which by definition always have AC power connections - thus no additional connections are required.**

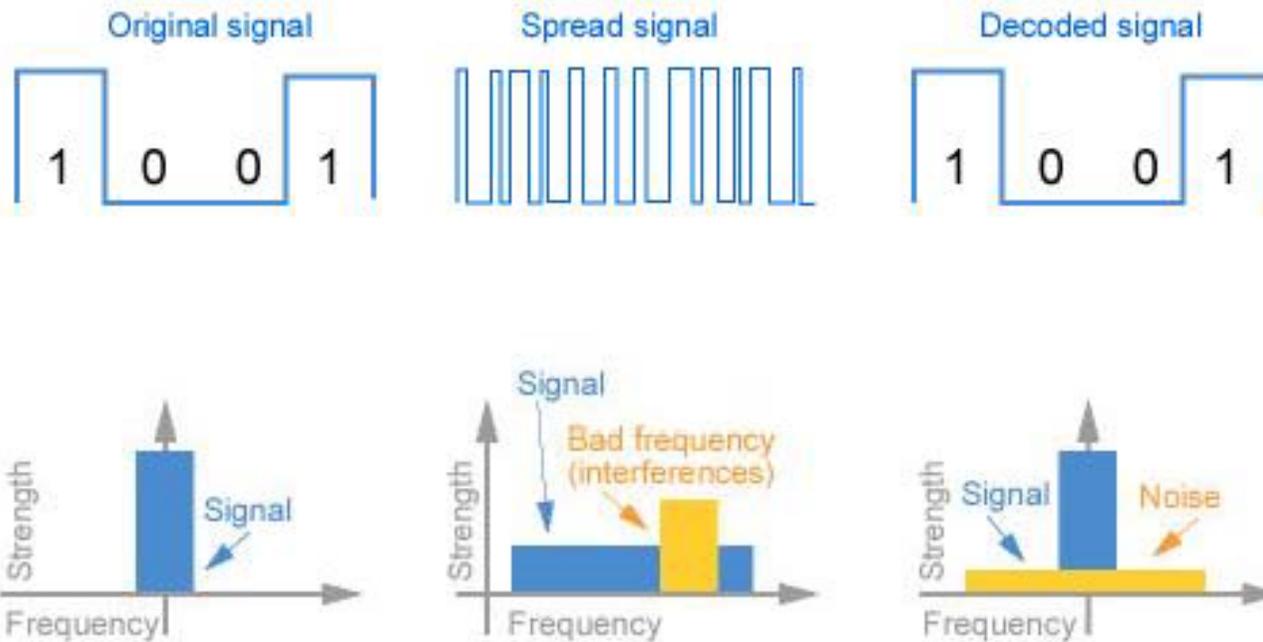
## TECNICHE A SPETTRO ESTESO

### **DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum**

- codifica e modulazione di ogni singolo blocco di informazione in un numero di parti, trasmesse in parallelo su diverse frequenze e quindi ricostruite in fase di ricezione; banda più estesa, potenza ridotta

## TECNICHE A SPETTRO ESTESO

### DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum



## TECNICHE A SPETTRO ESTESO

## OFDM - Ortogonal Frequency Division Multiplexing

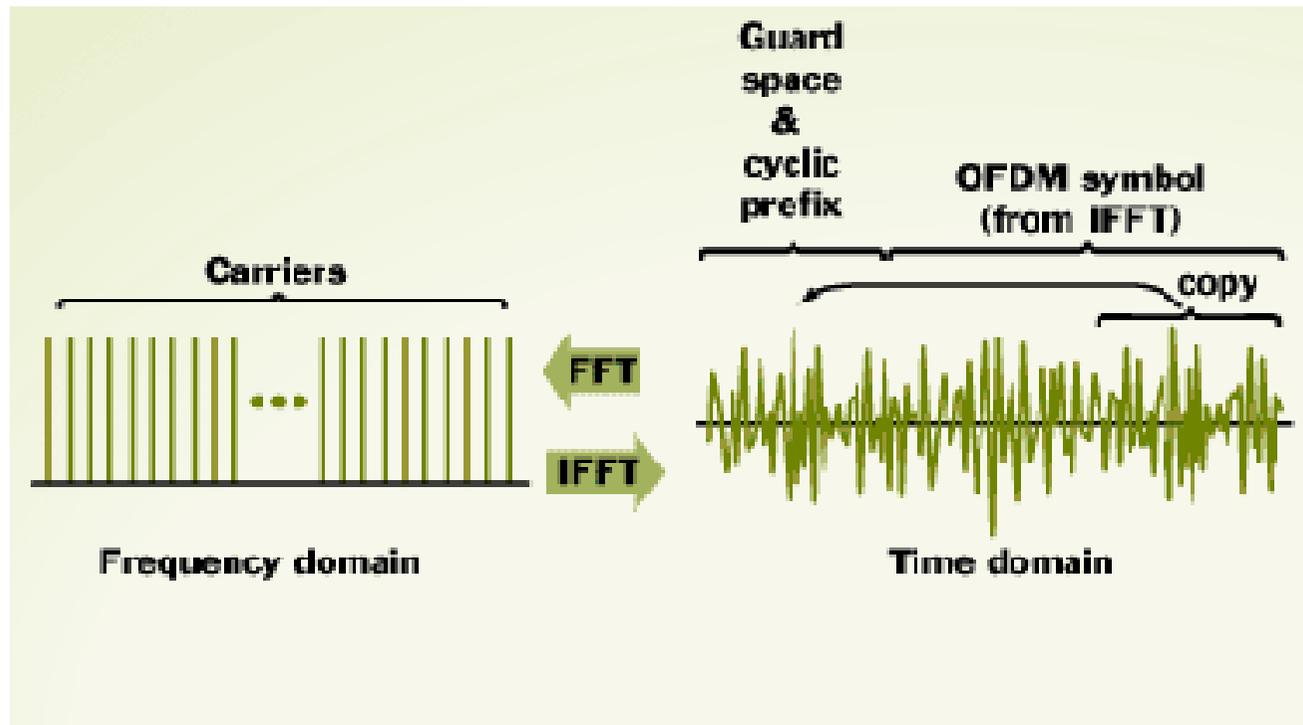


Figura 4.3 Segnale OFDM trasmesso / ricevuto

## TECNICHE A SPETTRO ESTESO

### OFDM - Ortogonal Frequency Division Multiplexing

Il segnale è scomposto e distribuito su numerose portanti in un campo di frequenze da 4,3 a 20,9 MHz. Ogni canale lavora così a una velocità ridotta che è un sottomultiplo della frequenza massima, consentendo una più efficiente gestione del segnale.

Le sottoportanti sono tra loro ortogonali, ovvero disaccoppiate, in modo tale che è possibile ricostruirle correttamente in fase di decodifica, anche se i loro spettri si sovrappongono. L'occupazione complessiva di banda è quindi ridotta. In fase di codifica e decodifica si usano tecniche FFT (Fast Fourier Transform)