

Reti wireless di prossima generazione in applicazioni domotiche.

Armida Bianco

Abstract

In questi ultimi anni, nell'ambito delle WPAN, si è assistito al proliferare di diverse tecnologie wireless, alcune delle quali trovano valido impiego nel campo della domotica. In questa sede si vuole dare una breve descrizione introduttiva di due di queste tecnologie, ZigBee (IEEE802.15.4) e UWB, e fornire un primo confronto con alcuni standard per reti wireless già diffusi a livello commerciale, come Bluetooth.

1. Introduzione

Lo scenario tecnologico in ambito domestico è in continua evoluzione: mentre si susseguono le ricerche e le iniziative di standardizzazione per protocolli legati al cablaggio, si assiste anche all'affermarsi di soluzioni wireless, non nate specificatamente per il campo dell'automazione domestica, ma che trovano in esso valide e utili applicazioni.

E' questo ad esempio il caso dello standard IEEE 802.11b (Wi-Fi) per le WLAN (Wireless Local Area Network), e di Bluetooth per le WPAN (Wireless Personal Area Network), entrambi protocolli di comunicazione oggi molto diffusi¹ nel mercato consumer, ma anche di altri ancora in fase sperimentale o di prima commercializzazione, come RFID, ZigBee e UWB.

RFID è l'acronimo di Radio Frequency IDentification, una tecnologia pensata principalmente per il riconoscimento e il tracking delle merci nella Grande Distribuzione, ma per la quale si prospettano funzionalità di localizzazione di persone e oggetti anche in ambito domestico.

Di ZigBee e UWB si parlerà più diffusamente nel seguito del documento, rispettivamente nei capitoli 2 e 3.

2. ZigBee

2.1 Nascita dello standard e ambiti di applicazione

ZigBeeTM è il nome commerciale di una tecnologia promossa dalla ZigBee Alliance, un'associazione no-profit di aziende hardware, software, e in generale che offrono servizi tecnologici, nata nel 2002. Ad oggi si contano oltre 90 compagnie, tra promoter e partecipanti, tra cui nomi come Philips, Motorola, Samsung, ABB, Cisco, Siemens, TiLAB, ecc..

La missione del consorzio è stata, fin dall'inizio, quella di fornire una soluzione concreta e fattibile al problema del proliferare di tecnologie proprietarie per comunicazioni wireless a corto raggio, relative quindi alle WPAN (Wireless Personal Area Network), e in particolare per quel tipo di trasmissioni che non richiedono elevati data-rate, e per le quali è invece fortemente limitante il problema di un elevato consumo energetico.

Quest'ultimo stringente requisito sembrerebbe dar ragione a coloro che individuano la tecnologia in esame come possibile alternativa a Bluetooth; in realtà ciò non è del tutto esatto, almeno per ora, in quanto una visione più realistica vede i 2 standard come complementari, legati ad applicazioni molto diverse tra loro.

¹ Il Bluetooth Special Interest Group (SIG) ha recentemente stimato che, in tutto il mondo, ci sono oltre 150 milioni di apparecchi conformi alle sue specifiche, e ne vengono venduti mediamente 2 milioni a settimana.

La figura 2.1 fornisce un posizionamento in termini di distanza coperta e data-rate (quantità dei dati scambiati nell'unità di tempo) di ZigBee, e di altre tecnologie afferenti all'ambito delle Wireless Area Network; si può notare dal grafico come, con le specifiche attuali, ZigBee e Bluetooth sono sostanzialmente separati; la leggera sovrapposizione è dovuta a quelle applicazioni (pochissime) che fino ad ora erano state appannaggio di Bluetooth, ma per le quali l'utilizzo di tale tecnologia appare assolutamente sprecata (ad esempio trasmissione di segnalazioni di controllo che richiedono notoriamente data-rate molto più bassi di quelli offerti da Bluetooth).

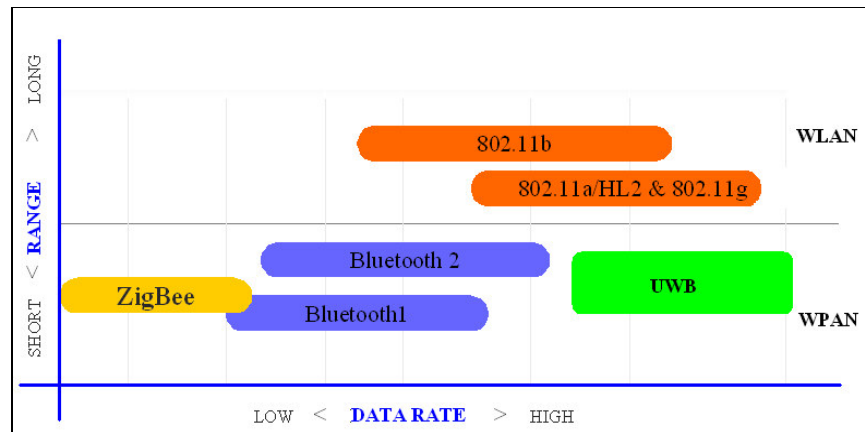


Fig. 2.1

ZigBee è quindi uno standard per la trasmissione di segnali in una “control/sensor network”^[KPI], che offre i seguenti vantaggi:

