

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI
Corso di Laurea Specialistica in Scienze di Internet

**UNA RASSEGNA DI SISTEMI
DI DATA COLLECTION
BASATI SU TECNOLOGIA ZIGBEE**

Tesi di Laurea in Sistemi e Reti Wireless

Relatore:
Chiar.mo Prof.
Luciano Bononi

Presentata da:
Michele Di Pierno

III Sessione
Anno Accademico 2009-2010

*Ai miei genitori,
Antonio e Rosalba...*

Introduzione

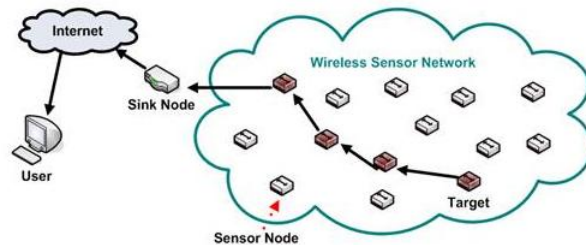


Figura 1: Architettura Wireless Sensor Networks, (www.monet.postech.ac.kr)

Da circa vent'anni a questa parte il mondo delle telecomunicazioni è migrato a tutti gli effetti verso la tecnologia digitale. Grazie alla telefonia cellulare e in particolare allo standard GSM, gli studi sulle comunicazioni digitali iniziati nella prima metà del novecento (da Shannon e da altri pionieri) hanno visto la prima grande applicazione di massa in ambito civile. Sebbene già in altri ambiti (ad esempio nella rete telefonica pubblica) la trasmissione per via numerica fosse già solidamente affermata, solo con l'avvento dei cellulari è emerso l'immenso potenziale della trasmissione wireless. Attualmente la "rivoluzione digitale" si sta dirigendo verso l'ambito senza fili o wireless, appunto.

All'interno dell' ampia famiglia delle comunicazioni wireless si stanno evolvendo molte ramificazioni diverse. Un ramo che risulta fondamentale è quello delle Reti di Sensori Wireless.

Una *Wireless Sensor Network* consiste in un grande numero di nodi sensori

che possono essere addensati senza problemi nelle varie aree di riferimento. Una rete di sensori è un'infrastruttura che comprende la misurazione, l'elaborazione e la comunicazione di valori di sensori che permettono all'amministratore di rete la possibilità di misurare, osservare e reagire a determinati eventi e fenomeni in uno specifico ambiente.

Le Wireless Sensor Network (WSN) vengono utilizzate per il monitoraggio di ampie superfici laddove risulta complesso il provisioning di connessione di rete e alimentazione elettrica. E' interessante astrarre le WSN come basi di dati per permettere il recupero delle misurazioni ottenute dai sensori effettuando operazioni di selezione ed aggregazione dei dati.

Le reti di sensori, al giorno d'oggi, ci offrono innumerevoli opportunità di innovazione che riguardano differenti settori del mercato globale, permettendo di introdurre sia nuove modalità per la raccolta e l'elaborazione dei dati che per il controllo e il monitoraggio di un particolare ambiente.

Infatti, le reti di sensori permettono di osservare e interagire con l'ambiente e con i fenomeni, restando sempre connesse in tempo reale e risultando determinanti in situazioni critiche come guerre, catastrofi naturali, epidemie, e non solo. Infatti il continuo progresso tecnologico ha permesso la miniaturizzazione di microprocessori e sensori, consentendone l'utilizzo all'interno delle reti wireless.

Una delle tecnologie radio di prossimità che si sta sviluppando maggiormente quest'oggi è lo ZigBee.

Lo Zigbee è una tecnologia radio nata dalla necessità di definire uno standard di comunicazione wireless per la creazione di reti di micro-dispositivi che rispondano ai seguenti paradigmi: bassi costi, consumi limitati, utilizzo di frequenze libere, scalabilità, affidabilità, interoperabilità e sicurezza. ZigBee è nato per realizzare reti di tipo *Wireless Personal Area Network* (WPAN), cioè reti personali di dispositivi intelligenti e multifunzione, in grado di integrare sensori ed attuatori per la traduzione in dati di stimoli esterni di varia natura, che si riconfigurano dinamicamente per formare reti ad hoc, adattabili al contesto in cui si inseriscono.

Obbiettivo del mio elaborato è affrontare tematiche riguardanti i sistemi di Data Collection basati su tecnologie di sensori wireless, in particolare sullo standard ZigBee.

Inizialmente verrà fornita una panoramica generale sulle *Wireless Sensor Networks*, dove ne verranno spiegate le caratteristiche principali e ne verranno indicati gli ambienti di utilizzo, le modalità di funzionamento e i diversi settori in cui esse sono impiegate in modo efficace e, verrà introdotto lo ZigBee come standard maggiormente utilizzato.

Successivamente ci si sposterà sul focus del mio elaborato: i sistemi di *Data Collection* andando a descrivere i differenti contesti nei quali è possibile il loro completo impiego, con riferimento a specifiche applicazioni, approfondendo un caso studio.

Nel **primo capitolo** verrà fornita una panoramica generale sulle *Wireless Sensor Networks*, partendo da una suddivisione delle reti di comunicazione in base alla loro estensione, per poi proseguire con gli elementi distintivi che compongono una WSN: *Nodo*, *Scalabilità*, *Canale Radio*, *Consumi*, p.e, e gli scenari applicativi di utilizzo.

Nel **secondo capitolo** verrà fornita una panoramica sul protocollo *ZigBee*: saranno descritte le specifiche dello standard, i componenti, le tipologie di rete e i vari dispositivi, con un'attenzione maggiore allo stack ZigBee descrivendo il livello fisico, mac, applicazione e rete. Infine gli ambiti applicativi e un breve confronto con tecnologie simili.

Nel **terzo capitolo** verrà fornita una descrizione di una delle applicazioni più importanti per le Reti di Sensori Wireless: il sistema di Data Collection. Di questo, ne verranno descritte alcune tipologie approfondendo le loro caratteristiche, le loro specificità nella raccolta dati e gli scenari di utilizzo.

Il **quarto capitolo** è il capitolo relativo al caso studio: la *Z-Sim*, ovvero una scheda sim con nodo ZigBee integrato.

Ne verranno illustrate le caratteristiche, descritto il suo funzionamento all'interno di un mobile phone ed esplicitati gli scenari d'uso.

Infine nel **quinto capitolo** saranno esposte le mie considerazioni riguardanti le tematiche trattate nel mio elaborato.

Indice

Introduzione	i
1 Reti di sensori Wireless	1
1.1 Gli elementi di una WSN	3
1.1.1 Nodo Sensore	4
1.2 Tolleranza ai guasti	7
1.3 Scalabilità	7
1.4 Costi Produttivi	8
1.5 Ambienti Operativi	9
1.6 Topologia di Reti	9
1.6.1 Tipologie di Nodi	10
1.7 Requisiti Hardware	11
1.7.1 Sistemi di Sensori	11
1.7.2 Sistemi di Controllo	11
1.7.3 Sistemi di Comunicazione	11
1.7.4 Sistema di Alimentazione	11
1.8 Canale Radio	13
1.9 Consumi	14
1.9.1 Consumi di un nodo sensore	15
1.10 WSN: Scenari Applicativi	16
1.10.1 Monitoraggio	16
1.10.2 Riconoscimento di Eventi	16
1.10.3 Classificazione di oggetti	16

1.10.4	Tracciamento di oggetti	17
1.10.5	Applicazioni Ambientali	17
1.10.6	Applicazioni Mediche	18
1.10.7	Applicazioni militari	18
1.10.8	Applicazioni domotiche	19
1.10.9	Applicazioni Commerciali	19
1.10.10	Applicazioni industriali	20
2	Lo Standard IEEE 802.15.4	21
2.1	ZigBee	22
2.2	Specifiche dello Standard	24
2.3	IEEE 802.15.4 WPAN	26
2.3.1	Componenti di una WPAN	26
2.4	Topologie di rete dello standard ZigBee	28
2.4.1	Dispositivi ZigBee	33
2.5	Livelli dello Stack ZigBee	36
2.5.1	Livello Fisico (PHY)	37
2.5.2	Livello di Accesso al Mezzo (Mac)	40
2.5.3	Livello Rete	51
2.5.4	Livello Applicazione	53
2.6	Ambiti applicativi dello ZigBee	56
2.7	Confronto con altri dispositivi	57
3	Data Collection	59
3.1	Easy-Ski	61
3.2	Mensa	63
3.3	AutomatiKitchen	65
3.4	Gestione Produzione	67
3.5	Monitoraggio Ambientale	70
3.6	Consegna Bagagli	72
3.7	Gestione Magazzino	73
3.8	Telepass	76

3.9	Metro: Il Negozio del Futuro	77
3.10	Infosat	79
3.11	Monitoraggio del traffico stradale	80
3.12	Monitoraggio dei veicoli di trasporto	84
4	Caso Studio: Z-Sim	87
4.1	Cos'è la Z-Sim	88
4.2	ZigBee nel Telefonino	90
4.3	Scenari D'uso	92
4.3.1	Acquisto assistito dei beni di consumo	93
4.3.2	Cardio Gps	94
4.3.3	BibliotecaTicket	95
4.3.4	Fitness Training	97
	Conclusioni	99
	Bibliografia	101

Elenco delle figure

1	Architettura Wireless Sensor Networks, (www.monet.postech.ac.kr)	i
1.1	Suddivisione delle reti, (www.dei.unipd.it)	3
1.2	Architettura del nodo Sensore, (www.dbgroup.unimo.it)	4
1.3	Tipologie del nodo Sensore, (www.dbgroup.unimo.it)	10
2.1	Specifiche dello Standard, (www.telecomitalia.it)	25
2.2	Tre Topologie di rete, (www.microwatt.co.uk)	28
2.3	Topologia a Stella, (www.microwatt.co.uk)	29
2.4	Topologia Cluste-Tre, (www.microwatt.co.uk)	30
2.5	Topologia Mesh, (www.microwatt.co.uk)	32
2.6	Esempio dispositivi ZigBee, (www.emcelettronica.com)	33
2.7	Architettura ZigBee, (www.swappa.it)	36
2.8	Bande di frequenza del livello fisico, (www.dbgroup.unimo.it)	37
2.9	Bande di Frequenza e Data-Rate, (www.dbgroup.unimo.it)	38
2.10	Struttura del SuperFrame, (www.webuser.unicas.it)	42
2.11	Sequenza di Trasferimento Dati, (www.webuser.unicas.it)	43
2.12	Rete non Beacon Abilitata, (www.webuser.unicas.it)	44
2.13	Comunicazione coordinatore-dispositivo, (www.webuser.unicas.it)	45
2.14	Caso di rete non Beacon Abilitata, (www.webuser.unicas.it)	45
2.15	Le quattro tipologie di frame dello standard IEEE 802.15.4, (www.webuser.unicas.it)	47
2.16	Struttura di un Beacon Frame, (www.webuser.unicas.it)	48
2.17	Struttura del Data Frame, (www.webuser.unicas.it)	49

2.18	Struttura del frame ACK, (www.ebuser.unicas.it)	50
2.19	Struttura del Mac Command Frame, (www.webuser.unicas.it)	51
2.20	Ambiti Applicativi dello ZigBee, (www.aurelwireless.com)	56
2.21	Confronto tra tecnologie di prossimità, (www.telecomitalia.com)	58
3.1	Data Collection, (www.unisi.it)	60
3.2	AutomationKitchen, (www.hwjournal.net)	66
3.3	Monitoraggio Industriale, (www.bi-lab.it)	68
3.4	Monitoraggio Ambientale, (www.tdggroup.it)	70
3.5	Smistamento sicuro dei bagagli, (www.agi.it)	72
3.6	Gestione Magazzino, (www.manageronline.it)	74
3.7	Telepass, (www.autostrade.it)	76
3.8	Metro : Negozio del Futuro, (www.mondorfid.it)	78
3.9	Infosat, (www.progettoinfosat.it)	79
3.10	Architettura generale del sistema di monitoraggio wireless del traffico, (www.wisygeo.com)	83
3.11	Schema sistema di monitoraggio del carico, (www.allix.it)	85
3.12	Schema rappresentativo della struttura di comunicazione e gestione dati, (www.allix.it)	86
4.1	Integrazione della Z-Sim, (www.telecomitalia.it)	87
4.2	Sim con nodo ZigBee Integrato, (www.telecomitalia.it)	88
4.3	ZigBee Gateway Integrato su terminale, (www.telecomitalia.it)	90
4.4	Scenari D'uso, (www.telcomitalia.it)	92
4.5	Acquisto Assistito, (www.telecomitalia.com)	93
4.6	Cardio GPS, (http://www.slideshare.net)	94
4.7	Scenario Applicativo, (www.slideshare.net)	96
4.8	Servizio di Fitness Trainig, (www.telecomitalia.it)	97

Capitolo 1

Reti di sensori Wireless

Il panorama delle tecnologie wireless diventa sempre più vasto, tanto che anche gli organi di standardizzazione come l'**IEEE**, *Institute of Electrical and Electronics Engineers* hanno suddiviso il ramo delle comunicazioni wireless in molteplici gruppi di studio. Prima di descriverli più in dettaglio è opportuno suddividere le reti di comunicazione (cablate e wireless) in base alla loro estensione. Come si può vedere in figura 1.1 mostrata a fine paragrafo, esse possono essere denominate:

- **BAN**: *Body Area Network*, ossia reti limitate ad una decina di metri dal corpo dell'utente. Sono essenzialmente concepite come reti wireless caratterizzate da bassissimi livelli di emissione di potenza (inferiori ad 1 mw). Si prevede per esse un futuro soprattutto nell'ambito biomedicale (monitoraggio mediante sensori del battito cardiaco), in combinazione con dispositivi che possano interfacciarsi a reti più vaste (ad esempio, cellulari).
- **PAN**: *Personal Area Network*, reti personali. Anche in questo caso si parla quasi esclusivamente di reti wireless a bassa potenza (lo stesso ordine di grandezza delle BAN). Il raggio di copertura è di una decina di metri o poco più. Rientrano in queste reti le tecnologie (come Bluetooth) per collegare computer portatili, cellulari e PDA (Personal

Digital Assistant). Fa parte di questa categoria anche la tecnologie che verrà descritte nel corso della tesi.

- **Lan:** *Local Area Network* Reti locali, inizialmente nate in ambito cablato (con Ethernet principalmente) e poi sviluppatasi anche in ambiente wireless. Forse la tecnologia più diffusa o conosciuta è **WiFi** (*Wireless Fidelity*). La copertura di queste reti è di qualche centinaio di metri e rispetto alle precedenti comincia a diventare molto importante la banda fornita. A questo livello si parla di connessioni Internet e di servizi di streaming audio o video. Le prestazioni fornite dalla tecnologia wireless sono spinte al limite.
- **Man:** *Metropolitan Area Network*. Si parla quasi esclusivamente di reti cablate, per il trasporto di grandi flussi di dati. Come suggerito dal nome si tratta di reti a livello cittadino con estensione di qualche chilometro.
- **WAN:** *Wide Area Network* Macro reti a livello mondiale, via cavo o su link satellitari. Rappresentano il cuore della rete Internet.

Questa suddivisione risulta necessaria per capire l'ambito in cui si inseriscono le reti di sensori wireless **WSN**, *Wireless Sensor Networks*. Il raggio d'azione dei dispositivi utilizzati in una rete di questo tipo raggiunge al massimo qualche decina di metri e fornisce prestazioni limitate in termini di banda e capacità di elaborazione. Si possono quindi circoscrivere tutte le reti di sensori alle reti di tipo PAN.

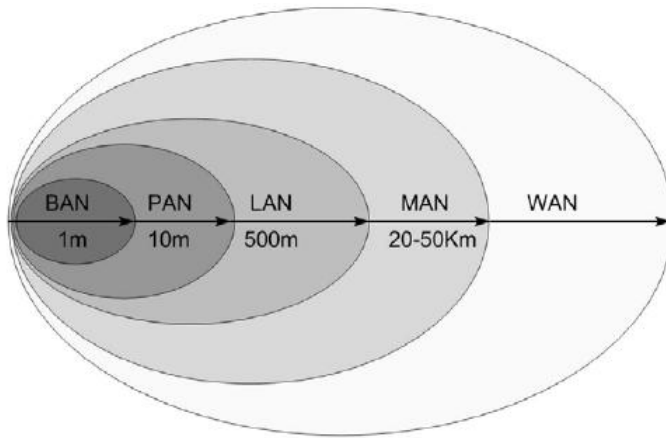


Figura 1.1: Suddivisione delle reti, (www.dei.unipd.it)

1.1 Gli elementi di una WSN

Quando si utilizza la parola [1] sensore si vuole indicare un dispositivo in grado di tradurre una grandezza fisica (luminosità, temperatura etc.) in una grandezza elettrica corrispondente (corrente o tensione). Grazie all'evoluzione dell'elettronica, i segnali elettrici possono essere acquisiti ed elaborati, in particolar modo sotto forma digitale, per poter fornire delle reazioni opportune agli eventi acquisiti.

Le reti di sensori sono [5] costituite da nodi (a volte impropriamente chiamati sensori) intelligenti che possono essere programmati per svolgere delle funzioni anche complesse. Le reti di sensori wireless sono reti di tipo *data-centric*, in cui il fine principale è la corretta rivelazione dei dati presenti nell'ambiente operativo. Spesso questi dati vengono aggregati alla rete di provenienza, cosicché un evento percepito da più sensori vicini viene visto come unico. Lo stack protocollare delle reti di sensori è più snello di quello tipico della rete internet: le **WSN** tipicamente utilizzano un software specifico e non sono pensate per un utilizzo generico (general-purpose), come invece accade per

le reti Ad-Hoc (non infrastrutturate) composte da computer. La semplicità del software installato permette di raggiungere prestazioni più spinte e di interagire direttamente con i moduli hardware dei nodi. Progettare una rete di sensori richiede la valutazione di diversi aspetti tecnologici che possono guidare il progettista ad effettuare una scelta fra le diverse tecnologie disponibili; alcuni di questi fattori devono essere: tolleranza ai guasti, scalabilità, costi produttivi, ambienti operativi, topologia di rete, requisiti hardware, mezzo trasmissivo utilizzato ed infine i consumi.

1.1.1 Nodo Sensore

Per comprendere meglio le caratteristiche delle reti di sensori wireless, è necessario prima conoscere i singoli componenti che formano la rete, e tali componenti sono i nodi sensori. Un nodo sensore non è solo un trasduttore capace di rilevare un determinato fenomeno, ma essendo parte di un rete, deve avere anche le capacità di elaborazione. Un generico nodo sensore può essere schematizzato come mostrato nella figura sottostante.