- bassi costi di installazione e di manutenzione;
- limitato consumo energetico (si può parlare anche di anni di funzionamento senza alimentazione esterna);
- possibilità di raggiungere un'elevata densità dei nodi (fino a 65000);
- economicità dei device (la RAM richiesta va da un minimo di 4K per la maggior parte dei nodi, fino a 32K per quegli elementi di rete che devono offrire funzionalità avanzate);
- semplicità del protocollo da implementare (ciò è testimoniato dalla minima RAM richiesta);
- affidabilità delle comunicazioni.

Gli ambiti di applicazione di ZigBee sono (si riportano alcuni esempi nella figura 2.2):

- building automation (sicurezza, lettura automatica di contatori, controllo luci e accessi, sistema di condizionamento HVAC,..);
- controllo salute (monitoraggio pazienti,..)
- industrial automation (controllo fasi di lavoro per ottimizzare i processi, gestione energia, ..)
- consumer electronic (TV, VCR, DVD/CD,..)
- PC e periferiche (mouse, tastiera,..)
- home automation (sicurezza, HVAC, controllo luci e accessi, sistema di irrigazione..)

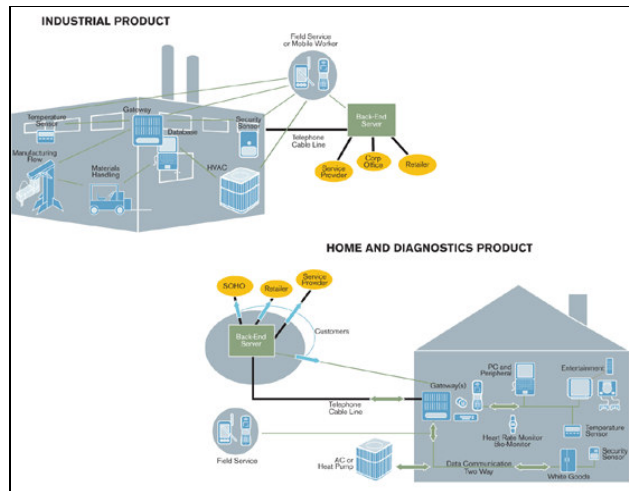


Fig. 2.2

In realtà ZigBee non è uno standard, le sue specifiche infatti non sono ancora state rese pubbliche, ma lo saranno presumibilmente entro la fine del 2004, o l'inizio del 2005. Esse si basano sul modello di canale radio standardizzato dall'IEEE 802.15.4 (il WPAN-LR Task Group, cioè il gruppo di lavoro dell'IEEE che si occupa delle WPAN a corto raggio). Lo stack di riferimento, secondo il modello OSI, è riportato nella figura 2.3.

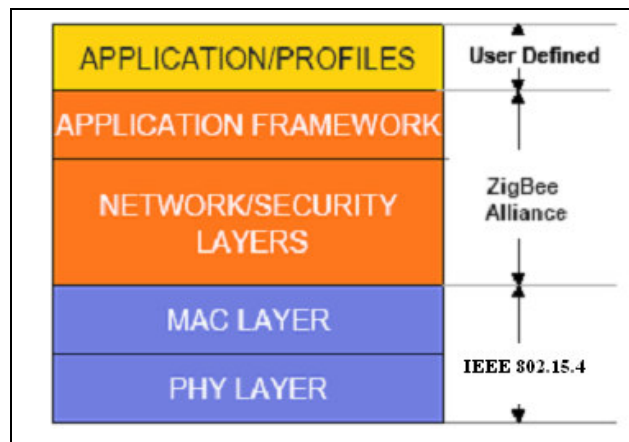


Fig. 2.3

2.2 IEEE 802.15.4: Physical Layer e MAC sub-layer^[IE]

A livello fisico lo standard prevede 2 bande di frequenza: 868 (europa)/ 915 (america) MHz e 2.4 GHz (ovunque), con, rispettivamente, 1, 10 e 16 canali assegnati (fig. 2.4).

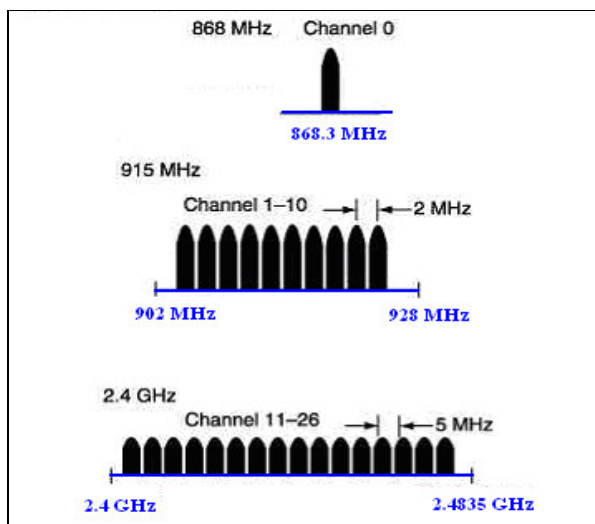


Fig. 2.4

Per limitare i problemi di intercettazione indesiderate, e di interferenze dovute ad altri utenti che trasmettono sulle stesse frequenze, si utilizza la tecnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), con sequenze di codice (chipping code) di lunghezza differente a seconda della banda utilizzata.