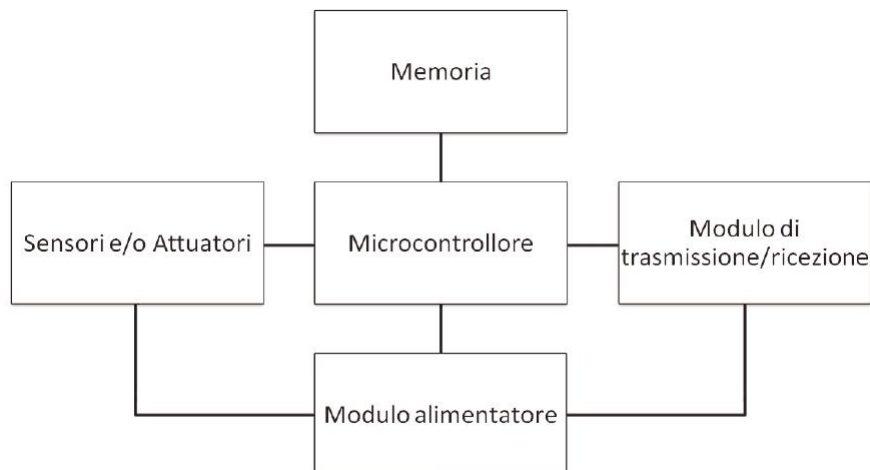


Figura 1.2: Architettura del nodo Sensore, (www.dbgroup.unimo.it)

I componenti del sistema sono:

- **Microcontrollore:** E' la parte centrale del sistema, nella quale risiede le capacità di elaborazione del nodo sensore. Il compito del microcontrollore è la gestione di tutte le periferiche del nodo sensore, tra cui l'attivazione dei attuatori, la gestione della comunicazione e dei protocolli di comunicazione. Inoltre deve occuparsi anche della gestione ed elaborazione dei dati rivelati dai sensori/attuatori. Ci sono varie soluzioni che si possono adottare per implementare il microcontrollore, una di queste è di usare un processore general-purpose programmabile, questa soluzione ha il vantaggio della flessibilità del nodo, nella scelta dei processori è necessario ricordare che una delle caratteristiche principali dei processori usati per questo compito è il basso consumo di energia. Un'altra delle soluzioni possibile è l'uso di un *Application-Specific Integrated Circuit*¹, lo svantaggio di questa soluzione è che non è flessibile, in quando un ASIC non è programmabile. La perdita della flessibilità in questo caso si traduce in un elevato grado di efficienza del dispositivo sia in termini di velocità computazionale, sia in termini di consumo di potenza, in quanto il dispositivo è ottimizzato per le operazioni specifiche che deve svolgere.
- **Sensori e/o attuatori:** Sono l'interfaccia del nodo sensore con il mondo fisico, e sono i trasduttori usati nel nodo sensore. Un trasduttore è un dispositivo, generalmente elettrico o elettronico, in grado di trasformare un tipo di energia legato ad una determinata grandezza in segnali elettrici (sensori) o viceversa (attuatori). Questo dispositivo svolge un ruolo fondamentale nel nodo sensore in quanto serve per rilevare i fenomeni interessati. Il trasduttore influenza in modo significativo il costo del dispositivo, le sue dimensioni e il consumo del sensore. In un nodo sensore possono essere presenti uno o più trasduttori.

¹Circuito integrato creato appositamente per risolvere un'applicazione di calcolo ben precisa.

- **Modulo ricezione e trasmissione:** Questo modulo si occupa della comunicazione tra i nodi sensori. La comunicazione può avvenire attraverso vari sistemi o mezzi di trasmissione, come spiegato nel paragrafo precedente. Nei sensori wireless il mezzo di trasmissione più usato è la radio frequenza, le portanti generalmente impiegate per le WSN variano da 433MHz a 2.4GHz, a seconda della scelta progettuale.
- **Modulo di alimentazione:** Uno dei vantaggi delle WSN è l'assenza dei cavi, il che significa che i nodi sensori non possono ricevere energia attraverso un cavo di alimentazione durante il loro normale funzionamento. Quindi, ogni nodo sensore deve essere dotato di un modulo di alimentazione, che gli fornisca energia necessaria per il funzionamento, in modo autonomo. Il modulo di alimentazione può essere semplicemente una batteria che consente al nodo di funzionare per un periodo di tempo, o per i nodi più costosi, anche un pannello solare, di dimensioni contenute, in grado di fornire energia necessaria. Ovviamente il fatto di poter avere un generatore elettrico interno è molto comodo, ma non bisogna dimenticare che ciò incide molto sui costi dei nodi sensori e sulla loro dimensione.
- **Memoria:** Per le elaborazioni complesse è necessario avere un dispositivo in grado di memorizzare i dati, sia di rilevamento sia le informazioni scambiate con gli altri sensori. Quindi è ovvia l'importanza di avere una memoria all'interno del nodo. Questa memoria può essere una RAM, che ha però lo svantaggio di perdere le informazioni se viene spento, o le memorie flash che mantengono le informazioni anche quando non sono alimentati, la scelta ovviamente ricade sulla memoria che consuma di meno. Ma è necessario considerare tutti gli aspetti, per quanto riguarda la RAM, non è possibile togliere l'alimentazione durante i periodi in cui non la si usa, ma ha il vantaggio di essere più veloce di una flash. Mentre la flash, ha tempi di accesso più lunghi, questo significa un maggiore consumo di potenza durante l'uso, per non

parlare del consumo delle flash sui cicli di scrittura. Quindi è necessario valutare attentamente l'uso della memoria, all'interno del nodo per scegliere la tipologia di memoria da usare.

1.2 Tolleranza ai guasti

I nodi sono intrinsecamente soggetti a guasto, a maggior ragione se utilizzati in ambienti ostili come deserti o campi di battaglia. Una rete WSN deve poter funzionare anche se l'attività di alcuni sensori viene meno. La rete deve essere in grado di autoconfigurarsi e supplire alle perdite di nodi. Ovviamente i vincoli rispetto a questo parametro di guasto sono molto diversi in funzione dello scenario applicativo: se il campo è quello industriale o medico il guasto deve essere riparato obbligatoriamente, nel monitoraggio ambientale si possono tollerare dei ritardi o dei malfunzionamenti.

1.3 Scalabilità

Il numero di nodi sensore che è possibile individuare in un'area coperta da WPAN, che ricordiamo può arrivare ad una decina di metri, è sostanzialmente variabile in funzione della specifica applicazione. Ci si aspetta comunque di individuare anche centinaia di sensori disposti molto vicini fra loro che possano raggiungere in generale densità nell'ordine dei venti dispositivi per metro quadrato. Una densità così elevata deve essere tenuta in considerazione per garantire il corretto funzionamento della rete stessa. Inoltre si dovrà considerare il fatto che i singoli nodi possono evolvere nel tempo sia in termini di posizione che di funzionamento. Si pensi per esempio ad una abitazione che contenga diversi dispositivi in ogni elettrodomestico: in un futuro non troppo lontano ci si aspetta che ogni persona porti con se un numero elevato di smart sensor (sensori intelligenti) integrati certamente in cellulari e pda, ma anche più semplicemente nelle scarpe o negli occhiali. Risulta quindi evidente che il cambiamento di posizione di una sola persona all'interno di una stanza porta

al cambiamento di posizione di molti nodi sensore. L'utilizzo di molti nodi vicini l'un l'altro provoca potenziali interferenze ma per contro porge una via per lo sviluppo di protocolli cooperativi che portino al risparmio energetico e al miglioramento delle prestazioni globali (la rete diventa un organismo complesso in cui ogni nodo, se a conoscenza dei suoi vicini, può sfruttare dei canali di comunicazione con minor traffico o meno affetti da disturbi).

1.4 Costi Produttivi

Uno dei vantaggi dell'uso di Reti di Sensori Wireless è la possibilità di utilizzare un numero molto elevato di nodi. Affinchè questo diventi un vantaggio si deve garantire che il costo di ciascun dispositivo sia molto contenuto. Se il costo del numero di nodi richiesti supera il costo di una normale struttura cablata i vantaggi tecnologici risultano essere annullati dallo svantaggio economico. La tecnologia allo stato dell'arte dovrebbe consentire di avere nodi sensore di costo inferiore al dollaro ma tuttora, se per esempio si considerano dispositivi Bluetooth, il costo del solo chip radio supera questo limite. Il problema del costo inoltre non risiede solo nella tecnologia di comunicazione scelta, ma deriva anche dai trasduttori, dall'elettronica di condizionamento del segnale ed infine dalle unità di calcolo. Il progetto di uno sensore intelligente deve quindi essere guidato dalle particolari richieste dell'applicazione, scegliendo i componenti che garantiscano le specifiche di progetto, ma che al contempo rispettino le disponibilità di budget.

1.5 Ambienti Operativi

I sensori possono essere utilizzati in luoghi fortemente inospitali, come campi di battaglia o ambienti industriali caratterizzati da alte pressioni e/o alte temperature. Il progetto di un nodo quindi non può prescindere dal contesto all'interno del quale dovrà essere utilizzato, in particolare si deve prevedere un package in grado di sopportare le condizioni di temperatura, pressione, vibrazione e accelerazione tipiche dell'ambiente d'impiego. Tutto ciò deve essere fatto alla luce di due parametri già indicati: la tolleranza ai guasti ed il contenimento dei costi.

1.6 Topologia di Reti

Gli aspetti inerenti alla topologia delle reti di sensori wireless possono essere studiati sotto due diversi aspetti: il primo aspetto è la topologia di rete in termini di posizione reciproca dei diversi dispositivi (topologia fisica), mentre il secondo aspetto definisce le diverse tipologie di rete da un punto di vista funzionale, secondo le possibilità di comunicazione fra i diversi nodi (topologia logica). Per quel che concerne il posizionamento fisico dei dispositivi è opportuno ricordare che uno dei vantaggi delle reti wireless risiede proprio nell'estrema libertà con la quale si possono collocare i nodi sensore. Anche nodi sensore essenzialmente statici, cioè posti in posizioni precise che non evolvono nel tempo, sono soggetti al problema dello spegnimento a causa della mancanza di energia: questi dispositivi contribuiscono all'evoluzione della topologia di rete. Infine, è opportuno ricordare che un altro vantaggio delle WSN è la scalabilità, raggiungibile con l'aggiunta di nuovi dispositivi, con conseguente cambiamento della topologia di rete. Tutte le osservazioni fatte portano a valutare l'utilizzo di "topologie funzionali di rete" e di protocolli di routing (protocolli di instradamento) che garantiscano l'affidabilità della rete anche in corrispondenza di continui cambiamenti di posizione dei nodi e/o all'aggiunta/rimozione dei nodi stessi. In prima approssimazione è possibile classificare le topologie di rete in tre diversi gruppi: *reti a stella*,

reti mesh o peer to peer (tutti i nodi hanno le stesse potenzialita) ed infine *reti ad albero* che vedremo dettagliatamente nel paragrafo successivo.

1.6.1 Tipologie di Nodi

E' possibile distinguere i nodi all'interno della rete in due tipologie di nodi:

- Nodi sorgenti, la sua funzione è di fornire le informazioni rilevate;
- Nodi destinazione o coordinatore, ha il compito di raccogliere le informazioni rilevati.

Il nodo destinazione può essere:

- Un dispositivo diverso dai nodi sensori, ma che fa parte della rete;
- Un dispositivo uguale ai nodi sorgenti, ma con il compito di raccogliere le informazioni rilevate dagli altri nodi, ovviamente anche il nodo destinazione può avere la funzione di nodo sorgente;
- Un dispositivo esterno che non fa parte della rete.

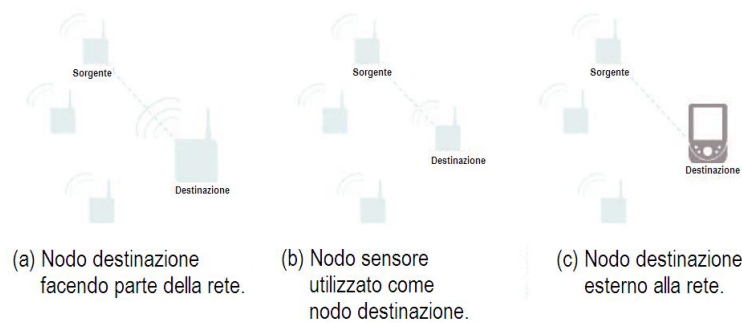


Figura 1.3: Tipologie del nodo Sensore, (www.dbgroup.unimo.it)

1.7 Requisiti Hardware

Solitamente ogni tipo di nodo wireless deve possedere questi sottosistemi:

1.7.1 Sistemi di Sensori

Insieme di alcuni sensori intesi come semplici trasduttori. Si possono accorpate in questo sistema i relativi convertitori analogico-digitale, (*Analog to Digital Converter*) indispensabili per interfacciare il mondo analogico dei sensori con il mondo digitale della trasmissione numerica.

1.7.2 Sistemi di Controllo

Comprende i vari bus di comunicazione, le memorie (integrate, tipicamente Flash) e soprattutto il processore (solitamente a basso consumo energetico) che si occupa di gestire gli altri sottosistemi.

1.7.3 Sistemi di Comunicazione

Si intende un sistema di tipo wireless, ossia non cablato. Esistono varie opportunità di comunicazione senza fili: comunicazione ottica (tipicamente infrarosso), che necessita della *Line Of Sight (LOS)*, ossia della visibilità ottica diretta tra trasmettitore e ricevitore, comunicazione audio e comunicazione radio.

Quest'ultima è sicuramente la più versatile e diffusa perchè non necessita di visibilità diretta e perchè esistono trasmettitori e ricevitori molto efficienti anche dal punto di vista energetico.

1.7.4 Sistema di Alimentazione

Parlando di nodi wireless, risulta evidente che l'energia necessaria al loro funzionamento non può giungere via cavo, quindi ogni nodo deve avere una sua autonomia energetica (batterie) e gestirla in maniera accorta (si pensi a una rete di nodi dispersi in una foresta: non è possibile cambiare le batterie

spesso). Ecco perchè uno dei punti chiave dell'elettronica e dei protocolli per WSN è il risparmio energetico e il basso consumo. Importanti sono anche le tecniche di *Energy Scavenging* "spazzare energia", che permettano di raccogliere energia dall'ambiente per mezzo di celle fotovoltaiche o sistemi meccanici per lo sfruttamento dell'energia cinetica.

1.8 Canale Radio

Le bande **ISM** (*Industrial, Scientific and Medical*) [1] rappresentano una delle scelte migliori se si utilizza una comunicazione a radiofrequenza, visto che sono libere da obblighi di concessione in molti stati. Le frequenze ISM sono state regolamentate dagli standard ETSI EN 301 498-1, ETSI EN 300 328-1 V1.3.1 per l'Europa, FCC CFR 47 per Usa e Canada e ARIB STD-T66 per il Giappone; altri stati hanno delle normative locali che però consentono l'utilizzo di dispositivi che rispettino gli standard ETSI e/o FCC. Si ricorda che per lo sviluppo di una rete di sensori wireless si vogliono realizzare dispositivi dai costi e dalle dimensioni contenute. Ciò porta a considerare solo alcune delle bande ISM: a causa di alcune limitazioni hardware in termini di efficienza delle antenne e limitazione dei consumi, negli ultimi anni si sta utilizzando sempre più la banda dei 2.4 GHz.

Le bande ISM sono svincolate dall'utilizzo di un particolare standard di comunicazione, consentendo quindi al progettista ampia libertà nell'implementazione di tecniche di risparmio energetico, fondamentali nelle reti di sensori. D'altro canto vi sono diverse limitazioni inerenti la potenza di uscita delle trasmissioni radio, dovute a ragioni legislative. Per minimizzare l'inquinamento elettromagnetico, le potenze tipicamente consentite (al connettore d'antenna del trasmettitore) all'interno delle ISM coprono un range compreso fra gli 0 dBm ed i 20 dBm: la potenza limitata si traduce in coperture limitate del segnale.

1.9 Consumi

Come analizzato nel paragrafo dei requisiti hardware, ciascun nodo sensore deve impiegare delle piccole unità di potenza. Alcuni ambienti rendono la sostituzione delle unità di potenza irrealizzabile.

In una rete multi-hop (multi-salto) ciascun nodo riveste il doppio ruolo di sorgente dell'informazione è "ripetitore" dell'informazione generata da altri nodi: questo implica che il malfunzionamento di alcuni nodi, dovuto al loro spegnimento per la mancanza di potenza, comporta un cambiamento della topologia di rete con conseguente necessità di "reinstradare" i pacchetti in modo corretto.

Scopo principale di un sensore wireless è la misurazione di una grandezza fisica, l'elaborazione dell'informazione stessa ed infine la comunicazione dell'informazione.

Risulta quindi conveniente analizzare i consumi di un sensore wireless dividendoli in questi tre domini temporali.

Il consumo durante l'attività di trasduzione dipende in maniera sostanziale dal tipo di applicazione: la corretta rilevazione di una grandezza fisica dipende, oltre che dal tipo di grandezza in gioco, anche dal sistema di trasduzione, dal rumore di fondo che perturba la misura e dall'elettronica di condizionamento necessaria. Per questi motivi risulta difficile definire delle strategie generali che consentano la diminuzione dei consumi.

L'attività di comunicazione risulta essere sicuramente la più onerosa in termini di consumi, in quanto un nodo, per trasmettere l'informazione, deve mantenere attivo l'ascolto sul canale radio per verificare che l'informazione sia stata effettivamente ricevuta dal destinatario. Questo comporta che per stimare i consumi dovuti ai moduli di comunicazione si devono valutare le fasi di trasmissione e ricezione, ma anche le fasi di accensione e spegnimento della radio. L'elettronica impiegata all'interno dei trasmettitori e ricevitori richiede infatti un tempo di assestamento iniziale variabile dovuto alla presenza di oscillatori interni, PLL (Phased Locked Loop), amplificatori di potenza ed altri componenti. Questi tempi di commutazione On/Off dei transceiver,

così come i tempi necessari alla commutazione fra le attività di ricezione e trasmissione, possono addirittura divenire la componente dominante dei consumi, nel caso di pacchetti di informazione molto "piccoli".

1.9.1 Consumi di un nodo sensore

Uno dei principali vincoli progettuali di un nodo sensore wireless o dei sistemi che usano le reti di sensori wireless, poiché non può ricevere l'alimentazione da un cavo riguarda il consumo del dispositivo, il quale influenza il tempo di vita del nodo sensore, e quindi la stabilità della rete di sensori, in quanto la "morte" di alcuni nodi sensori possono modificare il maniera significativa il funzionamento della rete. In un nodo sensore, il consumo energetico può essere determinato da tre principali funzioni:

- Il rilevamento dei dati dall'ambiente;
- L'elaborazione dei dati rilevati o ricevuti;
- Comunicazione con gli altri dispositivi della rete, questa è l'operazione in cui il consumo di energia è maggiore.

1.10 WSN: Scenari Applicativi

Le reti di sensori si stanno diffondendo in maniera capillare e stanno diventando un ambito di studio molto promettente in quanto esistono molteplici campi di applicazione per queste tecnologie. Una prima suddivisione può essere fatta in base alla finalità della rete. Di seguito si riportano una serie di macro-settori in cui è possibile dividere il mondo delle WSN.

1.10.1 Monitoraggio

Questo tipo di rete viene utilizzata per tracciare in maniera continuativa una certa grandezza. La sorgente da monitorare può essere un singolo sensore o una sottorete da cui proviene un aggregato di dati. Una rete di questo genere richiede un campionamento solitamente isocrono e fisso con un consumo energetico considerevole.