Anche le altre caratteristiche di trasmissione (modulazione, bit-rate,..) variano a seconda della frequenza, e sono riportate nella tabella 2.1^[CW].

PHY	Frequency Band	Channel Numbering	Spreading Parameters		Data Parameters		
			Chip Rate	Modulation	Bit Rate	Symbol Rate	Modulation
868/915 MHz	868-870 MHz	0	300 kchip/s	BPSK	20 kb/s	20 kbaud	BPSK
	902-928 MHz	1 to 10	600 kchip/s	BPSK	40 kb/s	40 kbaud	BPSK
2.4 GHz	2.4-2.4835 GHz	11 to 26	2.0 Mchip/s	O-QPSK	250 kb/s	62.5 kbaud	16-ary Orthogonal

Tab. 2.1

L'accesso al mezzo è a contesa di tipo ALOHA CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) nelle nonbeacon network, mentre si avvale di superframe gestiti dal PAN coordinator nelle altre reti; in quest'ultimo caso vengono trasmessi beacon ad intervalli fissi, e tra 2 beacon successivi sono allocati 16 time slot (in ciascuno di essi l'accesso al canale è ancora una volta a contesa, infatti il periodo tra 2 frame beacon è detto CAP –Contention Access Period). C'è infine la possibilità di allocare fino a 7 di questi time slot in maniera garantita (GTS – Guaranteed Time Slot) per determinate trasmissioni (fig. 2.5^[KP]).

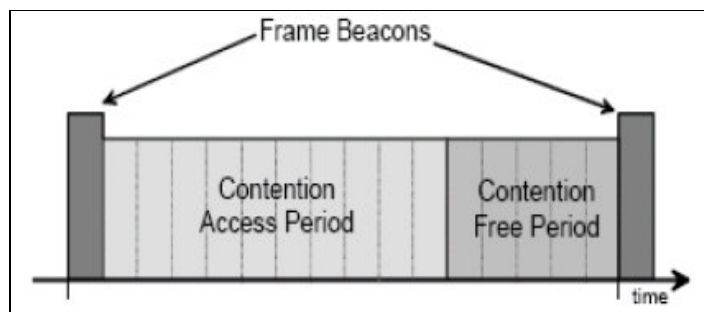


Fig. 2.5

Lo standard IEEE 802.15.4 prevede 4 tipi di frame (fig. 2.6^[GM]):

- data frame per la trasmissione dei dati; la struttura con controllo del frame (FCS – Frame Check Sequence) assicura affidabilità anche in condizioni difficili;
- ACK frame;
- MAC command frame per il controllo e la configurazione remota dei nodi;
- beacon frame per la sincronizzazione; l'effetto dell'utilizzo di un simile frame è direttamente il risparmio energetico, in quanto i nodi vengono “svegliati” alla ricezione del beacon e restano in ascolto per un tempo stabilito, al termine del quale (nel caso in cui non abbiano ricevuto ulteriori messaggi) ritornano in modalità sleep. Ne risulta un duty cycle minore dell'1%!

Nella figura 2.7 vengono riportati 2 esmpi di trasmissione dei frame.

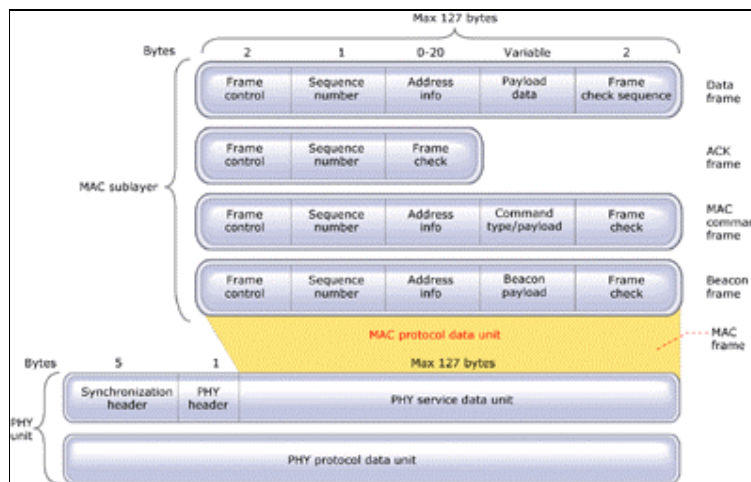


Fig. 2.6

Una funzione importante del MAC sub-layer è garantire la **sicurezza** dei dati trasmessi; a questo proposito vengono offerti 4 servizi:

- controllo degli accessi: ciascun device è in grado di selezionare tutti quei nodi con i quali vuole comunicare, e memorizzarne gli indirizzi in una lista opportuna, ACL (Access Control List);
- crittografia dei dati: si utilizza una chiave simmetrica generata dai livelli superiori dello stack;
- frame integrity: si utilizza un MIC (Message Integrity Code) per fare in modo che i dati non possano essere modificati senza la chiave di crittografia;
- sequential freshness: è un servizio che serve per valutare se gli stessi dati vengono ricevuti dallo stesso nodo più di una volta.