1.10.2 Riconoscimento di Eventi

Un'altro importante scenario applicativo risulta essere l'event detection: la rete deve accorgersi di situazioni di "allarme", ossia di quando una determinata grandezza esce dai livelli stabiliti. Questo monitoraggio è potenzialmente meno pesante del precedente a livello energetico, in quanto il nodo entra in uno stato attivo solo in casi eccezionali.

1.10.3 Classificazione di oggetti

L'obiettivo di queste reti è il riconoscimento di alcune grandezze tra un insieme di prototipi noti. Questo implica un carico computazionale superiore agli altri tipi di rete.

1.10.4 Tracciamento di oggetti

In questo caso la rete funge da sistema di sorveglianza, riconoscendo e stimando la posizione di alcuni oggetti in una determinata area geografica. Oltre a questa prima suddivisione si possono descrivere i vari scenari in cui le WSN sono presenti e in cui saranno indispensabili in un immediato futuro.

1.10.5 Applicazioni Ambientali

Uno dei campi di maggior utilizzo delle WSN è il monitoraggio ambientale. Con l'avanzare dell'industria e degli agenti inquinanti diventa essenziale controllare aree geografiche molto estese, soprattutto a ridosso dei centri abitati, per valutare l'impatto ambientale di alcune scelte umane. Un altro ambito d'interesse è lo studio di zone pericolose, come vulcani o zone a rischio sismico in questo caso si può intendere quanto importante sia monitorare con l'ausilio delle WSN delle aree senza alcun rischio per l'uomo. Gli studi scientifici su flora e fauna si possono avvalere di una rete di monitoraggio ambientale: questo porta anche nell'agricoltura un'ulteriore rivoluzione tecnologica, permettendo di controllare un certo tipo di coltura e intervenire in tempo reale con trattamenti opportuni per debellare insetti o situazioni critiche. Potenzialmente la rete di sensori può essere dispersa sul suolo da un aereo e riuscire ad auto-configurarsi per trasmettere dati a un centro di controllo. In questo scenario il budget energetico è il vincolo principale poiché spesso non è possibile sostituire frequentemente le batterie. Proprio in questo ambito si stanno sviluppando le tecniche di energy scavenging per trarre dall'ambiente la fonte di energia. I protocolli di gestione di una rete per monitoraggio ambientale non mirano a prestazioni eccelse in termini di traffico utile (throughput) e tempi di reazione, in quanto anche gli eventi più repentini (ad esempio sismici o tellurici) avvengono su scale di minuti od ore. La topologia che più si adatta a questi scopi è una rete distribuita di tipo Ad-Hoc, ossia senza infrastrutture prestabilite. Inoltre la connettività della rete deve essere di tipo magliata (mesh), permettendo più vie di comu-

nicazione multi-hop (i nodi intermedi tra sorgente e destinazione fungono da ponte) e una certa ridondanza nella rete (l'ambiente outdoor spesso presenta ostacoli quali rocce o montagne che impediscono la comunicazione diretta tra sorgente e destinazione). Nel monitoraggio di una determinata area geografica spesso perde di significato l'indirizzo esatto della sorgente, perchè i dati provenienti da una sottorete vengono aggregati, perdendo la necessità di conoscere la sorgente precisa.

1.10.6 Applicazioni Mediche

Una delle applicazioni più delicate è sicuramente il monitoraggio biomedicale. L'utilizzo di WSN all'interno di ospedali può essere un valido supporto per seguire costantemente alcuni parametri fisiologici dei pazienti e rendere più essibili e portabili alcuni macchinari. Ma questo scenario è solo il primo passo verso una rete di sensori molto piccoli e distribuiti all'interno dei tessuti che possano misurare la temperatura, la pressione sanguigna e molti altri parametri di rilievo. Le prime applicazioni in questo senso si hanno nei dispositivi di personal healthcare (soprattutto per attività ginniche), magari integrati in orologi da polso o bracciali appositi che rilevino il battito cardiaco o le calorie bruciate durante l'attività.

1.10.7 Applicazioni militari

Direttamente collegate alle applicazioni mediche sono quelle militari. Lo sviluppo di speciali tute (anche nell'ambito aeronautico) che integrino sensori di pressione e temperatura per verificare lo stato di salute dei militari è un ambito di ricerca molto attivo. Speciali nodi potrebbero riconoscere attacchi chimici o batteriologici e valutare lo stato di un'intera area evitando di esporre vite umane a rischi inutili. Da notare che le tecnologie ora ampiamente utilizzate, quali la trasmissione a spettro espanso, sono nate in ambito militare per garantire robustezza all'interferenza e una bassa probabilità di intercettazione (bassi livelli di potenza e codici di spreading che rendono il

segnale indecifrabile a chi non li conosca). La rete wireless, potenzialmente più esposta a attacchi, grazie alla ridondanza e ad una topologia di tipo mesh garantisce comunque la funzionalità anche nel caso che qualche nodo venga distrutto.

1.10.8 Applicazioni domotiche

Tutti gli elettrodomestici più moderni hanno un'elettronica molto evoluta e il futuro consiste nell'interazione tra i vari elettrodomestici. L'unità di controllo di questi dispositivi permette funzioni sempre più avanzate, aprendo uno scenario in cui i vari elettrodomestici possano collaborare autonomamente per gestire in maniera efficiente le faccende domestiche. La chiave per questo è la possibilità di comunicare: sicuramente la tecnologia dovrà essere di tipo wireless. Un'altra applicazione importante è la gestione del riscaldamento, della ventilazione e dell'illuminazione. L'uso di sensori wireless riduce i costi di installazione e rende molto meno invasiva la modifica di sistemi esistenti (si pensi alla necessità di forare le pareti, con la tecnologia wireless questo non è più necessario).

1.10.9 Applicazioni Commerciali

In questa categoria rientrano molti scenari diversi. Sicuramente alcuni fra i più interessanti sono: ambiente automotive (utilizzo delle WSN su automobili), antifurto intelligenti e versatili, servizi all'interno di musei o scuole (localizzazione di persone o oggetti).

Nell'ambito automobilistico si intende sia un monitoraggio del traffico sia strumenti di navigazione autonoma, anche se per questi ultimi il livello di affidabilità necessario è molto elevato, superiore a quello ottenibile attualmente.

1.10.10 Applicazioni industriali

Un settore molto interessante per le WSN, è l'automazione industriale e il monitoraggio in ambiente industriale. Le reti utilizzate in questi ambienti sono relativamente statiche e gerarchiche, ma hanno dei vincoli di adattabilità e prestazioni molto più stringenti che in altri scenari. Gli utilizzi sono molteplici, ma tutti finalizzati al controllo dei processi produttivi. Spesso si intende realizzare una sottorete di monitoraggio wireless da interfacciare mediante opportuni gateway (ossia dei traduttori di protocolli) con bus di campo tipici degli ambienti industriali (ossia bus di tipo cablato).

Capitolo 2

Lo Standard IEEE 802.15.4

Il mondo delle reti di sensori Wireless è molto vasto e sino ad ora molti gruppi di studio universitari e commerciali, hanno creato di forgiare nuovi standard. Sebbene esistono una miriade di tecnologie e proposte differenti, l'attenzione inevitabilmente cade sugli standard più affermati. Una questione di primaria importanza è se si possono utilizzare le WSN dei sistemi basati su IEEE 802.11, la cui controparte commerciale è nota come Wi-Fi, o su IEEE 802.15.1, (controparte commerciale) bluetooth. La filosofia di base di entrambe le soluzioni deve essere pesantemente modificata per adattarsi alla necessità delle WSN.

Wi-Fi è stato creato come sostituto wireless della LAN ed eredita in pieno l'architettura e lo stack TCP/IP tipico di internet. E' una tecnologia versatile, in quanto fornisce prestazioni elevate e una piattaforma aperta su cui installare degli applicativi arbitrari. Per contro non gestisce alcun tipo di risparmio energetico e si presenta come una soluzione pesante per una rete di sensori wireless. Si nota fin da subito che l'utilizzo di tutto lo stack TCP/IP rallenta il sistema, in quanto già gli stessi header dei protocolli portano ad avere pacchetti molto grandi e politiche di gestione (e routing) complicate. Un discorso analogo e complementare può essere fatto per Bluetooth: questa tecnologia risulta più snella, ma ha il limite fondamentale della mancanza di risparmio energetico e soprattutto limita le sottoreti ad un massimo di

sette nodi, contravvenendo al requisito di scalabilità. In letteratura esistono studi su entrambi i sistemi applicati all'ambito delle reti di sensori ma la via più promettente appare l'utilizzo di protocolli dedicati creati ex-novo per le esigenze delle WSN. Come in tutti gli altri ambiti delle comunicazioni digitali, anche in quello delle WSN ogni ente di standardizzazione internazionale propone i propri sistemi e protocolli. In questa tesi verrà esposto lo standard creato da un sottogruppo dell'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)¹ Il gruppo 802.15 dell'IEEE si occupa delle **WPAN** *Wireless Personal Area Network*, ossia delle reti personali wireless, con raggio di azione di una decina di metri. Il comitato dell'IEEE 802.15.4 a sua volta suddiviso in base al bit-rate² e alle prestazioni dei dispositivi da progettare. Oltre all'802.15.1 (cui afferisce ad esempio lo standard alla base di Bluetooth) e all'802.15.3, che si occupa di comunicazioni a impulsi o UWB³ (Ultra Wide Band) ad alti bit-rate, esiste il TG4 (o Task Group 4) che si occupa delle WPAN a basso bit-rate. Uno degli standard più promettenti e utilizzati è proprio l'IEEE 802.15.4, approvato nel 2003 e quindi divenuto standard a tutti gli effetti.

2.1 ZigBee

Le reti di tipo ZigBee iniziarono ad essere studiate nel 1998, quando molti ingegneri si resero conto che sia WiFi che Bluetooth non riuscivano a rispondere alle necessità di nuove applicazioni che non richiedevano un aumento della velocità di trasferimento, bensì una semplificazione della tecnologia, dei consumi ridotti e una capacità della rete radio digitale ad hoc di autoorganizzarsi. La prima specifica ZigBee è stata approvata il 14 dicembre 2004

¹Associazione internazionale di scienziati professionisti con l'obiettivo della promozione delle scienze tecnologiche.

²Velocità di trasmissione, indica la quantità di dati che possono essere trasferiti, attraverso una connessione su un canale, in un dato periodo di tempo.

³Tecnologia sviluppata per trasmettere e ricevere segnali mediante l'utilizzo di impulsi di energia in radiofrequenza di durata estremamente ridotta.

ed è disponibile a tutti i membri della ZigBee Alliance, un consorzio formato da più di 200 grandi aziende tra cui (Philips, Samsung, Siemens e Texas Instruments). La ZigBee Alliance *Alleanza commerciale simile a Bluetooth* è nata come alleanza tra vari eventi commerciali e accademici mirata allo sviluppo di uno stack di protocolli per automazione e applicazione di controllo remoto. Dopo poco tempo anche un comitato dell'IEEE, 802.15.4, si è interessato a questi argomenti cosicchè dalla loro unione è nato il protocollo commerciale **ZigBee**. Le finalità di questo prodotto possono così essere riassunte:

- Bassi bit-rate.
- Bassi consumi di energia.
- Bassi costi.

Solitamente i due nomi vengono erroneamente utilizzati come sinonimi, infatti ZigBee e IEEE 802.15.4 sono complementari. Analizzando lo stack ISO/OSI di questo sistema, IEEE 802.15.4 si occupa di fornire i primi due livelli, **Mac** (*Medium Access Control*) e il PHY Physical Layer mentre ZigBee specifica i livelli superiori, a partire dal livello di Network fino al livello di Applicazione. I dispositivi ZigBee si inseriscono in un segmento di ricerca e di mercato diverso da Bluetooth. ZigBee è una tecnologia per reti wireless a basso bit-rate, potenzialmente molto estese costituite da nodi che abbiano un'autonomia energetica di mesi o di anni. Le tipologie di rete permesse sono molteplici e i dispositivi hanno un raggio di copertura di 10-75m (distanze maggiori vengono coperte mediante tecniche di mult-hop, saltando di nodo in nodo).

2.2 Specifiche dello Standard

La [6]standardizzazione si spinge fino a livello applicativo, definendo profili applicativi specifici che garantiscono l'interoperabilità tra produttori diversi che possono coesistere con profili privati proprietari. Le sue regole di funzionamento lo rendono un sistema abbastanza robusto in presenza di rumore, in quanto prima di inviare le informazioni verso il livello fisico queste vengono modulate utilizzando la tecnica del **DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*), che prevede la trasmissione di ogni bit secondo una sequenza ridondante. ZigBee opera su frequenze libere della banda **UHF** (868 e 915 MHz) e ISM (2.4 GHz), con velocità di trasmissione dati che arrivano al massimo a 250 kbit/s. Essendo una tecnologia di prossimità, il raggio di azione non supera le decine di metri su singola tratta (single-hop), ma si estende a chilometri se si sfrutta il "multi-hop", cioè la possibilità di far transitare l'informazione da un nodo all'altro fino al nodo destinazione, che, non trovandosi nel raggio d'azione del nodo sorgente, non può essere raggiunto direttamente. Un'altra possibilità per coprire distanze ampie è la possibilità di utilizzare per la trasmissione antenne radio amplificate, che permettono di raggiungere un 1 km di distanza in situazioni di *Line-of-Sight*; la distanza si riduce in presenza di ostacoli, rimanendo comunque nell'ordine delle centinaia di metri. Un requisito fondamentale per reti di dispositivi che devono poter operare anche in ambienti esterni, con costi e tempi di manutenzione molto bassi, o essere integrati in sistemi con risorse di potenza limitate, è la riduzione del consumo energetico. ZigBee garantisce consumi limitati (dell'ordine di qualche decina di m) quando i nodi sono attivi in trasmissione/ricezione e permette modalità di risparmio energetico (con consumi minori di 1 mA), in cui il nodo può essere messo in stato dormiente (sleep mode) e risvegliarsi per comunicare. Questo consente di avere tempi di vita dei dispositivi medio-lunghi, che arrivano anche ad alcuni anni per quelle applicazioni in cui il nodo ha un "tempo di attività" (duty cycle) basso: un esempio potrebbe essere una rete di sensori distribuiti sul territorio per il monitoraggio di parametri ambientali, in cui i nodi si risvegliano solo per il tempo necessario

alla trasmissione dei campioni prelevati.

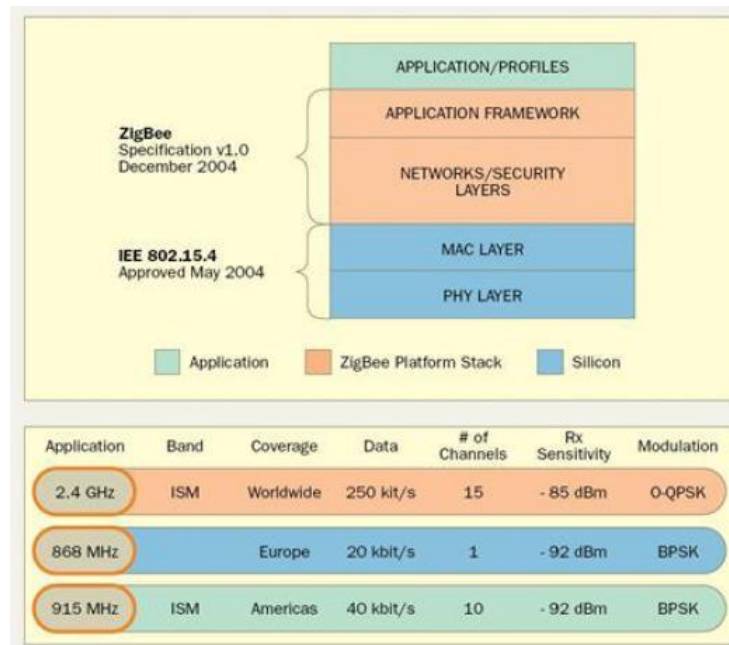


Figura 2.1: Specifiche dello Standard, (www.telecomitalia.it)

2.3 IEEE 802.15.4 WPAN

Lo standard IEEE 802.15.4 è stato designato per reti flessibili a basso costo, bassi consumi energetici e bassi bit-rate. Viene utilizzato in dispositivi che non richiedono throughput "traffico utile trasmesso" molto spinti e che non possono supportare i requisiti energetici di stack protocollari pesanti "come ad esempio TCP/IP".

2.3.1 Componenti di una WPAN

La flessibilità e la scalabilità sono garantite anche dal fatto che sono previsti due tipi di dispositivi denominati *devices*:

1. **FFD**: Full Function Device, dispositivi con funzionalità complete.
2. **RFD**: Reduced Function Device, con funzionalità ridotte.

Ogni rete deve includere almeno un **FFD** *Full Function Device* operante come coordinatore della **WPAN** *Wireless Personal Area Network*. I dispositivi **FFD** possono operare in tre modi, come coordinatori della PAN Personal Area Network, come coordinatori semplici o come devices normali. Gli **RFD** sono pensati per applicazioni molto semplici che nn debbano spedire grandi quantità di dati. Gli **FFD** possono comunicare con qualsiasi altro nodo, mentre gli **RFD** possono dialogare solo con gli **FFD**: in questo modo si possono realizzare diverse tipologie di rete, che non si limitano a semplici configurazioni a stella "*Star*", ma supportano anche reti magliate "*Mesh*" e reti a tipologia mista *Cluster Tree*", in cui sottoreti a stella (un FFD che coordina diversi RFD) si interfacciano mediante collegamenti diretti fra **FFD**. L'inclusione di terminali RFD all'interno della rete è orientata per applicazioni estremamente semplici, come interruttori di luce o sensori ad infrarossi, che non necessitano dell'invio di grosse quantità di dati e possono quindi, essere supportate attraverso minime risorse energetiche e limitate capacità di memoria. Una WPAN è costituita da un minimo di due dispositivi operanti in una stessa **POS** *Personal Operating Space*, in ciascuna rete, uno solo di

essi può configurarsi come PAN Coordinatore che si occupa di iniziare, gestire e terminare la comunicazione tra le diverse periferiche. In ogni caso, ciascun dispositivo interno alla rete possiede un indirizzo esteso a 64 bit; tale indirizzo può essere direttamente utilizzato per la comunicazione oppure, in alternativa, si utilizza un indirizzo ridotto, attribuito dal PAN coordinatore ogni volta che il dispositivo viene da esso rilevato.

2.4 Topologie di rete dello standard ZigBee

Spesso, al fine di fornire i dati da un capo della rete ad un altro, un pacchetto viene trasmesso diverse volte dai router intermedi. Tale procedura richiede l'utilizzo di un meccanismo intelligente di routing che genera la scoperta del percorso che dipende dalla topologia della rete. I tre tipi di rete che fornisce lo ZigBee sono:

- Rete a Stella.
- Rete ad Albero.
- Rete Mesh.

Un coordinatore ZigBee sarà responsabile di inizializzare, mantenere e controllare la rete.

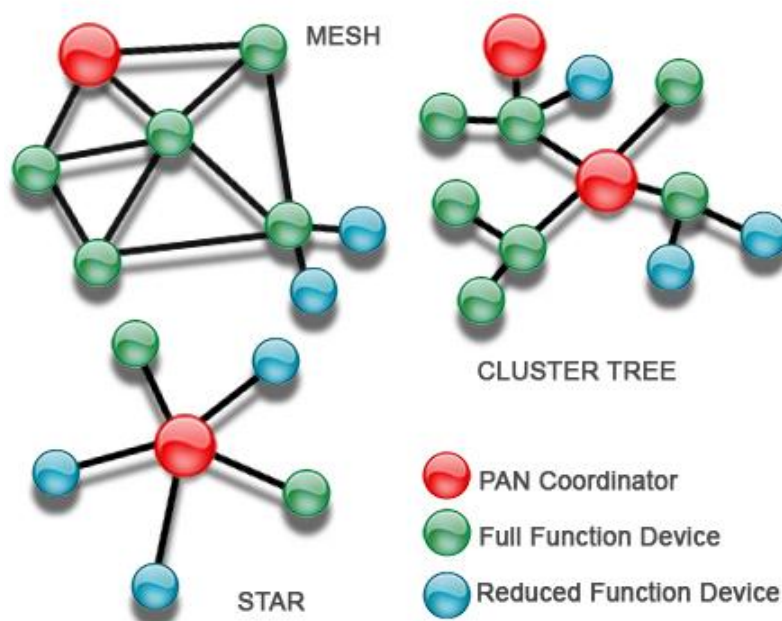


Figura 2.2: Tre Topologie di rete, (www.microwatt.co.uk)

Topologia a stella

In questa topologia tutti gli elementi della rete dipendono da un coordinatore e dialogano direttamente con esso. Spesso il coordinatore viene alimentato da rete elettrica mentre gli altri dispositivi sono alimentati a batteria.

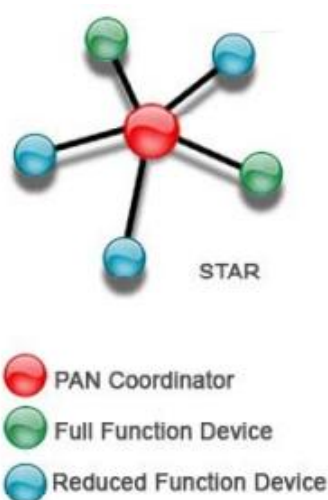


Figura 2.3: Topologia a Stella, (www.microwatt.co.uk)

Un FFD viene eletto coordinatore della rete e fornisce il controllo di quell'insieme di dispositivi, rendendo la rete indipendente dalle altre potenzialmente esistenti. Ogni device vede solo il coordinatore e per dialogare con altri device deve passare attraverso di esso. Tutte le reti a stella operano indipendentemente dalle reti simultaneamente attive, in quanto ciascuna di esse è contraddistinta da un identificatore PAN scelto dal coordinatore, in maniera tale da evitare conflitti con reti già precedentemente stabilite entro il proprio spazio operativo. La topologia a stella non richiede alcun algoritmo di routing in quanto si passa sempre dal coordinatore.

Topologia Cluster

Nella rete ad albero, i devices possono comunicare con tutti gli altri tramite il multi-hop in modo che i nodi che non sono in diretta visibilità radio possano comunque comunicare tra di loro secondo il paradigma store - forward. Il terminale di ciascun utente quindi svolge sia il ruolo di host che di router; di fatto, si crea una rete "collaborativa" in cui, se un nodo vuole comunicare con un altro ma non è possibile una comunicazione radio diretta tra i due, magari per qualche ostacolo o per la distanza, un altro nodo che si trovi in una posizione intermedia si fa carico di inoltrare i messaggi tra il mittente e il destinatario.

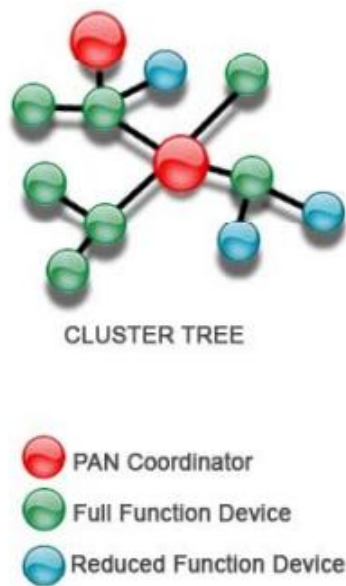


Figura 2.4: Topologia Cluste-Tre, (www.microwatt.co.uk)

La parte principale della rete è formata da un coordinatore ZigBee e un numero variabile di router ZigBee. I nodi RFD possono unirsi alla rete come devices finali associandosi con un coordinatore o un router. In una rete ad albero, il coordinatore e i router possono annunciare dei beacon. Le caratteristiche di auto-configurabilità e l'auto adattabilità permettono alla rete di modificarsi al variare delle condizioni operative e di autoconfigurarsi, scegliendo dinamicamente i nodi e gestendone la connettività, a seconda dell'ambiente applicativo. Anche questa topologia non necessita di algoritmi di routing specifici. Tuttavia è poco affidabile, perchè se cade uno dei router della rete, tutta la sua sottorete sarebbe esclusa dalla comunicazione e dovrebbe ripetere l'operazione di inserimento.

Topologia Mesh

Questa topologia di rete offre una dinamicità maggiore ed è indicata per reti di grosse dimensioni. L'utilizzo di tipologie magliate permette di massimizzare l'affidabilità complessiva della rete, garantendo la possibilità di distribuire l'informazione su percorsi diversi. Inoltre, attraverso il processo di trasferimento dell'informazione "hop-by-hop" tra i nodi, è possibile arrivare ad una copertura estesa del territorio anche avendo a disposizione singoli collegamenti a portata limitata. La rete è inoltre più affidabile, se un router cade non provoca la caduta di tutta la sua sottorete, ma entrano in gioco algoritmi di re-routing che si accorgono della mancanza di un nodo e ricalcolano il percorso migliore per portare a destinazione il messaggio. Questo rende però necessari algoritmi di routing specifici.

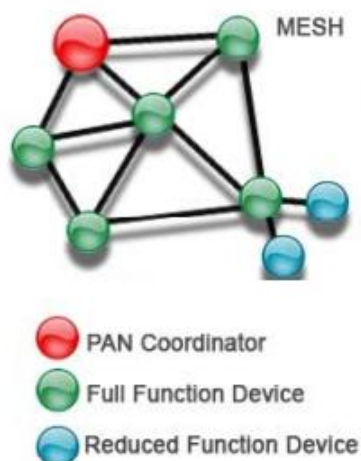


Figura 2.5: Topologia Mesh, (www.microwatt.co.uk)

2.4.1 Dispositivi ZigBee

Come abbiamo accennato sopra, da un punto di vista logico, i dispositivi ZigBee possono essere di tre tipi:

1. *Coordinatore.*
2. *Router.*
3. *End Devices.*

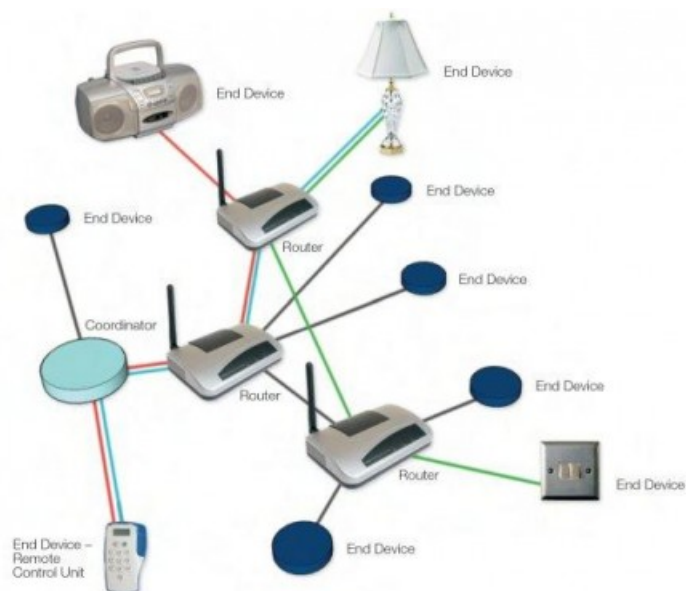


Figura 2.6: Esempio dispositivi ZigBee, (www.emcelettronica.com)

ZigBee Coordinator

Lo **ZigBee Coordinator (ZC)** è il dispositivo che crea e configura la rete, cercando un canale radio adatto e definendo tra i parametri operativi il PAN ID, cioè il numero a 16bit usato dai membri della rete per riferirsi ad essa. Una volta avviata la rete si mette in modalità coordinatore, permettendo o meno a router ed end devices di fare una join alla sua rete. Tra le altre funzioni, agisce come deposito per le chiavi di sicurezza "trust center", ed occasionalmente effettua attività di routing. Lo ZigBee coordinator è unico per ogni rete, ne costituisce la radice e può fare da ponte tra più reti diverse. E' chiaramente un *Full Function Device*, e dato che non può andare in modalità sleep per ottemperare ai suoi mille doveri, deve essere alimentato da rete elettrica.

ZigBee Router

Lo **ZigBee Router (ZR)** permette l'inoltro dei messaggi aumentando così le distanze di copertura della rete e ha il potere di accettare o meno richieste di join alla rete da parte di altri devices. Ovviamente prima si dovrà unire a una rete già esistente, chiedendo l'autorizzazione al coordinator o a un altro router. L'inoltro dei messaggi avviene attraverso il mantenimento di tabelle di routing dinamiche e sempre aggiornate, in cui lo ZigBee router può memorizzare fino a 20 percorsi diversi. Per ogni rete può esserci più di un router, che però essendo un *Full Function Device* deve essere alimentato da rete elettrica, uno ZigBee router in frequente sleep mode serve a poco.

ZigBee End Device

Lo **ZigBee End Device (ZED)** è un *Reduced Function Device*, perchè le sue funzionalità si riducono al dialogare col coordinatore o col router (non può trasmettere/ricevere dati a/da altri ZED). Richiede poca memoria, ha bassi consumi va a batterie e ha costi inferiori rispetto agli altri due tipi di dispositivi. Al contrario di ZC e ZR, la loro presenza in una rete ZigBee non

è essenziale si possono benissimo realizzare reti con solo un coordinatore e uno o più router.

2.5 Livelli dello Stack ZigBee

Come qualsiasi altra tecnologia di comunicazione cablata o wireless, anche ZigBee è [6] composta da una pila di protocolli implementati via software o via hardware suddivisa in livelli. A ciascun livello è affidato il compito di fornire servizi al livello superiore e di comunicare con quello inferiore. Grazie a questa suddivisione a blocchi si riesce a gestire in maniera più semplice la complessità generale del sistema. Lo standard IEEE 802.15.4 definisce il livello fisico (PHY) ed il livello Media Access Control (MAC), sul quale si innestano il livello Rete e livello Application definiti dalla Zigbee Alliance.

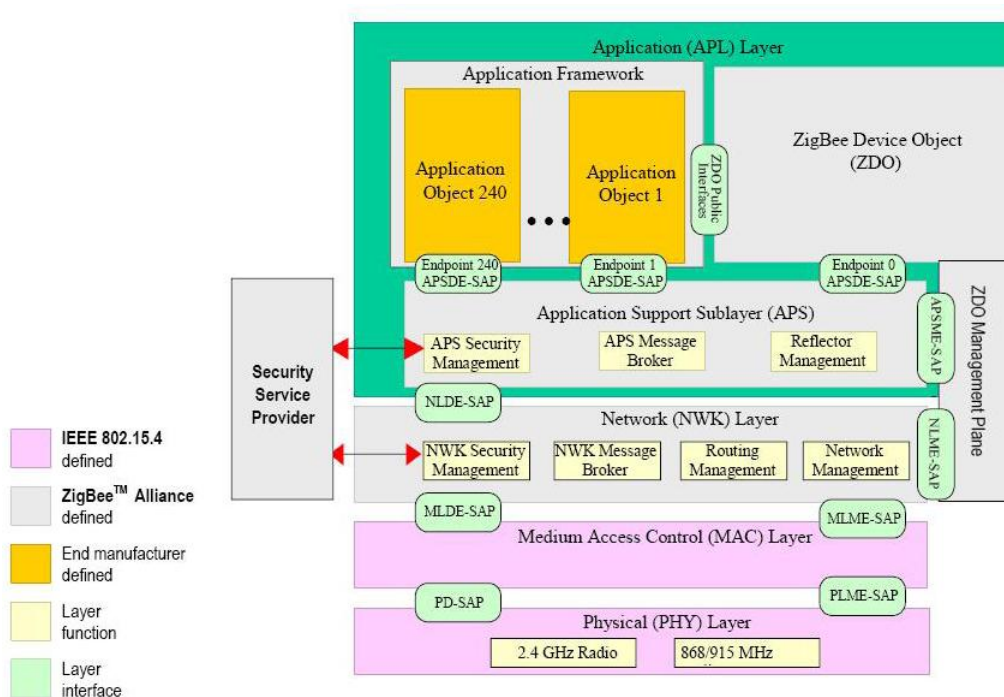


Figura 2.7: Architettura ZigBee, (www.swappa.it)

2.5.1 Livello Fisico (PHY)

Lo standard IEEE802.15.4 appartiene alla classe di tecnologie di tipo **Spread-Spectrum**. Al contrario dei segnali in **Narrow-Band**, un segnale di tipo Spread-Spectrum viene trasmesso su una banda di frequenze che è considerevolmente più ampia di quella dell'informazione contenuta nel segnale stesso. Tutto ciò viene fatto o allo scopo di migliorare il rapporto segnale/rumore, eliminando il maggior numero di interferenze. Ciò consente l'utilizzo contemporaneo della stessa gamma di frequenze a più utenti e permette la coesistenza con segnali in Narrow-Band. La tecnica di spreading utilizzata dallo standard 802.15.4 è la *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*, che consiste nell'utilizzare una sequenza pseudocasuale per modulare la portante e codificare i dati trasmessi. Nel livello fisico dello standard IEEE 802.15.4 sono presenti tre bande di frequenza distinte con 27 canali: 868 MHz, 915 MHz e 2.4 GHz. Il canale 0 lavora in frequenze tra 868.0-868.6 MHz e permette un data rate pari a 20 kbps.

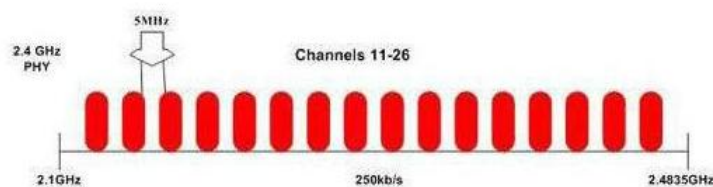


Figura 2.8: Bande di frequenza del livello fisico, (www.dbgroup.unimo.it)

PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
868/915	868–868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902–928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400–2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

Figura 2.9: Bande di Frequenza e Data-Rate, (www.dbgroup.unimo.it)

I canali tra 1 e 10 lavorano in frequenze comprese tra 902.0-928.0 MHz, e ogni canale permette un data rate pari a 40 kbps. I canali tra 11 e 26 sono localizzati nell'intervallo di frequenza 2.4-2.4835 GHz, e ognuno di questi permette un data rate pari a 250 kbps. I canali si distinguono per il loro schema di modulazione, infatti i canali 0-10 usano il **Binary Phase Shift Keying** (BPSK), mentre i restanti (11-26) utilizzano **Offset Quadrature Phase Shift keying** (O-QPSK). L'utilizzo di bande e Bit-Rate diversi è dettato da necessità contrastanti: Bit-Rate inferiori portano a schemi di modulazione più robusti e immuni a rumori e interferenze, ma per contro limitano il traffico utile (Throughput) del sistema. Alte frequenze implicano anche perdite di potenza maggiori e dunque raggi di copertura inferiori, ma tempi di trasmissione e ritardi inferiori.

Il livello fisico fornisce l'interfaccia tra il canale di trasmissione e il livello MAC dello standard e deve fornire le seguenti funzioni:

- Attivazione e spegnimento del trasmettitore.
- Rilevazione dell'energia nel canale in uso (*Energy Detection ED*).
- Rilevamento della qualità del collegamento (*Link Quality LQ*).
- Fornire tutti i servizi svolti alla realizzazione del CSMA-CA.
- La selezione della frequenza di comunicazione.
- Trasmissione e ricezione di dati.

Energy Detection (ED)

L'Energy Detection, o rilevamento dell'energia sul canale radio, è parte integrante dell'algoritmo di selezione del canale. Si tratta in sostanza di una stima della potenza del segnale ricevuto nella banda di un determinato canale di tipo IEEE 802.15.4. La stima viene effettuata su 8 periodi di simbolo e non vi è alcun tentativo di decodifica del segnale a questo livello. Il risultato viene riportato come intero senza segno a 8 bit, da un valore (da 0 a 255 in decimale). Il valore minimo (0) deve indicare una potenza di meno di 10 dB sopra la sensibilità del ricevitore. La dinamica della potenza ricevuta stimata dall'ED deve essere di almeno 40 dB. All'interno di questo intervallo la mappatura della potenza (in dB) su i valori di ED (interi senza segno) deve essere lineare. Molti chip radio che implementano lo standard possiedono un sottosistema di tipo **RSSI** *Received Signal Strength Indicator* che si occupa dell'Energy Detection. Molto spesso quindi i due termini possono essere utilizzati quasi come sinonimi.

Link Quality Indication

La misura LQI "qualità del collegamento", effettuata alla ricezione di un pacchetto, caratterizza il canale radio mediante una stima della qualità del pacchetto (stima del BER, bit error rate). Anche il valore LQI viene memorizzato come intero senza segno (da 0 a 255) che rappresenta, mediante una mappatura lineare, la qualità del segnale di tipo IEEE 802.15.4 rilevabile dal ricevitore.

Clear Channel Assessment (CCA)

Infine è necessario ricordare un'altra funzione svolta dal PHY, ossia la stima della disponibilità del canale (CCA), indispensabile per implementare gli algoritmi di CSMA-CA per la gestione delle collisioni. Prima di poter avviare una trasmissione, un dispositivo ZigBee deve accertarsi se un altro sta

utilizzando il mezzo radio in quel momento. Esistono tre possibili soluzioni per implementare tale funzione:

Energia Sopra la soglia Il CCA riporta l'indicazione di mezzo occupato se il livello di energia ricevuto (ED) supera una prestabilita soglia .

Rilevamento della portante (Carrier Sense) CCA riporta l'indicazione di mezzo occupato solo se rileva un segnale con le stesse caratteristiche fissate nel protocollo IEEE802.15.4. Non è importante se tale segnale supera oppure no la soglia di energia.

Rilevamento della portante con superamento della soglia Si tratta dei due metodi combinati insieme; viene riportata l'indicazione di mezzo occupato se viene rilevata la portante e la sua energia supera la soglia.