Non tutti i device supportano l'insieme completo dei servizi di sicurezza citati, vi sono infatti casi in cui non se ne utilizza nessuno, e casi in cui si usa solo il controllo degli accessi (funzionamento in ACL mode), e ancora casi in cui il meccanismo di sicurezza è completo.

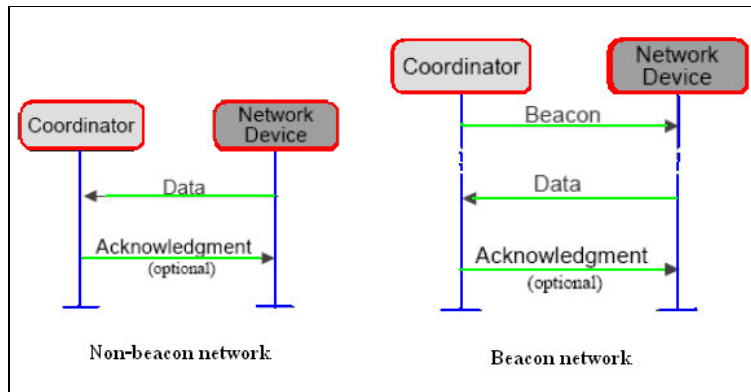


Fig. 2.7

Si è parlato diffusamente di **device**, e occorre quindi puntualizzare quali sono le caratteristiche assegnate dallo standard in esame a questo elemento base di un LR-WPAN.

Si può distinguere tra due tipi di device fisici:

- Reduced Function Device (**RFD**)
- Full Function Device (**FFD**)

Dal punto di vista logico e funzionale invece si parla di:

- Coordinator (inizializza la rete, gestisce i vari nodi, e immagazzina le informazioni);
- Router (smista i messaggi tra i vari nodi della rete);
- End-device (nodo che svolge la funzione voluta dall'utente; può essere fisicamente sia un RFD che un FFD).

La tabella 2.2 riporta alcune delle proprietà più importanti degli elementi visti.

Reduced Function Device	Full Function Device
Limited to star topology	Can function in any topology
Cannot become network coordinator	Capable of being Network coordinator
Talks only to network coordinator (FFD)	Capable of being a coordinator
Simple implementation – min RAM and ROM.	Can talk to any other device (FFD/RFD)
Generally battery powered	Generally line powered

Tab. 2.2

2.2 Network layer

Le specifiche dello standard ZigBee sono state studiate principalmente per definire un livello di rete che riuscisse a sfruttare, in maniera ottimale, le potenzialità del canale radio IEEE 802.15.4.

Con questa priorità è stato definito un network layer (fig. 2.8) che assolve ai seguenti compiti:

- configurazione della rete tramite il PAN coordinator: riconoscimento dei device, assegnazione degli indirizzi e identificazione della topologia;
- conseguimento di soddisfacenti requisiti di sicurezza: applicazione dello standard AES (Advanced Encryption Standard) sui frame trasmessi e ricevuti;
- sincronizzazione dei device della rete: utilizzo di specifici messaggi di beacon nelle reti abilitate (beacon-enabled network), o di protocolli di tipo polling nel caso di nonbeacon-enabled network;

- routing: trasmissione dei messaggi attraverso i nodi della rete scegliendo il percorso migliore (in termini di tempo di trasmissione, ma soprattutto di qualità del messaggio ricevuto); in tal senso un primo approccio è stato l'utilizzo di un algoritmo di routing basato su una versione semplificata dell'AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector), che sceglie il percorso in base al minor numero di salti. Un simile algoritmo fornisce però scarse prestazioni in ambienti particolarmente rumorosi (presenza di interferenze generiche), come ad esempio quello della trasmissione wireless; ciò ha stimolato diverse ricerche, tra cui quella del MERL (Mitsubishi Electric Research Laboratories)^[OP], che ha proposto un algoritmo per la scelta del percorso ottimale, basato sulla conoscenza dei valori di LQ (Link Quality) tra nodi vicini (fig. 2.9).