2.5.2 Livello di Accesso al Mezzo (Mac)

Il livello MAC fornisce l'interfaccia tra il livello Fisico (**PHY**) e gli applicativi dei livelli superiori, i quali possono essere un'applicazione oppure il livello di Rete in un'architettura simile a quella dello stack ISO/OSI. I principali servizi che devono fornire sono:

- Generare i beacon se il dispositivo è un coordinatore della rete PAN;
- Sincronizzare il superframe nel caso sia un dispositivo RFD o FFD;
- Permettere l'associazione e la dissociazione dal coordinatore di PAN;
- Supportare la sicurezza delle comunicazioni;
- Implementare il CSMA-CA per l'assegnazione dei canali;
- Creazione e mantenimento del meccanismo GTS;
- Provvedere alla realizzazione del collegamento tra due dispositivi;

Struttura Pacchetti

Lo standard IEEE 802.15.4 permette l'uso opzionale della struttura di un *Superframe*. Il formato del superframe è definito dal coordinatore della rete PAN ed è contenuto tra due messaggi di beacon spediti da quest'ultimo ad intervalli regolari e programmabili.

I *beacon* contengono informazioni che possono essere usate per il sincronismo dei dispositivi, per l'identificazione della rete, per descrivere la struttura dei superframe e per fornire la periodicità dei beacon stessi. Il superframe è diviso in 16 slot di uguale grandezza, dove il beacon frame è trasmesso nel primo slot d'ogni superframe. Ogni dispositivo che intende comunicare con il coordinatore della PAN deve attendere la ricezione di due beacon frame successivi, che gli permettono la sincronizzazione col coordinatore stesso. La contesa del canale da parte dei dispositivi che vogliono comunicare avviene nella *Contention Access Period (CAP)* e può dare origine a collisioni che sono gestite dal *Carrier Sense Multiple Access (CSMA-CA)*, di cui ogni dispositivo è provvisto, che permette di rilevare se sul canale ci sono altri dispositivi che stanno comunicando. Una prerogativa della struttura a superframe è che il coordinatore può assegnare porzioni di tempo a specifici dispositivi che ne abbiano fatto richiesta. Questa assegnazione di slot del superframe, chiamata *Guaranteed Time Slot (GTS)*, offre la possibilità ai dispositivi di garantirsi un tempo prefissato di comunicazione col coordinatore PAN, riducendo così le collisioni tra più dispositivi che vogliono comunicare. Gli slot di tempo riservati ai dispositivi occupano la parte finale del superframe, che prende il nome di *Contention-Free Period (CFP)*, posizionata consecutiva al *Contention Access Period (CAP)*.

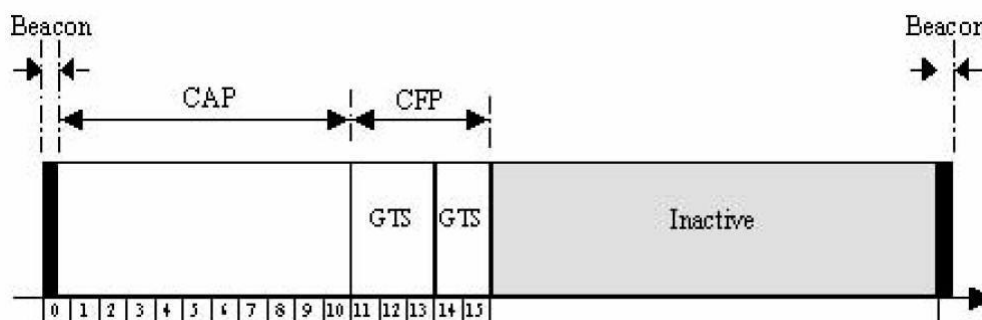


Figura 2.10: Struttura del SuperFrame, (www.webuser.unicas.it)

Trasferimento Dati

Il trasferimento dati può essere di tre tipologie:

1. Da parte di un dispositivo al coordinatore.
2. Dal coordinatore ad un dispositivo.
3. Tra due dispositivi.

Nella rete a stella solo due di queste transizioni possono essere usate perché i dati verrebbero scambiati solo tra coordinatore e dispositivi, mentre in una rete punto a punto i dati possono essere scambiati tra qualsiasi dispositivo facente parte della rete stessa; di conseguenza in questa tipologia di rete tutte le transazioni possono essere effettuate.

Il meccanismo per ogni tipo di trasferimento dati, dipende dall'abilitazione o meno dei beacon all'interno della rete stessa. Una rete gestita con l'abilitazione dei beacon è usata per supportare dispositivi che richiedono tempistiche a bassa latenza, come le periferiche di un PC, mentre se la rete non ha bisogno di supportare dispositivi con specifiche particolarmente stringenti, si può scegliere di non usare i beacon per il normale trasferimento di dati. Tuttavia la presenza dei beacon è sempre richiesta per l'associazione della rete.

Trasferimento Dati da parte di un Dispositivo al Coordinatore

, Questa tipologia di trasferimento si ha nel caso in cui ci sia un dispositivo che debba comunicare dei dati al coordinatore della rete PAN. Nel caso la rete sia beacon abilitata per il trasferimento dati, appena il dispositivo rileva il beacon spedito dal coordinatore si sincronizza con il superframe e spedisce i suoi dati negli istanti appropriati dettati dal superframe stesso. Il coordinatore PAN, una volta ricevuto il pacchetto da parte del dispositivo, invia un pacchetto (opzionale) di riconoscimento (ACK), concludendo la trasmissione. Nel caso si fosse in una rete non beacon abilitata, il dispositivo attraverso il

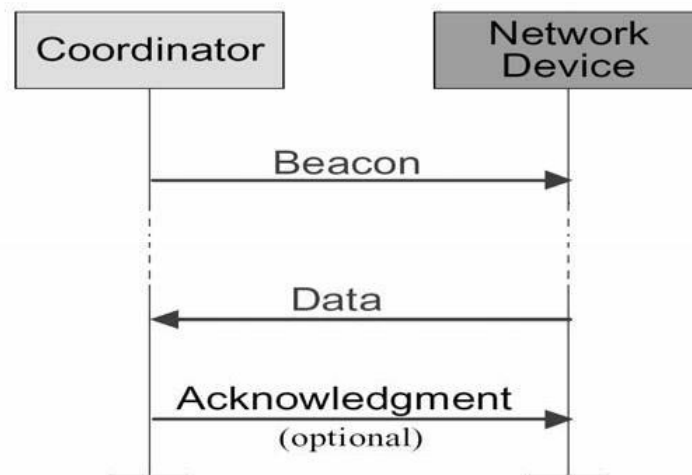


Figura 2.11: Sequenza di Trasferimento Dati, (www.webuser.unicas.it)

CSMA-CA ascolta il canale ed appena lo trova libero spedisce i suoi dati al coordinatore. Il coordinatore PAN, una volta ricevuto il pacchetto da parte del dispositivo, invia un pacchetto (opzionale) di riconoscimento (ACK), concludendo la trasmissione. Quest'altra sequenza è riassunta in Figura .

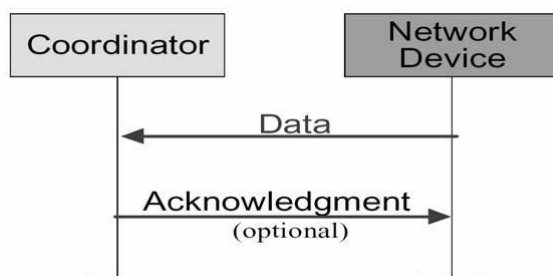


Figura 2.12: Rete non Beacon Abilitata, (www.webuser.unicas.it)

Trasferimento dati dal coordinatore al dispositivo

Questa tipologia di trasferimento dati si ha nel caso il coordinatore della rete PAN debba comunicare dei dati ad un dispositivo. Nel caso la rete sia beacon abilitata per il trasferimento dati, appena il dispositivo rileva il beacon spedito dal coordinatore si sincronizza con il superframe e spedisce un pacchetto di richiesta dati negli istanti appropriati dettati dal superframe stesso. Il coordinatore PAN, una volta ricevuto il data request, invia un pacchetto di riconoscimento della richiesta dati e subito dopo i dati che doveva spedire. A questo punto il dispositivo, una volta ricevuti sia l'ACK che i dati, spedisce a sua volta un ACK al coordinatore, chiudendo la trasmissione. Questa sequenza è rappresentata nella figura qui di seguito.

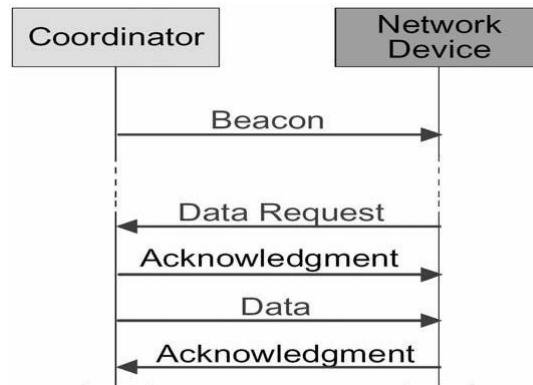


Figura 2.13: Comunicazione coordinatore-dispositivo, (www.webuser.unicas.it)

Nel caso si fosse in una rete non beacon abilitata, il dispositivo attraverso il CSMA-CA ascolta il canale ed appena lo trova libero spedisce un data request al coordinatore. Il coordinatore PAN, una volta ricevuto il pacchetto da parte del dispositivo, invia un pacchetto di riconoscimento (ACK) subito seguito dai dati che doveva trasferire. A questo punto il dispositivo, una volta ricevuti sia l'ACK che i dati, spedisce a sua volta un ACK al coordinatore, chiudendo la trasmissione. Questa sequenza di comunicazione è rappresentata nella Figura sottostante.

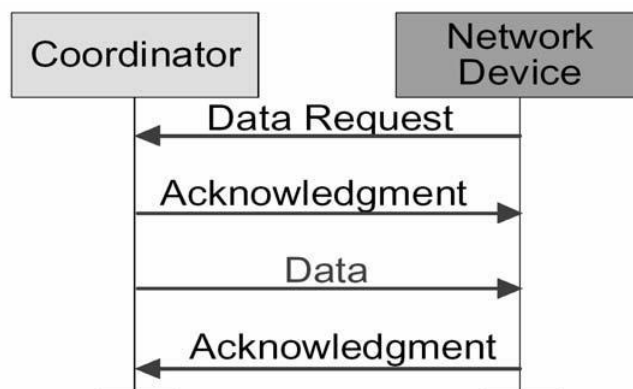


Figura 2.14: Caso di rete non Beacon Abilitata, (www.webuser.unicas.it)

Trasferimento di dati da dispositivo a dispositivo

In una rete punto a punto i dispositivi possono comunicare con tutti gli altri dispositivi nel raggio d'azione della comunicazione wireless. In questa tipologia di rete i dispositivi possono comunicare senza nessuna temporizzazione utilizzando CSMA-CA nel caso delle reti più semplici, altrimenti è richiesta la gestione di un gettone (token) per garantire a tutti i dispositivi il tempo necessario per la comunicazione.

Struttura dei Frame

Le strutture dei frame sono state realizzate per minimizzare la complessità ed ottenere una sufficiente robustezza delle trasmissioni all'interno di canali rumorosi. In generale ogni frame è visto dal livello PHY come un pacchetto dati (PPDU), costituito da una intestazione (**SHR e PHR**) e da un payload (**PSDU**) che a sua volta contiene un frame del livello MAC. Il MAC, è costituito da un MAC header (MHR) e da un MAC footer (MFR) che racchiudono un MAC payload. Il contenuto di header e footer rimane fisso mentre il contenuto del payload varia in base al tipo di frame. Lo standard IEEE802.15.4 definisce quattro tipi di strutture di frame:

- **Beacon Frame:** Usato dal coordinatore della rete PAN per trasmettere i menzionati beacon;
- **Data Frame:** Usato per tutti i trasferimenti di dati; consente la trasmissione di un quantitativo massimo di 104 byte di dati per pacchetto;
- **Acknowledgment Frame:** Consentono un feedback attivo dal ricevitore verso il mittente per comunicargli che il messaggio è stato ricevuto correttamente. La loro trasmissione avviene nell'intervallo di silenzio immediatamente successivo alla trasmissione del pacchetto;
- **MAC Frame:** Utilizzato per portare istruzioni sulle particolari configurazioni del MAC dei dispositivi;

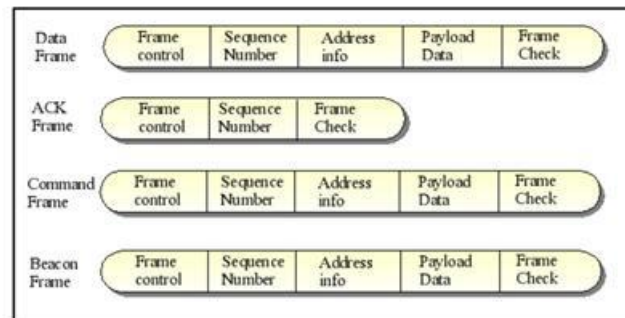


Figura 2.15: Le quattro tipologie di frame dello standard IEEE 802.15.4, (www.webuser.unicas.it)

Beacon Frame

I *beacon* frame sono generati dai livelli MAC e PHY del coordinatore della rete PAN e vengono spediti solo nel caso si sia in una rete beacon abilitata. In figura è rappresentata la struttura di un beacon frame, dove si possono notare i campi generati dal livello fisico, quali: preambolo, delimitatore del frame e lunghezza del frame stesso ed i campi generati dal livello MAC del coordinatore di rete. I campi del livello MAC sono di fondamentale importanza nelle reti beacon abilitate perché portano informazioni sui parametri della struttura del superframe, sui campi d'indirizzamento e sulle tempistiche dei beacon stessi. Il MAC Service Data Unit (MSDU) contiene le specifiche del superframe, attesa di specifiche d'indirizzo, lista d'indirizzi e i campi di messaggio utile ed è situato tra il MAC Header (MHR) e il MAC Footer (MFR). Il MHR contiene i campi di controllo del MAC stesso, tra cui il numero di sequenza del beacon (BSN) e i campi d'informazioni sull'indirizzamento, mentre l'MFR contiene i sedici bit della sequenza di check (frame check sequence FCS). Il MHR (MAC header) assieme al MSDU (MAC service data unit) e al MFR (MAC footer) compongono il MAC beacon frame (MPDU).

L'MPDU viene passato al livello fisico attraverso il PHY Service Data Unit

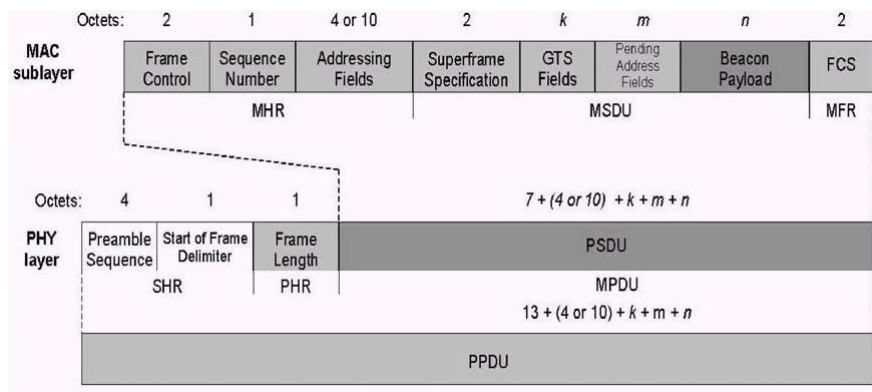


Figura 2.16: Struttura di un Beacon Frame, (www.webuser.unicas.it)

(PSDU), il quale viene anticipato dall'header di sincronizzazione (SHR), composto dalla sequenza di preambolo e dai delimitatori di inizio-fine struttura, quindi dall'intestazione del livello fisico (PHR), contenente la lunghezza del PSDU espressa in base otto. La sequenza di preambolo serve al ricevitore per potersi sincronizzare col trasmettitore prima che inizi la vera e propria trasmissione. L'insieme dei campi PSDU, PHR e SHR formano il pacchetto beacon visto al livello fisico (PPDU) prima di essere spedito all'interno del canale di comunicazione.

Data Frame

Il data frame è impiegato per la trasmissione di dati tra dispositivi dello stesso network e a differenza del beacon frame, può essere generato da ogni tipo di dispositivo, sia RFD che FFD. Il campo data viene passato al MAC dai livelli superiori e inserito nel *MAC Service Data Unit* (MSDU), situato tra il MHR e il MFR. Il MAC header (MHR) è composto a sua volta da altri tre campi: il campo di controllo del frame, il campo contenente il numero seriale del pacchetto e il campo contenente informazioni d'indirizzamento; mentre il MAC Footer (MFR) contiene i sedici bit della sequenza di check (frame check sequence FCS). Il MAC header (MHR) assieme al MAC service

data unit (MSDU) e al MAC footer (MFR) compongono il MAC data frame (MPDU), il quale viene passato al livello fisico attraverso il PHY Service Data Unit (PSDU). Il PSDU assieme al PHR, campo che contiene la lunghezza del frame e al SHR, contenente la sequenza di preambolo e i delimitatori della struttura, compongono il pacchetto dati visto al livello fisico (PPDU). In Figura è riportata la struttura di un data frame.

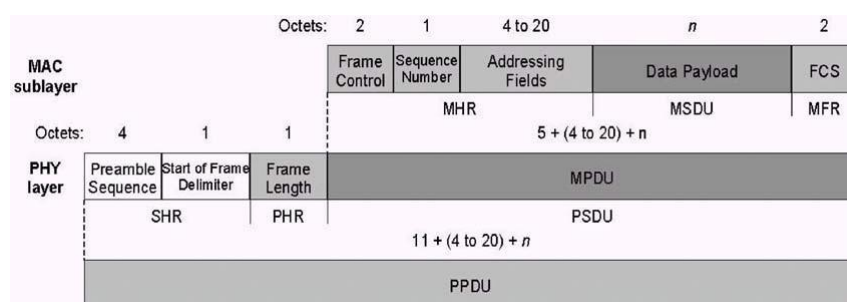


Figura 2.17: Struttura del Data Frame, (www.webuser.unicas.it)

Acknowledgment frame

Il pacchetto di ACK è generato da tutti i dispositivi della rete ZigBee e contiene al suo interno informazioni riguardanti l'avvenuta ricezione di pacchetti. Il pacchetto di ACK generato dal livello MAC è composto da due blocchi, il MHR e il MFR. Il MAC header contiene informazioni sul controllo del frame e il numero seriale dell'ACK, mentre il MAC footer contiene i sedici bit della sequenza di chech (frame check sequence FCS). L'unione di tutti questi campi costituisce il MAC acknowledgment frame (MPDU), il quale viene passato al livello fisico attraverso il PHY Service Data Unit (PSDU); in Figura sono mostrati in dettaglio questi campi. Il PSDU assieme

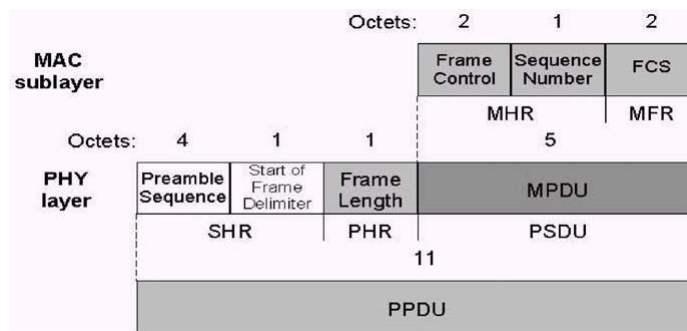


Figura 2.18: Struttura del frame ACK, (www.ebuser.unicas.it)

al PHR, campo che contiene la lunghezza del frame ed al SHR, contenente la sequenza di preambolo ed i delimitatori della struttura, compongono il pacchetto ack visto al livello fisico (PPDU).