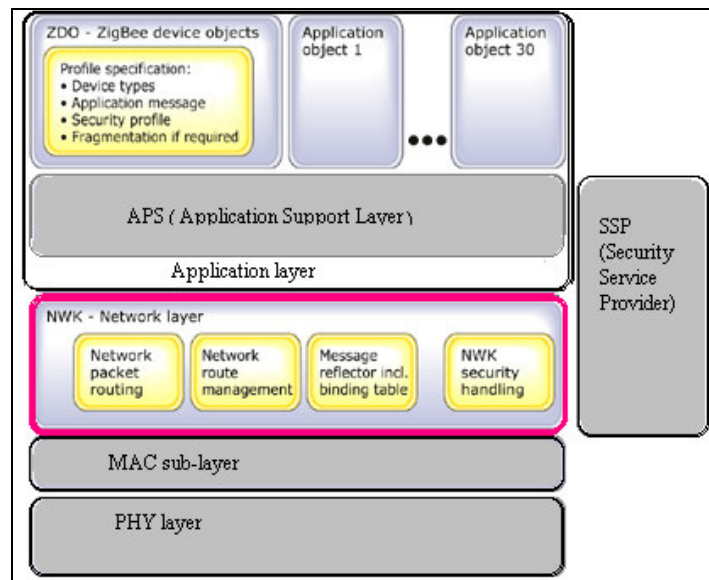


Fig. 2.8

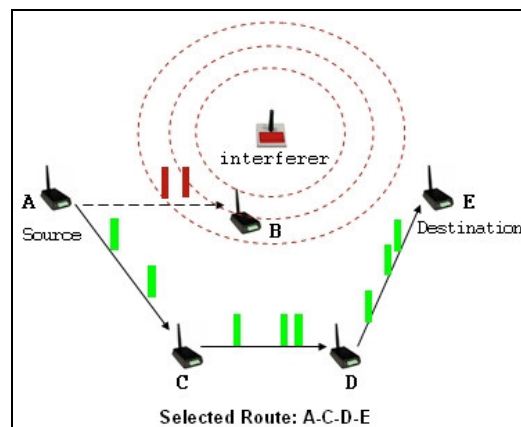


Fig. 2.9

Il network layer supporta 3 **topologie di rete** (il modello è comunque sempre e solo client-server): a stella (star), a maglia (mesh), o miste (cluster-tree); la figura 2.10 ne mostra alcuni esempi.

Nel caso di rete mista è possibile collegare assieme fino a 65000 nodi!

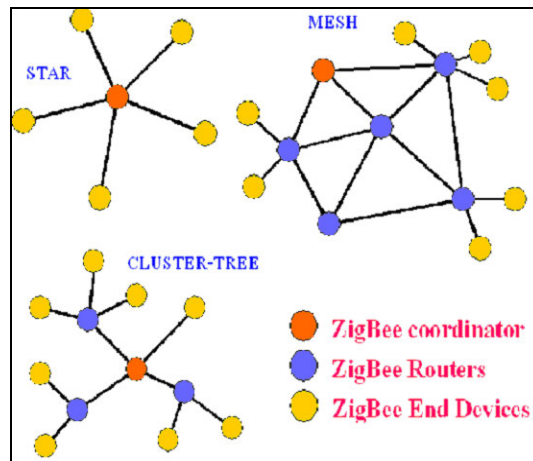


Fig. 2.10

2.3 Application layer

Come si vede dalla figura 2.8 nel caso di ZigBee il livello applicativo è composto da un framework, l'APS, dai profili definiti dall'utente (application object), e dallo ZDO (ZigBee Device Object).

In particolare, le funzioni dell'APS sono quelle di discovery (si parla di Automatic Service Discovery) dei nodi attivi presenti nell'area coperta da un device, e di binding per trovare dispositivi che offrono stessi servizi.

Il ZDO invece si occupa della classificazione di un nodo in base alle sue funzionalità (ad esempio un PAN coordinator), della scelta della metodologia di sicurezza più utile a seconda dell'applicazione, e dell'espletamento delle richieste di binding.

Infine, gli application profile sono caratterizzazioni, secondo un modello ad oggetti, delle funzionalità offerte dai diversi device, e sono fornite dal produttore del device stesso.

2.4 Confronto con tecnologie esistenti e previsioni future

Come affermato già più volte, alcuni dei vantaggi più importanti della tecnologia ZigBee sono l'affidabilità, la possibilità di creare reti capillari, il costo ridotto, e il limitato consumo energetico. Tutto ciò a fronte di un data-rate che sembra "insignificante" rispetto a quelli offerti dalle altre tecnologie già presenti sul mercato, ma che acquisisce il giusto valore andando a considerare che ZigBee è stato proposto non per trasmissioni generiche, bensì per l'invio e la ricezione di messaggi in ambiti ben definiti (sensoristica e controllo). Con questo approccio ZigBee sembra non avere rivali!

La tabella 2.3 confronta alcuni parametri della tecnologia con quelli di altre già di uso comune.

Market Name	ZigBee™	GPRS/GSM	Wi-Fi™	Bluetooth™
Standard	802.15.4	1xRTT/CDMA	802.11b	802.15.1
Application Focus	Monitoring & Control	Wide Area Voice & Data	Web, Email, Video	Cable Replacement
System Resources	4KB - 32KB	16MB+	1MB+	250KB+
Battery Life (days)	100 - 1,000+	1-7	.5 - 5	1 - 7
Network Size	Unlimited (2 ⁶⁴)	1	32	7
Bandwidth (KB/s)	20 - 250	64 - 128+	11,000+	720
Transmission Range (meters)	1 - 100+	1,000+	1 - 100	1 - 10+
Success Metrics	Reliability, Power, Cost	Reach, Quality	Speed, Flexibility	Cost, Convenience

Tab. 2.3

La figura 2.11 mostra un grafico della BER (Bit ErroRate) in funzione del rapporto segnale-rumore (SNR) di alcune delle tecnologie wireless più conosciute e affermate.

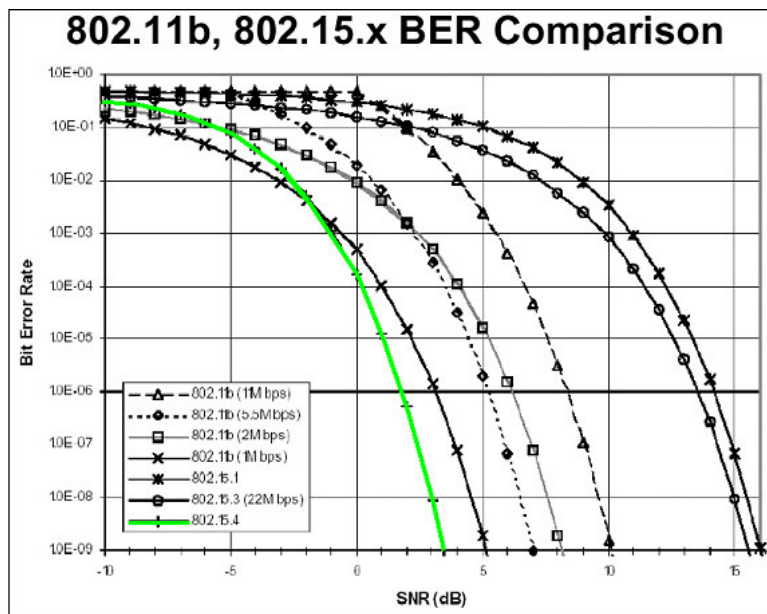


Fig. 2.11

Si vede, ad esempio, che, per ottenere una BER accettabile pari a 10^{-4} , con la tecnologia ZigBee è sufficiente un **SNR@2.4 GHz** di circa 0.2 dB (ambiente particolarmente disturbato), mentre Bluetooth (802.15.1) richiede almeno 12.5 dB.

Queste considerazioni giustificano il crescente interesse verso lo standard ZigBee, e gli sforzi di ricerca che vengono portati avanti su più fronti; a riprova di quanto detto la figura 2.12^[MI] mostra alcune previsioni future.

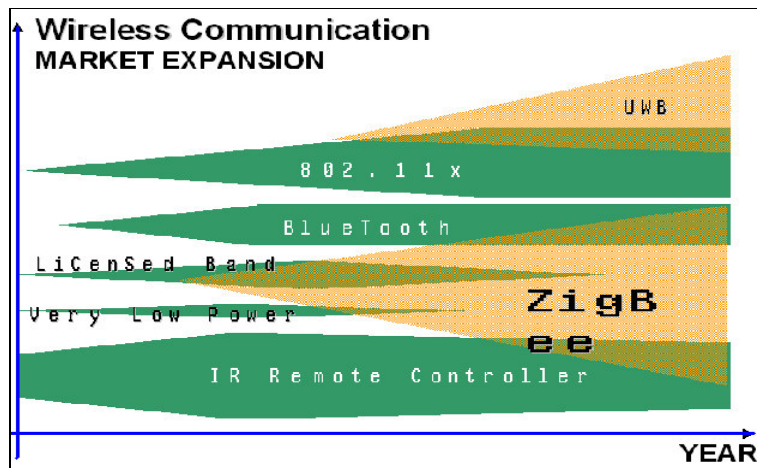


Fig. 2.12

3. UWB

3.1 Nascita dello standard e ambiti di applicazione

La tecnologia Ultra Wide Band (UWB), pur essendo diventata popolare e apprezzata solo in questi ultimi anni, sfrutta una tecnica di trasmissione degli anni '60. E' stata ipotizzata per la prima volta nel 1960 da Gerald Ross, un ricercatore della Sperry Rand Corporation; egli aveva sviluppato una rete wireless in cui venivano trasmessi brevissimi impulsi a RF su una larga porzione dello spettro. Ross e la Sperry Corporation ottennero per primi nel 1973 il brevetto statunitense per le comunicazioni via UWB.

In seguito furono fatte ulteriori ricerche soprattutto in ambito militare (in America, ma anche in Russia), e ciò spiega il fatto che le prime grosse applicazioni sono state relative alla comunicazione nei sistemi radar.