Mac Comand Frame

In Figura è mostrata la struttura del MAC command frame generata dal livello MAC del coordinatore. Il pacchetto MSDU è composto da due blocchi, il command type e il command payload; il primo contiene informazioni sulla tipologia del comando da eseguire, mentre il secondo contiene le specifiche da eseguire. Il blocco MAC service data unit (MSDU), assieme al MAC header (MHR) e al MAC footer (MFR) formano il MAC command frame (MPDU), il quale viene passato al livello fisico attraverso il PHY Service Data Unit (PSDU). Il PSDU assieme al PHR, campo che contenente la lunghezza del frame, e al SHR, contenente la sequenza di preambolo, compongono il pacchetto command visto al livello fisico (PPDU).

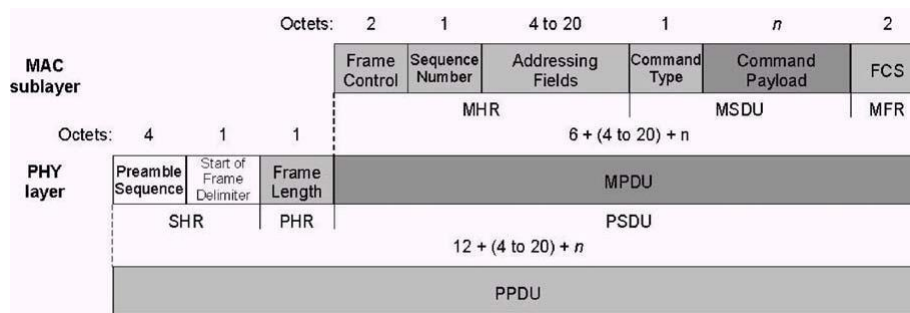


Figura 2.19: Struttura del Mac Command Frame, (www.webuser.unicas.it)

2.5.3 Livello Rete

Il livello rete è il più basso dei livelli ZigBee e può essere paragonato al livello delle direttive "creami una rete con questi parametri". Il suo compito è infatti quello di gestire in automatico le direttive applicative col livello MAC (a cui è direttamente interfacciato) e quello fisico, di gestire le connessioni della rete, la sua sicurezza e la sua creazione. Si occupa inoltre del routing dei messaggi e della route discovery e maintenance. Il network è il primo livello in cui vengono aggiunti header e footer al pacchetto per la sua gestione, così

da renderlo comprensibile e gestibile dai livelli sottostanti della pila OSI. Il livello network gestisce:

- Creazione di una nuova rete;
- Unione o abbandono di una rete;
- L'assegnazione di indirizzi (16 bit) a nuovi dispositivi che entrano nella rete;
- Sincronizzazione;
- Routing (instradamento);

Nelle reti a Stella ogni end device può parlare solo con il coordinatore. Nella topologia Cluster Tree si usano tabelle di routing (fra due nodi è possibile un solo percorso). Nelle reti Mesh fra due nodi sono possibili più percorsi. Si usa una versione semplificata dell'algoritmo AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector). I dispositivi sono preprogrammati in base alla loro funzione nella rete (a seconda che siano coordinatori, end device o router). I dispositivi sono "intelligenti" nel senso che si uniscono solo alle reti per cui sono pensati. Gestisce la formazione delle reti utilizzando i servizi offerti dal livello MAC.

Security Service Provider

E' il modulo che si occupa della sicurezza del protocollo, un elemento di novità rispetto al Bluetooth o all'IrDA. Si noti che l'SSP non è direttamente collegata agli altri moduli, ma prevede uno scambio di messaggi tra il livello network e quello applicativo; questa scelta progettuale fa sì che l'intero modulo sia facilmente bypassabile nel caso in cui non sia richiesta la sicurezza del protocollo. Tra le funzionalità principali offerte dall'SSP citiamo: gestione della chiave WEP (e nei nuovi standard ZigBee anche WPA e WPA2); crittazione dei dati; anti-replay attack, che impedisce che un modulo possa essere bloccato da un invio incessante di dati (se arrivano richieste molto ravvicinate dallo stesso dispositivo, possiamo decidere se tollerarle o scartarle o

inibire il device petulante o malevolo); gestione dei trust center, dispositivi fidati per la distribuzione delle chiavi di sicurezza.

2.5.4 Livello Applicazione

Il Livello applicazione è costituito dai driver e dal codice, contenuti nella ROM del microcontrollore. Schematicamente di un nodo ZigBee si possono evidenziare, oltre al blocco relativo all'alimentazione, anche quelli inerenti il transceiver, l'antenna, il microcontrollore e l'interfaccia utente (rappresentata da Input/Output). Il transceiver implementa il livello fisico, ossia si occupa della modulazione del segnale come descritto in precedenza. All'interno della ROM del microcontrollore è presente l'implementazione del livello MAC, NWK e applicazione. Il livello Applicazione è formato da

- Application Support sub-layer (APS)
- ZigBee Device Object (ZDO)
- Application Framework (AF)

All'interno del livello applicazione sono presenti delle entità dette oggetti applicazione. Tali oggetti scambieranno dati con oggetti applicazione posti su altri nodi in rete attraverso l'APSDE-SAP visto prima. Il controllo e la gestione di tali oggetti viene effettuato dallo ZDO *Zigbee Device Object*. E' possibile avere fino a 240 oggetti applicazione distinti nello stesso nodo, ognuno raggiungibile tramite una 'porta' detta endpoint. L'endpoint è un numero su 8 bit, che può dunque assumere valori tra 0 e 255. L'endpoint 0 è riservato per l'interfaccia dati verso lo ZDO e l'endpoint 255, invece, è riservato per inviare dati in broadcast a tutti gli oggetti applicazione. Gli endpoint che vanno da 241 a 254 sono riservati per usi futuri. Per quanto riguarda l'indirizzamento, ZigBee grazie agli endpoint associa un altro livello di indirizzamento a quello già visto nel livello MAC. Tramite un indirizzo MAC (esteso o ridotto che sia) o un indirizzo di rete riusciamo ad individuare un dispositivo in maniera univoca all'interno della rete. Ciascun nodo, come

abbiamo appena visto, può essere composto però da più oggetti: per indirizzare univocamente un determinato oggetto di un nodo utilizziamo dunque la coppia: **endpoint, indirizzo**

Application Support Sub-layer (APS)

Sottolivello che mantiene le tabelle per fare il binding ed inoltra i messaggi tra gli endpoint. I suoi servizi sono usati sia dal modulo ZDO che dall'*Application Framework*. Il sottolivello di supporto al livello applicazione fornisce un'interfaccia tra il livello di rete (NWK) e il livello di applicazione (APL) attraverso un set di servizi generali che vengono usati anche da ZDO e dagli oggetti applicazione definiti dall'utente. Tali servizi sono forniti da due entità:

Entità Dati(APSDE):

Si occupa del servizio di trasmissione dei dati (chiamati Application PDU) forniti dal livello superiore per un altro dispositivo presente sulla rete ZigBee.

Entità di Gestione (APSME):

Si occupa del servizio di discovery e binding dei dispositivi e mantiene un database degli oggetti che gestisce, detto APS Information Base (APS IB).

I compiti del livello APS sono:

Discovery:

La capacità di determinare quali altri dispositivi stanno operando nella personal operating space (POS) del dispositivo.

Binding:

La capacità di associare fra loro due o più dispositivi in base ai servizi che offrono e alle loro esigenze e inoltrare messaggi di comando o controllo.

ZigBee Device Objects (ZDO)

Lo ZDO è composto da una serie di servizi che forniscono un'interfaccia tra gli oggetti applicazione, i profili di dispositivo e l'APS per implementare ZBC, ZBR, ZED.

Si occupa dunque di:

1. **Device Management** Responsabilità di determinare la natura del dispositivo nella rete (se si tratti di coordinatore, router o end node) avviando e rispondendo a richieste di binding e di controllare l'associazione tra dispositivi.
2. **Device Discovery** Capacità di determinare quali altri dispositivi stanno operando nel Personal Operating Space (POS) del dispositivo.

Application Framework

Ci si trovano gli oggetti proprietari scritti dagli sviluppatori privati. E' gestito dall'interfaccia pubblica dello ZDO e contiene un insieme di Applicazioni.

2.6 Ambiti applicativi dello ZigBee

Il campo di applicazione è vastissimo sia in ambito *indoor* che *outdoor* e va dalla domotica all'automazione industriale, dall'elettronica di consumo al Machine to Machine (M2M), fino alle reti di sensori per il monitoraggio dell'ambiente o di pazienti in ambito medicale. Nella figura sottostante sono indicate le principali aree applicative, tra cui particolarmente interessanti sono anche gli utilizzi nel settore dell'health-care per la teleassistenza ed il monitoraggio dei pazienti in ambito biomedicale, ma in generale per applicazioni in cui i sensori ZigBee sono pensati per migliorare la qualità della vita di ciascun individuo. In ambito *indoor* la tecnologia ZigBee fornisce

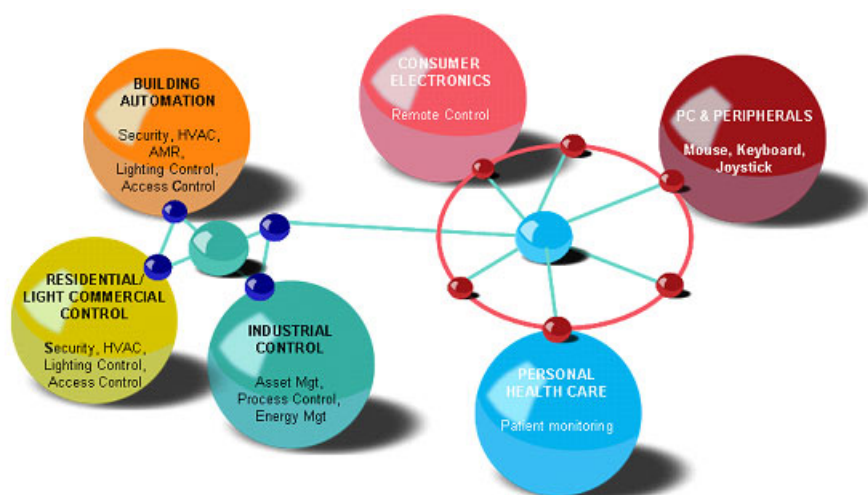


Figura 2.20: Ambiti Applicativi dello ZigBee, (www.aurelwireless.com)

la possibilità di accendere e spegnere le luci di casa, controllare da remoto elettrodomestici e altri apparati quali il televisore o il digitale terrestre, per esempio per la programmazione, l'acquisto e la visualizzazione di contenuti multimediali. In ambito *outdoor* ci si sposta dalla casa ad ambienti esterni quali la città, per arrivare ad un paradigma di *città digitale intelligente*, in cui la tecnologia ZigBee può essere utilizzata per:

- Monitoraggio dei parametri ambientali, quali la temperatura, l'inquinamento;
- Servizi di infomobilità, come le informazioni di viabilità, di turismo;
- Pagamenti e gestione dei parcheggi;
- Controllo accessi;
- Servizi di mobile-commerce e ticketing, quali il pagamento dei mezzi di trasporto; (bus, treni), l'accesso al cinema, teatro e museo;

2.7 Confronto con altri dispositivi

Spesso si sente parlare di Bluetooth (IEEE 802.15.1) e di ZigBee come di due tecnologie radio per reti personali wireless che si competono. Le differenze principali rispetto alla tecnologia Bluetooth si possono riassumere nella realizzazione di dispositivi a minore dissipazione di energia e con più efficienti caratteristiche di connettività di rete, intese come una veloce riconfigurabilità della rete stessa nel caso di caduta o aggiunta di un nodo ed un maggior numero di dispositivi connessi. Un vantaggio fondamentale di ZigBee, rispetto al Bluetooth, è la sicurezza che viene garantita a tutti i livelli della pila protocollare, abilitando anche servizi nell'ambito dei pagamenti e delle transazioni private, in cui la protezione dei dati è cruciale. Inoltre, rispetto a sistemi Bluetooth, in ZigBee si fa riferimento ad una banda limitata per la trasmissione dei dati (250 kbit/s rispetto a 1 Mbit/s), e a tipologie di rete che non si limitano a comunicazioni punto-punto: per questi motivi, Bluetooth e ZigBee sono da considerarsi come due tecnologie concepite essenzialmente per ambiti applicativi diversi. A differenza di altre tecnologie di prossimità quali **RFID** (*Radio Frequency IDentification*), ed in particolare **NFC** (*Near Field Communication*), ZigBee permette la formazione di reti ad hoc autoconfigurabili, capillari e pervasive, con un numero di nodi molto elevato (nominalmente fino a 65.000), che comunicano tra loro con distanze

che vanno da metri (single- hop) a chilometri, sfruttando il "multi-hop" o le antenne potenziata. Un punto chiave di questa tecnologia rispetto a quella RFID è che scompare il binomio di tag e lettore, in quanto qualunque nodo della rete può scambiare dati con gli altri nodi ed essere configurato tramite software per svolgere funzioni diverse. Uno dei principali vantaggi di ZigBee

	Bluetooth	WiFi	UWB	RFID	ZigBee
Standard	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.15.3	ISO/EPC Global	IEEE 802.15.4
Big Rate	2.1 Mbit/s (v.2.0)	11/54 Mbit/s	480 Mbit/s	10 - 50 kbit/s	250 kbit/s
Range (per single hop)	<10m	< 100 m	< 40 m	< 1 m pass, ~ 80 m att.	< 80 m (Km per m-hop)
Cost	Medium	High	Medium	Low	Low
Security Level	Low	Medium	Medium	Medium	High
Network Topology	Star only	Star typically	/	Star -> Reader	Star, Cluster tree, Mesh
Energy Consumption	Medium	High	Medium	Low	Very low

Diverse soluzioni per diversi ambiti applicativi

RFID = Radio Frequency Identification
 UWB = Ultra Wide Band
 WiFi = Wireless Fidelity

Figura 2.21: Confronto tra tecnologie di prossimità, (www.telecomitalia.com)

rispetto ad altre tecnologie wireless di prossimità, come il Bluetooth, è l'elevato livello di sicurezza, che viene supportata a livello di collegamento tra due nodi, ma anche a livello rete e applicativo. I servizi di sicurezza forniti da ZigBee includono meccanismi e protocolli per la generazione e il trasporto sicuro delle chiavi, la protezione delle trame e la gestione dei dispositivi. La protezione dei dati è garantita da algoritmi di crittografia avanzati (AES a 128 bit) e da meccanismi di integrità e autenticazione per proteggere il tutto da eventuali attacchi provenienti da dispositivi non autorizzati che tentano di accedere alla rete o al contenuto informativo trasmesso.

Capitolo 3

Data Collection

Una delle applicazioni più importanti per le *Reti di Sensori Wireless* (WSN) è il sistema di [14] Data Collection, cioè tutto ciò che rappresenta un sistema di raccolta dati. Questi sistemi effettuano il rilevamento dei dati attraverso nodi sensori e li trasmettono ad una stazione base per effettuare ulteriori elaborazioni e ricevere informazioni a seconda del settore in cui operano.

La raccolta dati consiste nella possibilità di ricostruire la storia di un qualsiasi prodotto, dalla sua produzione alla distribuzione o viceversa. Questi tipi di sistemi sono ampiamente consolidati in alcuni settori produttivi, ad esempio quello automobilistico, alimentare o farmaceutico. L'obiettivo è quello di creare un sistema distribuito di raccolta dei dati rivolto innanzitutto all'ultimo anello della catena, il singolo consumatore, ma che può avere positive ripercussioni sull'intera catena in termini di sicurezza, qualità, efficienza operativa e competitività sul mercato globale.

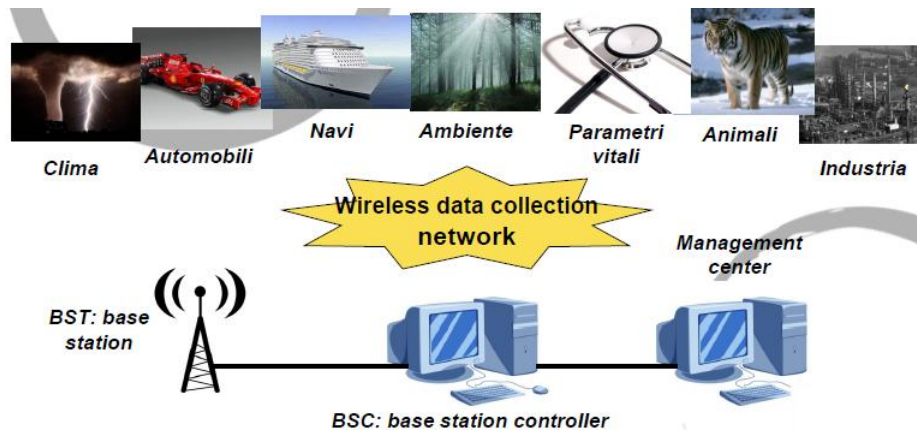


Figura 3.1: Data Collection, (www.unisi.it)

In un sistema di raccolta dei dati, si richiede che tutti i dati di rilevamento siano correttamente e accuratamente raccolti e trasmessi alla stazione di base¹. Di seguito verranno descritti alcuni dei possibili sistemi di Data Collection basati su Wireless Sensor Network.

¹Il traffico maggiore nella raccolta dei dati sono i dati riportati da ciascun sensore alla stazione base e deve essere il più accurato possibile in modo da poter analizzare in poco tempo, e nel migliore dei modi, le informazioni contenute.

3.1 Easy-Ski

EASY-SKI nasce dalla volontà di rendere più facile e sicura l'esperienza sulle piste da sci. Il primo passo per entrare nel mondo di Easy-Ski consiste nella registrazione al portale appositamente dedicato. Una volta effettuata la registrazione verrà assegnato ad ogni utente un codice cliente tramite il quale sarà possibile accedere all'area prenotazioni del sito per prenotare il proprio Ski Pass nel periodo e nella località desiderati. I dati dell'utente saranno inoltre immagazzinati in un unico database al quale potranno accedere sia le biglietterie Ski Pass sia le strutture alberghiere convenzionate. In questo modo si permetterà all'utente di ritirare il proprio Ski Pass direttamente al momento dell'arrivo in albergo oppure sulle piste da sci comunicando semplicemente il proprio codice cliente. Mediante un lettore/scrittore di RFID (in dotazione alle strutture ricettive convenzionate) i dati relativi alla prenotazione e al periodo di durata dello Ski Pass (contenuti nel database) verranno associati automaticamente allo Ski Pass.