Nel 1998 la FCC (Federal Communications Commission) ha stabilito l'utilizzo di tale tecnologia nel lavoro della polizia e dei vigili del fuoco, ma solo negli ultimi anni si comincia a pensare ad applicazioni più commerciali.

Oggi spesso ci si riferisce ad UWB con il nome dello standard IEEE 802.15.3a, e questo perché, proprio recentemente, il gruppo omonimo di lavoro dell'IEEE ha designato tale tecnologia come tecnica di trasmissione dei segnali nelle reti wireless a corto raggio ed elevato data-rate, HR-WPAN (High Rate- Wireless Personal Area Network). Per una tale scelta sono state determinanti alcune delle caratteristiche di UWB come le elevate prestazioni, il basso costo e il consumo minimo, che fanno preferire la tecnologia ad altre come Bluetooth e Wi-Fi.

Le specifiche che sono state messe a punto riguardano il livello fisico e il sotto-livello MAC, mentre gli strati superiori dell'architettura di riferimento sono per ora lasciati alle singole case costruttrici. In tal senso l'idea è però quella di ipotizzare un'infrastruttura basata sul modello fisico UWB, e in grado di consentire la compatibilità tra standard già affermati e diffusi.

Un esempio degli sforzi che si stanno portando avanti in questa direzione è mostrato nella figura 3.1: si tratta della "Common UWB Radio Platform"^[UW] della Intel.

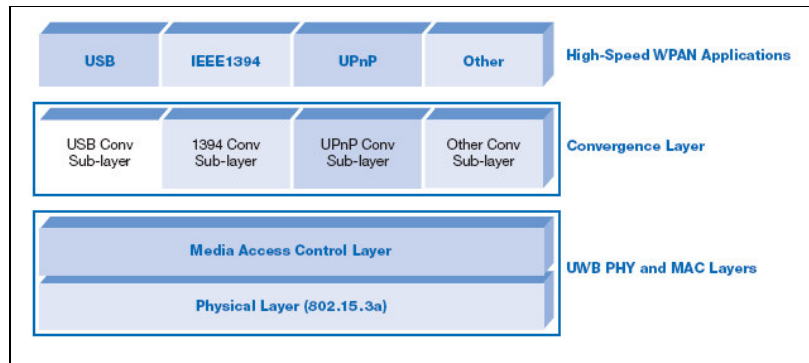


Fig. 3.1

La Intel è solo una delle tante aziende di calibro internazionale che si stanno interessando ad UWB, a dimostrazione di ciò va ricordato il proliferare di associazioni commerciali o no-profit, come l'UWBG (Ultra Wideband Working Group), nate proprio per promuovere la diffusione di tale tecnologia.

Si prevedono applicazioni, oltre che nei già citati sistemi radar, anche in altri ambiti, quali:

- multimedialità e connessione di periferiche (video, VoIP, HDTV, Home Theatre, audio, giochi, ecc...);
- applicazioni "location aware" e di tracking (ad esempio per sistemi di sorveglianza e anti-intrusione domestici e industriali);
- processi di digital imaging.

La figura 3.2 mostra una descrizione di massima del potenziale mercato UWB^[KS].

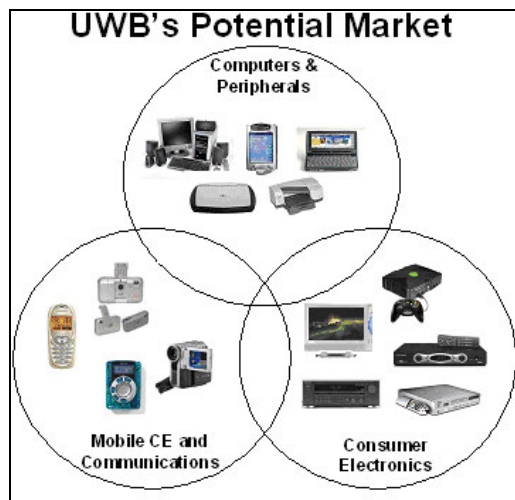


Fig. 3.2

I dispositivi della figura, e tanti altri, potranno comunicare senza necessità di fastidiosi cavi e difficoltose configurazioni, soltanto stando a pochi metri di distanza, e con velocità molto elevate!

3.2 Caratteristiche e vantaggi di trasmissione

La tecnologia UWB prevede, da un punto di vista fisico, l'invio di dati tramite treni di impulsivi di durata brevissima (da poche decine di picosecondi a qualche nanosecondo), e

ripetuti fino ad un milione di volte nell'unità di tempo. Ricorrendo ad una analisi di Fourier si vede che un impulso limitato nel tempo è rappresentato in frequenza da un segnale che spazza l'intero asse (figura 3.3).

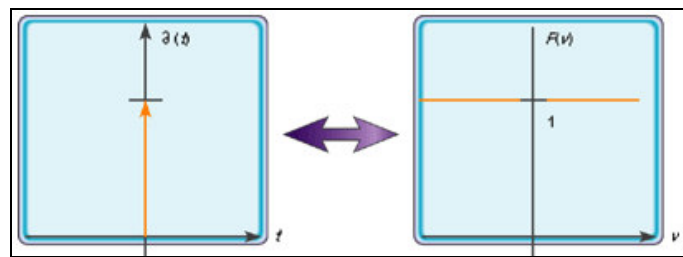


Fig. 3.3

Nella pratica si verifica quindi che il segnale UWB occupa uno range frequenziale molto più ampio di quello relativo alle altre tecnologie wireless, e, poiché un tale tipo di trasmissione richiede potenze molto basse (l'ente FCC ha stabilito 1mW per evitare problemi di interferenze), si avrà che anche l'energia del segnale viene distribuita, e quindi per ogni frequenza si potranno misurare valori di circa -30/-60 dB. La banda designata per tali trasmissioni è 3.1 GHz – 10.6 GHz come si vede dall figura 3.4.

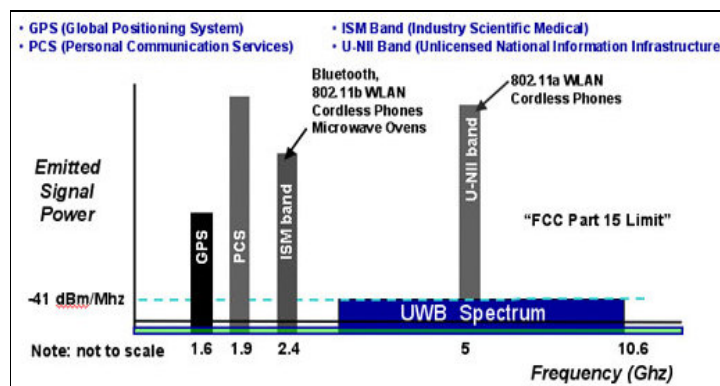


Fig. 3.4

Poiché il livello del segnale è molto simile a quello del rumore, le *comunicazioni* UWB sono *difficilmente intercettabili* e *non provocano interferenze* ai ricevitori radio per trasmissioni tradizionali; è perciò garantita la coesistenza su una stessa banda.

Le informazioni, già in formato digitale, vengono trasmesse con codifica OOK, o BPSK, sui treni di impulsi brevissimi, ed è proprio l'uso di short pulse che rende il sistema praticamente *insensibile ai problemi di fading*, cioè di interferenza sul segnale dovuta alla presenza di cammini multipli, e quindi di copie distorte del segnale, generati dagli ostacoli.

Il non dover ricorrere a tecniche di sincronizzazione in ricezione, e il fatto che si lavori sempre in digitale, rende il sistema particolarmente economico.

3.3 Previsioni future

I vantaggi della tecnologia UWB stanno spingendo molte grosse aziende internazionali ad occuparsene sempre con maggiore interesse; a tal proposito è interessante uno studio fatto dalla ABIresearch^[AB], che ipotizza un picco di 45,1 milioni di chipset e dispositivi elettronici UWB per il 2007, secondo l'andamento di figura 3.5.

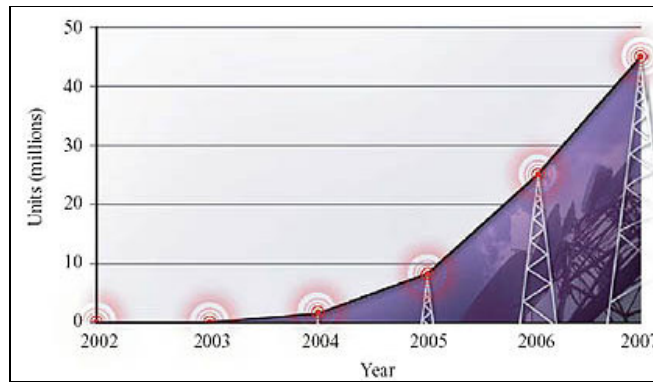


Fig. 3.5

Particolarmente interessante è la notizia che molte aziende del settore domotico si stanno interessando alla tecnologia in esame; ad esempio la Freescale è stata la prima che ha ottenuto la certificazione FCC per utilizzare trasmissioni UWB nelle comunicazioni multimediali in ambiente domestico, e comincia a produrre i primi prototipi.

[KP] “ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works”, Kinney Patrick

[IE] “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for LR-WPANs”, IEEE 802.15.4

[CW] “ZigBee: “Wireless Control That Simply Works””, William C. Craig

[GM] “Home networkin with ZigBee”, Mikhail Galeev

[OP] progetto “Link Quality Indicator Based ZigBee Network Routing Protocol”, Philip Orlik

[MI] www.mitsubishi.com

[UW] <http://www.intel.com/technology/ultrawideband/downloads/Ultra-Wideband.pdf>

[KS] “Positioning UWB on the Market”, Kurt scherf

[AB] ["Ultra Wideband \(UWB\) Wireless — An Evaluation of Technology Prospects and Potential Market Applications"](#)