Lo Ski Pass che verrà consegnato ad ogni utente sarà inserito in un dispositivo a forma di orologio all'interno del quale, oltre al TAG RFID, troveranno spazio anche un *microchip* basato sulla tecnologia **ZigBee** ed un dispositivo Bluetooth che permetterà di comunicare col cellulare dell'utente. Al momento della prenotazione il sistema provvederà inoltre ad inviare in automatico, tramite MMS, un'applicazione auto installante sullo smart phone dell'utente.

Su tutti gli impianti sciistici verrà installata una rete di sensori basati sulla tecnologia wireless **ZigBee** che acquisiranno informazioni sulle condizioni *atmosferiche, sulle condizioni del manto nevoso, e sull'affollamento delle piste*. Questi dati saranno inviati al microchip ZigBee integrato nei braccialetti Ski Pass degli utenti. Questi ultimi, invieranno tali dati allo smart phone dell'utente mediante Bluetooth, permettendo una facile visualizzazione di tutte le informazioni desiderate sul display del proprio cellulare. L'applicazione ricevuta sul cellulare permetterà inoltre:

- di visualizzare la mappa degli impianti sciistici e dei punti di servizio e ristoro;
- di visualizzare la propria posizione in tempo reale (tramite Gps) in modo da poter essere facilmente localizzati anche in caso di incidenti sulle piste o valanghe;
- di visualizzare la posizione dei membri del proprio gruppo semplicemente inserendo il codice cliente di ognuno;
- di avere la tracciabilità dei km percorsi sulle piste e degli impianti utilizzati;
- di poter comunicare con i membri del proprio gruppo tramite la tecnologia Push-to-Talk;

Come ulteriore servizio Easy-Ski offre la possibilità di poter effettuare i pagamenti, sugli impianti e nei punti vendita convenzionati, sfruttando la tecnologia NFC. Si avrà la possibilità di pagare, ad esempio, il pranzo al rifugio o il noleggio della propria attrezzatura semplicemente passando il proprio cellulare su un sensore. In questo modo i vacanzieri, impazienti di andare a sciare potranno evitare lunghe code alle casse e inutili perdite di tempo.

3.2 Mensa

Lo scopo di questo sistema di Data Collection è l'ottimizzazione delle procedure d'accesso e uso della mensa. Il problema principale nella gestione della mensa è:

- La fila all'ingresso e dopo l'ingresso nell'attesa di essere serviti;

Grazie all'usilio di nuove tecnologie, ed in particolare dello standard ZigBee è possibile risolvere il problema accennato precedentemente. Per quanto riguarda la fila e la conoscenza del menu bisogna tener conto di due fattori: Innanzitutto si deve tener conto del fatto che ci sono due tipologie di persone che usufruiscono del servizio mensa: coloro che hanno orari fissi e vanno a mensa sempre alla stessa ora e coloro che invece hanno orari variabili e possono decidere di andare a mensa in un range di tempo da loro definito. Questo problema si può risolvere costruendo una rete basata su tecnologia **ZigBee** formata da quattro **sensori**² che fanno da contatori di utenti, un **Router** che ha il compito di diffondere il segnale tra i sensori e un **Coordinatore** con capacità di calcolo. *Il sistema di Data Collection* descritto ci permetterà di avere informazioni relative a:

- quante persone intendono stare in fila per usufruire della mensa;
- quante sono già in fila ma non hanno ancora occupato un posto;
- quante sono invece uscite dalla mensa;

In questo modo si potrà capire quanti *posti liberi* ci sono in un determinato momento dentro la mensa e quante *persone sono già in fila*, e di conseguenza regolarsi e decidere se andare a mensa in quel momento oppure aspettare;

²I sensori vengono posizionati, uno all'ingresso del locale antecedente alla mensa, uno sui tornelli (che poi saranno dei lettori NFC) che regolano l'ingresso alla mensa vera e propria, uno alla fine della fila per il servizio e uno all'uscita della mensa.

Tutte le informazioni riguardanti i posti liberi, la fila e il tempo medio d'attesa verranno pubblicati e aggiornati in tempo reale sulla pagina web della mensa in modo tale da permettere agli utenti che stanno studiando nelle biblioteche della città universitaria o dai dottorandi sparsi per i vari dipartimenti tramite connessione alla rete WiFi, se dotati di laptop, computer fisso o smartphone. In questo modo si eviterà di perdere mezzora di studio/lavoro in fila in attesa di poter pranzare e si potrà decidere di recarsi a mensa nel momento ritenuto più opportuno.

3.3 AutomatiKitchen

AutomatiKitchen nasce con lo scopo di semplificare la gestione della vita domestica, partendo da uno dei suoi luoghi centrali quale la cucina. L'idea è di collegare ad un computer centrale i vari elettrodomestici in modo da velocizzare tutti i processi e permettere all'utente di avere tutto a portata di click. Attraverso uno schermo touchscreen, l'utente può facilmente controllare tutti gli elettrodomestici ed i dispositivi presenti in cucina, connessi tra loro tramite una rete che utilizza un protocollo Zigbee; In particolar modo, grazie a questo sistema, è possibile rilevare in tempo reale la presenza o meno di un prodotto all'interno del frigorifero ed avere un quadro immediato e generale del suo contenuto. Al suo interno, sono presenti **sensori** di peso e di controllo e dispositivi attuatori, tutti interconnessi tramite la tecnologia **ZigBee**. Lo sportello del frigorifero è composto da alcuni scomparti separati, ognuno con un apposito **sensore** di peso che avvertono l'utente quando un prodotto sta per finire. Attraverso i sensori di controllo ed i dispositivi attuatori, l'utente può controllare facilmente, anche a distanza, il giusto funzionamento dell'elettrodomestico e deciderne anche l'accensione e lo spegnimento.



Figura 3.2: AutomationKitchen,(www.hwjournal.net)

Grazie a questo sistema di data collection dotato di un computer centrale, è possibile gestire i diversi dispositivi presenti nella cucina. Il computer centrale è dotato di tecnologia Bluetooth e NFC che gli permettono di interagire con dispositivi dotati della stessa tecnologia. In questo modo, sia stando in cucina che passando il dispositivo vicino allo schermo presente sul frigorifero, è possibile ricevere informazioni sui dispositivi. Ad esempio, è possibile scaricare la lista della spesa e consultarla anche a distanza. Il software è composta da tante icone quanti sono i dispositivi integrati, da un'icona raffigurante un carrello, che indica le attività relative alla spesa, ed un'icona con un menù, che indica la parte dei consigli su come utilizzare gli alimenti a disposizione degli utenti.

3.4 Gestione Produzione

Questi tipi di sistemi nascono con la necessità di creare dei collegamenti in grado di trasferire i dati dalla fabbrica al sistema e di realizzare stazioni con requisiti particolari per controllare gli strumenti di produzione in modo da coinvolgere il meno possibile gli operatori. Gli obiettivi di questi sistemi sono ad esempio quelli di identificare in modo univoco ogni singola caldaia prodotta prima dell'assemblaggio e di verificare che tutti i collaudi previsti siano effettuati nel corso del processo produttivo al fine di assicurare tutte le garanzie di sicurezza nei confronti sia degli operatori durante l'assemblaggio, sia degli utenti finali nell'utilizzo del prodotto. Le caldaie a gas hanno bisogno di essere tracciate e rintracciate nel corso del processo produttivo in relazione ai parametri d'uso e per permetterne successivamente la manutenzione. Partendo da questa premessa è necessario trovare un sistema in grado di compiere queste operazioni e delle apparecchiature affidabili in grado di operare in un ambiente difficile, quale quello della fabbrica, garantendo requisiti quali l'identificazione precisa, automatizzata e usufruibile in tempo reale della caldaia, l'interfaccia semplice e intuitiva verso gli operatori di linea e il contenimento dei costi di gestione. Per rispondere a questi requisiti, si è trovata una soluzione ottimale nel sistema di sensori wireless³ che si è dimostrato in grado di superare anche i vincoli imposti da condizioni rese oggettivamente difficili dall'alta presenza di metallo e di acqua calda e dall'alta densità di cavi elettrici, garantendo efficacemente il necessario ritorno dell'informazione all'operatore. Oltre alla rete di sensori sono state progettate delle centraline collegate in Ethernet, in modo da semplificare le esigenze dal punto di vista dei cablaggi, e racchiuse in contenitori con all'interno microprocessori per preparare e ripulire le informazioni che arrivano dal campo e renderle comprensibili al sistema centrale. Per quanto riguarda il traspon-

³Attraverso antenne particolari che possono essere utilizzate all'interno della linea senza interferenze con i supporti di metallo, materiali resistenti agli urti, ai liquidi, alle temperature e agli stress meccanici e chimici e calibrate per essere più performanti possibile.

der, sono state utilizzate tessere plastificate inserite all'interno di una tasca appositamente ricavata del supporto (carrello) che trasporta la caldaia lungo la linea di produzione. Il sistema data collection della linea produttiva, avviene nel seguente modo: all'inizio della linea viene abbinato il numero di matricola della caldaia memorizzato su codice a barre, e ripreso dal foglio di lavoro, al [21]trasponder inserito nel supporto di plastica ricavato all'interno del carrello. Quando il carrello transita su una antenna, in corrispondenza di una specifica fase di lavoro, attiva macchine di collaudo e/o comanda apparecchiature di movimentazione. Se l'esito del controllo è positivo, sul sensore viene registrato che tutte le operazioni e i controlli sono stati effettuati correttamente e si passa così alla fase successiva. Invece nel caso in cui il test di una determinata fase non corrisponda alle caratteristiche impostate, automaticamente il carrello esce dalla linea perché siano apportati gli interventi necessari.



Figura 3.3: Monitoraggio Industriale, (www.bi-lab.it)

L'implementazione dei sistemi wireless ha portato numerosi vantaggi dal generale contenimento dei costi di gestione alla maggiore precisione e totale automatizzazione dell'identificazione delle caldaie, dall'alleggerimento dell'operatore per operazioni che prima doveva compiere manualmente con il rischio di commettere degli errori, alla flessibilità produttiva determinata dal fatto che all'inizio delle linee il tipo di prodotto determina automaticamente i test ad esso associati e quindi è possibile produrre più modelli contemporaneamente utilizzando la stessa linea.

3.5 Monitoraggio Ambientale

Per quanto riguarda il monitoraggio ambientale è attivo un sistema costituito da un insieme di sensori di temperatura ed umidità, che costituiscono una rete wireless che trasmettono dati via radio, e da una applicazione su Personal Computer che mediante un'interfaccia grafica permette di gestire e monitorare la rete stessa. I sensori sono stati realizzati utilizzando le più recenti ed avanzate tecnologie a microcontrollore a basso costo, basso consumo, piccole dimensioni e tecnologia di trasmissione radio ZigBee. Un'applicazione tipica è ad esempio la gestione di sensori di temperatura e di umidità dislocati in un vigneto. Questo sistema fornisce all'utente gli strumenti per semplificare il monitoraggio della rete di sensori, permettendo così di acquisire i dati provenienti dai sensori, di memorizzarli in un database e nello stesso tempo di elaborarli. L'utente ha inoltre la [18]possibilità non solo di ricevere dati dai sensori, ma anche di inviarli. Il sistema infatti dà la possibilità all'utente di inviare dei comandi ai sensori, ad esempio per settare dei parametri come le frequenze di trasmissione, elaborazione e campionamento dei dati, che possono essere modificate dall'utente stesso a seconda delle esigenze. La rete



Figura 3.4: Monitoraggio Ambientale, (www.tdgroup.it)

è formata da una serie di Nodi Sensori, collegati direttamente, via radio con tecnologia Zigbee, con un nodo di raccolta, detto Coordinatore. Su ciascun

Nodo Sensore sono integrati due sensori, uno di temperatura e uno di umidità. Il nodo Coordinatore, su cui non è montato alcun sensore, si occupa della raccolta dei dati inviati da ciascun nodo sensore e del loro invio attraverso porta seriale o ethernet ad un PC, sul quale verranno immagazzinati e visualizzati. Ciò consente al viticoltore di sapere, con largo anticipo e con un'altissima precisione, il momento della vendemmia o la necessità di approntare misure antiparassitarie, potendo così ottimizzare la sua produzione sia in termini di qualità che di risparmio economico.

3.6 Consegna Bagagli

Il Gruppo Datalogic, leader nel mercato dei lettori di codici a barre, di mobile computer per la raccolta dati, di sistemi a tecnologia RFID e visione, tramite la controllata Datalogic Automation, ha realizzato per l'aeroporto di Roma "Leonardo da Vinci" di Fiumicino, il più grande scalo italiano con quattro terminal e oltre 33 milioni di passeggeri ogni anno, trenta tunnel a lettura omnidirezionale per migliorare la consegna dei bagagli. Negli Aeroporti di Roma (ADR) è presente una efficiente gestione dei bagagli per aumentare il livello di servizio ai passeggeri, fornendo un progetto di tracciabilità dei bagagli dal prelievo dalla stiva dell'aereo fino alla consegna al passeggero. Grazie a una stazione di lettura destinata a ogni punto di ingresso e di uscita



Figura 3.5: Smistamento sicuro dei bagagli, (www.agi.it)

dei bagagli in tutti i terminali aeroportuali, si riesce a raccogliere dati utili su ciascun bagaglio e monitorarne gli spostamenti. Una volta posto sul nastro trasportatore, il bagaglio segue un percorso predefinito dove viene sottoposto a diverse fasi di lettura dagli scanner che lo indirizzano verso la destinazione corretta, monitorando al tempo stesso le performance del sistema di smistamento bagagli dal momento in cui questi vengono scaricati dall'aereo: per garantire una corretta e più rapida procedura di smistamento e consegna dei

bagagli, il sistema è formato da trenta tunnel di lettura omnidirezionale su 270° del codice a barre.

3.7 Gestione Magazzino

Nella gestione del magazzino la tecnologia introduce novità particolarmente vantaggiose, sia per i lavoratori che vedranno semplificato il proprio lavoro, sia per i clienti che otterranno un servizio più efficiente. Come si può vedere in figura 3.2 tutti i processi di gestione del prodotto all'interno del magazzino risultano automatizzati e semplificati. Un sistema informatico è già in grado di segnalare giacenze basse, magari proponendo un quantitativo da ordinare in base alle vendite, consigliare nuove collocazioni per prodotti poco venduti o possibili offerte di vendita. Con l'introduzione dei sensori ZigBee sarà però possibile verificare la presenza dei prodotti non solo come giacenza a magazzino ma anche come giacenza effettiva sullo scaffale: questo permetterà di segnalare al personale la necessità di esporre nuova merce che sarà facile da identificare anche all'interno di confezioni ancora imballate. Il personale potrà verificare la corretta spedizione della merce segnalando istantaneamente l'insorgere di un problema nella consegna che attiverà misure cautelative per sopperire alla carenza del prodotto. Le operazioni di inventario saranno notevolmente semplificate. Lettori, inseriti nella struttura del magazzino o portati manualmente da personale, potranno interrogare i sensori sui prodotti e fornire istantaneamente la giacenza reale di tutti i prodotti: la velocità di esecuzione potrà far sì che l'operazione venga effettuata più volte durante l'anno e non necessiterà di una chiusura temporanea, fino ad oggi essenziale per svolgere tutte le operazioni di verifica manuale delle giacenze. La presenza dei sensori sui prodotti supplisce, senza l'ausilio di costi aggiuntivi per le strutture dedicate, alla funzione di antitaccheggio. Il totale della spesa verrà calcolato automaticamente evitando errori di battitura manuale, e contraffazioni volontarie e involontarie. Dal punto di vista del cliente, il servizio offerto trae vantaggi. Al momento dell'acquisto il cliente

è informato delle reali qualità dell'oggetto che sta comprando. All'uscita dal negozio il conto viene calcolato automaticamente e grazie al riconoscimento del cliente può essere addebitato sul conto corrente dello stesso addebitato sul conto corrente dello stesso.



Figura 3.6: Gestione Magazzino, (www.manageronline.it)

Nel caso di restituzione o di guasto, le informazioni e la storia del prodotto permettono di semplificare le procedure di controllo con una riduzione dei tempi necessari per l'operazione. Il cliente, a sua volta, potrà essere informato, mediante strumenti informativi diversi, sullo stato del prodotto acquistato (compresa la data di scadenza nel caso di prodotto alimentare). La domotica,⁴ permette agli elettrodomestici di interloquire tra loro e l'introduzione della tecnologia ZigBee permette al prodotto di fornire informazioni utili all'elettrodomestico. Per esempio il frigorifero può ordinare cibo, in base alle abitudini degli abitanti della casa in cui si trova, e segnalare eventuali scadenze dei prodotti al suo interno.

⁴scienza delle tecnologie telematiche nelle abitazioni.

3.8 Telepass

Da anni sulle automobili italiane è possibile applicare un piccolo trasponder chiamato telepass, che ha il compito di assolvere il pagamento del pedaggio autostradale: è forse questo il più importante e visibile esempio di utilizzo della tecnologia a radio sensori in Italia. Le autostrade italiane sono gestite da società diverse: questo ha portato alla creazione di barriere di confine tra i vari tratti autostradali. L'utilizzo di una rete wireless formata



Figura 3.7: Telepass, (www.autostrade.it)

permette di risolvere almeno due problemi:

- riduzione delle code per il pagamento manuale del pedaggio;
- utilizzo trasparente dei sistemi autostradali indipendentemente dalla proprietà;

La Società Autostrade Italiane sta studiando un sistema di Data Collection che permetta ai sensori di essere usati, oltre che per il pagamento del pedaggio, anche per il pagamento del rifornimento, per acquisti in autogrill e per servizi usufruibili in autostrada.

3.9 Metro: Il Negozio del Futuro

Il 28 Aprile 2003 è stato inaugurato a Rheinberg il primo negozio del futuro che sfrutta svariate nuove tecnologie. Il negozio di proprietà di Metro, sponsor dell'AutoId Center, consente ai clienti di scegliere fra la possibilità di continuare a fare la spesa come prima o optare per uno sfruttamento di tutte le tecnologie più innovative presenti. E' forse questo il test più importante per verificare la bontà del progetto che stravolgerà le modalità di gestione del magazzino. Il negozio è [22]dotato di scaffali intelligenti, sistemi di self check-out, bilance intelligenti e quanto di più tecnologico la società moderna può offrire. L'importanza del test risiede anche nel fatto che tutta la merce viene tracciata non solo all'interno del negozio ma anche nel percorso dal centro di distribuzione: questo permetterà di valutare la bontà della tecnologia a livello di trasporto, controllo degli arrivi e riordino.

Alcuni grandi produttori come Gillette, Kraft e Philips stanno collaborando per l'etichettatura dei singoli prodotti. Sono state implementate le funzioni di controllo scadenze e antitaccheggio. Vengono inoltre provate alcune funzioni innovative come, ad esempio, la possibilità di ascoltare un brano tratto dal cd che si desidera comprare. I carrelli, dotati anch'essi di trasponder e reader possono oltre che essere riconosciuti (utile per capire quanti clienti sono presenti nel negozio e decidere l'apertura di nuove casse) riconoscere il cliente, fornendogli informazioni sulle offerte presenti, sui punti accumulati sulla scheda, nonché una lista della spesa che il cliente stesso può precompilare via web.

Tutto il sistema interagisce con Sap⁵, il gestionale già in uso da parte dei negozi Metro.

⁵SAP è leader mondiale nelle soluzioni software per il business e fornisce applicazioni e servizi che favoriscono l'innovazione delle imprese.



Figura 3.8: Metro : Negozio del Futuro, (www.mondorfid.it)

3.10 Infosat

Infosat è un sistema utilizzato per la gestione dei parcheggi a pagamento. Facendo uso di uno specifico tool implementato nel sistema Infosat è possibile creare e gestire aree a pagamento o interdette, come ZTL, aree di emergenza o parcheggi. Un insieme di strutture dati vengono quindi sincronizzate con i terminali mobili, così da consentire il funzionamento dei controlli "location-based" e "graph-based" di inclusione attuale o potenziale del veicolo nelle aree, ed il funzionamento degli algoritmi di controllo e pedaggio. Le qualità dei sistemi di navigazione satellitare EGNOS e GALILEO che sono alla base dell'approccio innovativo che il sistema INFOSAT porta in alcuni rami dell'ITS, fanno sì che funzionalità "liability-critical", come il pedaggio all'utenza e l'esecuzione possano essere sui dati di posizionamento satellitare. Per esempio l'utente viene informato dello stazionamento in un parcheggio avente una determinata tariffa e gli viene proposto il pagamento tramite il servizio INFOSAT.



Figura 3.9: Infosat, (www.progettoinfosat.it)

Le applicazioni "Liability critical" hanno bisogno di attività di esecuzione, il sistema potrebbe fornire attività di law enforcement automatico, ma l'accettazione da parte dei cittadini sarebbe terribilmente bassa. La soluzione INFOSAT consiste in un prototipo di targa elettronica (Electronic Number Plate) partendo dalle attuali iniziative dello Stato e poggiando a puro titolo esemplificativo sulla tecnologia Zigbee. Un terminale mobile touch screen è stato dedicato all'attività dell'operatore di enforcement, da tale terminale tramite la targa elettronica di un veicolo è possibile ottenere: informazioni riguardo al proprietario del veicolo stesso, targa, tipo di motore, stato assicurativo, guidatore attuale, autorizzazioni per l'accesso.

3.11 Monitoraggio del traffico stradale

La congestione del traffico veicolare è uno dei problemi più importanti e urgenti della nostra società. L'elevata domanda di mobilità è, infatti, causa di lunghi tempi di attesa, incidenti, inquinamento e ingenti costi per la collettività. È estremamente importante migliorare l'efficienza delle infrastrutture viarie esistenti grazie ai progressi nell'ambito dell'*information and communication technology* ed in particolare nelle tecniche di rilevazione, elaborazione e comunicazione, per rendere più efficiente la gestione dei sistemi di trasporto. Il monitoraggio rappresenta un elemento fondamentale per la gestione efficiente del traffico. Sistemi di trasporto intelligenti (ITS) si basano, infatti, su una rete "pervasiva" di sensori che fornisce misure affidabili di traffico (numero di veicoli, velocità, tasso di occupazione, etc.) a centrali operative per la gestione del traffico (traffic management center, TMC). Possibili [25]strategie di controllo sono, ad esempio il controllo delle segnalazioni semaforiche, la regolazione del flusso nelle rampe di accesso alle autostrade, sistemi di informazione sullo stato del traffico, ottimizzazione dei percorsi, predizione dei flussi, sistemi di guida nei parcheggi, sistemi di gestione degli incidenti, ecc. Sebbene l'efficacia di queste strategie sia stata provata da vari studi nel settore (per la riduzione del tasso di incidenti, del consumo di

carburante e di inquinamento, del tempo di percorrenza), la maggior parte di esse rimane ad oggi inutilizzata e una delle ragioni è l'inadeguatezza dei sistemi di monitoraggio del traffico.

Nei sistemi di monitoraggio attuali i punti di misura sono disposti tipicamente ogni 500m-1km circa. Analisi sperimentali hanno dimostrato, invece, che per un controllo efficace della congestione è necessario un monitoraggio più denso (circa 100-200m circa, a seconda della tipologia della strada e del volume di traffico)⁶. I sistemi attuali, basati su reti cablate di sensori (spire induttive, microonde, magnetici, acustici, infrarossi, video), non sono adatti per monitoraggi pervasivi a causa dell'elevato costo di dispositivi, installazione e manutenzione. Il sistema, denominato Wi-Road, propone come soluzione alternativa una rete di monitoraggio di sensori wireless, cioè una rete auto-configurante e scalabile costituita da piccoli sensori di costo contenuto, alimentati a batteria e collegati fra loro via radio. I dispositivi della WSN sono facilmente installabili sotto il manto stradale grazie alle dimensioni contenute (qualche cm). Ciascun dispositivo è costituito da un sensore magneto-resistivo per la rilevazione del traffico, un processore per l'elaborazione delle misure, una batteria, una memoria, e un dispositivo radio. Rispetto ai classici sistemi cablati, la tecnologia wireless consente di ridurre tempi e costi di installazione (non è necessario posare cavi sotto la superficie stradale). Inoltre i sensori wireless possono essere installati a pochi metri l'uno dall'altro, rendendo la struttura di rilevamento più accurata e flessibile. Disponendo, ad esempio, punti di misura a 100-200m (o fino a 50m), si può realizzare una rete stradale "intelligente", completamente cablata in modo wireless, da utilizzare come piattaforma per l'attivazione di servizi avanzati per la gestione efficiente della mobilità.

In uno scenario futuro di mobilità con veicoli "intelligenti" in grado di comunicare fra loro attraverso tecnologie wireless mobili, la rete Wi-Road consentirà alla strada di rilevare automaticamente le proprie condizioni (di traffico, sicurezza stradale, climatiche, etc.), scambiare informazioni con i veicoli di

⁶dati da studi sulla reti stradali californiane

passaggio, con le unità di gestione e gli utenti via internet. Il sistema Wi-Road è finalizzato allo sviluppo di un sistema WSN a larga scala, con densità elevata di sensori e rilevazione in tempo-reale, per il monitoraggio, l'analisi e la gestione del traffico stradale. Il progetto è interdisciplinare, in quanto richiede competenze nell'ambito delle comunicazioni wireless, informatica, trattamento dei segnali e matematica applicata. Il sistema Wi-Road è stato progettato sulla base di una rete di monitoraggio wireless, in particolare composta da sensori di rilevamento, la cui architettura di rete, con i suoi meccanismi di sicurezza e protocolli di comunicazione, garantisce una connessione affidabile per un monitoraggio accurato del traffico. L'architettura di rete si basa sulla combinazione di diverse tecnologie wireless per garantire la copertura su larga scala. Fondamentale è lo sviluppo di protocolli ad-hoc per l'ottimizzazione del consumo energetico e la massimizzazione dell'autonomia dei sensori (almeno 10 anni compatibilmente con i tempi di manutenzione della strada e con rilevazione del traffico ogni 30s circa). Infine, sono presenti algoritmi avanzati di trattamento dei segnali per la calibrazione della rete, l'allocazione delle risorse e la sincronizzazione, in modo da rendere il sistema di monitoraggio in grado di auto-configurarsi e adattarsi a eventuali variazioni nelle condizioni di lavoro (per esempio comparsa di un dispositivo interferente).

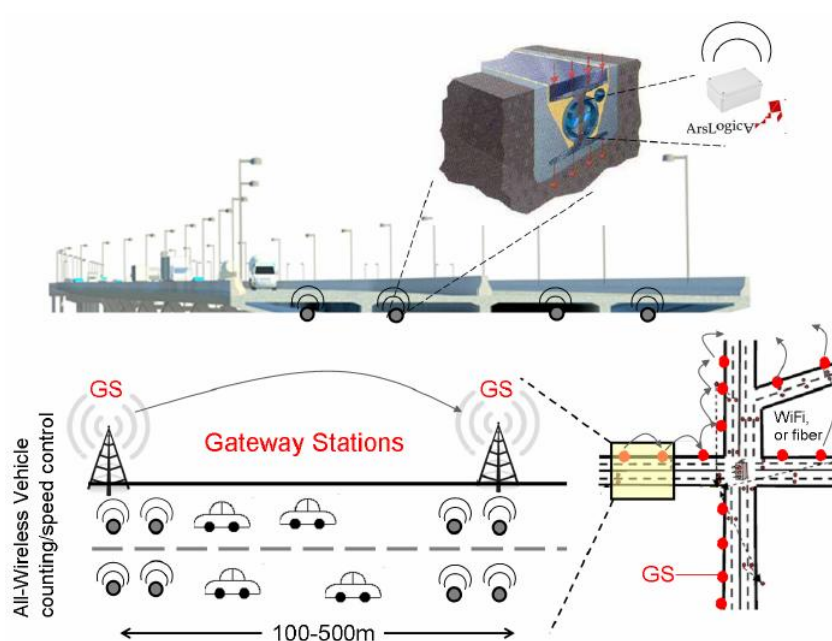


Figura 3.10: Architettura generale del sistema di monitoraggio wireless del traffico, (www.wisygeo.com)

3.12 Monitoraggio dei veicoli di trasporto

Fleet è un sistema di monitoraggio concepito al fine di ottimizzare il trasporto merci e la gestione di flotte di veicoli. Lo scopo è quello di realizzare una piattaforma, hardware e software, per la localizzazione e gestione di flotte di veicoli e del trasporto delle merci. La precisione nella rilevazione della posizione dei mezzi sta divenendo un fattore essenziale sia per quanto riguarda la gestione complessiva delle flotte di veicoli, sia dal punto di vista dell'affidabilità del sistema di rilevamento nel suo complesso. E' quindi sempre più necessario poter offrire alle aziende che dispongono di una flotta di veicoli un sistema che permetta, con precisione, di fornire i dati relativi ai percorsi effettuati dai veicoli nel periodo temporale richiesto al fine di abbattere i costi superflui di gestione, dando una stima più realistica del costo di percorrenza di determinate tratte.

Il sistema è costituito da una piattaforma di localizzazione e comunicazione veicolare, sia hardware che software, che implementa l'innovativa tecnologia GPS/EGNOS-GSM/GPRS. E' presente un software lato Server, preposto all'elaborazione dei dati, un software lato Client con la funzione di interfaccia per la visualizzazione delle informazioni e da centraline GPS/EGNOS-GSM/GPRS montate a bordo dei veicoli. Le centraline registrano in modo automatico e continuo l'attività del veicolo, memorizzano le coordinate GPS/EGNOS della posizione, se il motore è acceso o spento, se è in movimento oppure in sosta. Specifiche icone identificano sul tracciato le soste ed altri elementi utili alla gestione della flotta. Il sistema è in grado di integrare anche un applicativo che permette la pianificazione dei percorsi. È quindi possibile confrontare direttamente sulla cartografia i "dati storici" dei viaggi, cioè i chilometri percorsi, le ore di guida e la durata delle soste. Tramite la pianificazione è così possibile evidenziare eventuali problematiche e sprechi identificando opportunamente le varie soluzioni al fine di aumentare l'efficienza della gestione della flotta. I sistemi di monitoraggio consistono nella gestione in tempo reale dei dati di localizzazione dei veicoli e delle merci rendendo queste informazioni immediatamente disponibili ad una centrale

operativa. Inoltre, è possibile monitorare costantemente il volume del carico e il suo "stato" tramite sensori wireless, cosa che gli attuali sistemi oggi presenti sul mercato non riescono a fare o fanno solo parzialmente.

La gestione della flotta di veicoli copre così anche il carico trasportato dai singoli mezzi. In questo modo si riducono i tempi di registrazione e controllo del carico, in quanto tali attività vengono svolte dalla struttura elettronico-informatica, aumentando di conseguenza la produttività dell'intera fase di trasporto. E' possibile così conoscere, per l'intera tratta del viaggio del veicolo, lo stato della merce trasportata, tramite sensori di temperatura ed accelerazione, ed il livello del volume del carico, tramite la creazione di un sistema di sensori di profondità montata a bordo dell'eventuale container trasportato dal mezzo. Nel container viene installata una griglia di sensori volumetrici atti a controllare il volume del carico trasportato. Questi sensori comunicano con una centralina montata nel container e quest'ultima a sua volta invia le informazioni al dispositivo di localizzazione montato nella motrice attraverso il protocollo di comunicazione ZigBee e per mezzo di un segnale radio potenziato. Dall'analisi svolta sullo storico dei viaggi percorsi

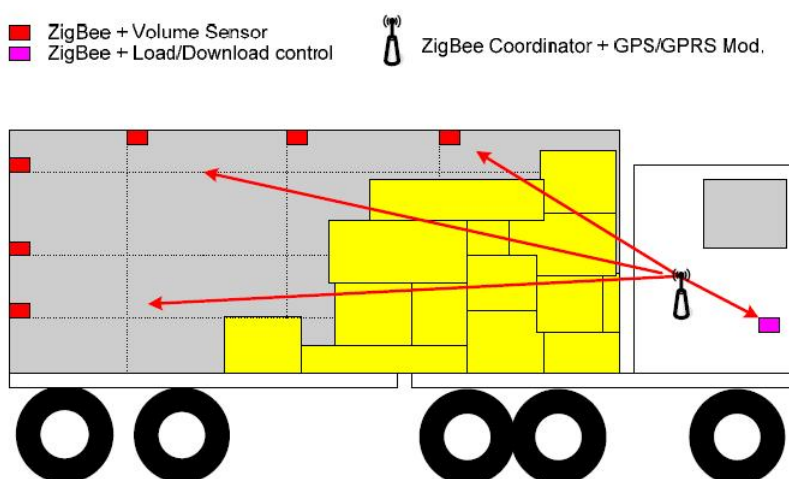


Figura 3.11: Schema sistema di monitoraggio del carico, ((www.allix.it))

dai veicoli e dalla merce, è quindi possibile, in maniera automatizzata, indivi-

duare le tratte maggiormente redditizie o quelle che in definitiva all'azienda "costano meno". Conoscere queste informazioni significa ridurre gli sprechi ed aumentare l'efficienza del sistema nel suo complesso. Il sistema è caratterizzato da un innovativo utilizzo della tecnologia web service che permette di far interagire la infrastruttura server con quella client tramite la rete internet in maniera trasparente, veloce ed efficiente.

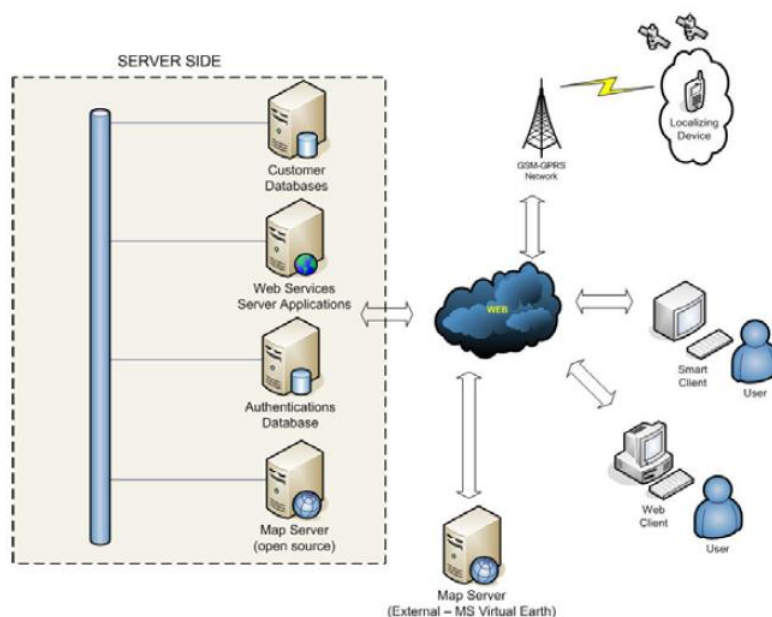


Figura 3.12: Schema rappresentativo della struttura di comunicazione e gestione dati, (www.allix.it)

Capitolo 4

Caso Studio: Z-Sim

La Telecom Italia è entrata nel luglio 2004 nella Zigbee Alliance, avviando sin da subito attività di ricerca nei propri laboratori per studiare e comprendere le potenzialità di una nuova tecnologia e valorizzarne lo sfruttamento da parte dell'operatore.

Nei laboratori si sono realizzati i primi prototipi di periferiche con nodi Zigbee integrabili su terminali commerciali, in particolare è stato sviluppato il primo prototipo di **Z-SIM**, Grazie alla nuova SIM card, il terminale potrà in completa sicurezza connettersi, dialogare, monitorare e controllare reti personali di oggetti siano essi apparati, impianti elettrici e di riscaldamento, sensori locali.

Questa Z-SIM, utilizza il nuovo standard di trasmissione radio ZigBee, pensato per fare interagire i dispositivi a basso costo in un raggio che varia dai pochi centimetri alle decine di metri.

Modello di integrazione nella SIM



Figura 4.1: Integrazione della Z-Sim, (www.telecomitalia.it)

4.1 Cos'è la Z-Sim

La Z-Sim è un nodo ZigBee integrato su una SIM card, il microchip presente sui terminali mobili che contiene i dati del cliente e i protocolli di connessione alla rete del gestore telefonico.

L'integrazione in una carta SIM offre molteplici vantaggi: la soluzione è portatile, in quanto indipendente dal terminale utilizzato, sicura e fortemente correlata all'utente ed al suo profilo di servizio. La Z-Sim [26] garantisce la sicurezza delle transazioni, perché può tutelare l'utilizzatore da intrusioni ed interferenze. La nuova applicazione, a differenza di altre "tecnologie di prossimità" esistenti come il bluetooth, utilizza meccanismi di sicurezza più efficaci che, abbinati alle tecniche di autenticazione ed identificazione proprie delle SIM Card, quali il codice identificativo conosciuto solo dall'utilizzatore (il PIN - Personal Identification Number), consentiranno a Telecom Italia di offrire ai propri clienti una soluzione di pagamento sicura ed efficace.

Sostituendo la SIM tradizionale con una ZSIM il telefonino si trasforma

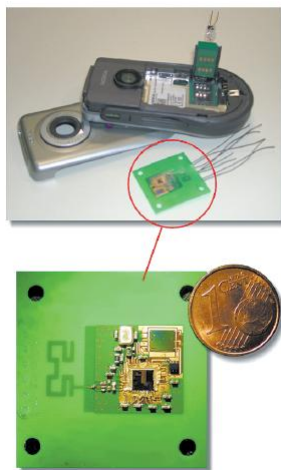


Figura 4.2: Sim con nodo ZigBee Integrato, (www.telecomitalia.it)

quindi in un telecomando intelligente che interagisce con le reti di utilità che ognuno di noi potrà creare in un prossimo futuro in casa propria formate da elettrodomestici, computer, stereo, tv, decoder impianti di luci e

riscaldamento. Grazie alla nuova scheda, dotata di una tecnologia radio di ultima generazione, tutti i telefonini dei clienti TIM potranno "parlare" con qualsiasi terminale o oggetto equipaggiato con la stessa SIM, semplicemente premendo un tasto del cellulare.

Le due schede, una volta che si saranno "riconosciute" consentiranno al telefonino di gestire gli elettrodomestici (attivare caldaie, modificare le temperature, controllare il sistema di innaffiamento del giardino, accendere e spegnere le luci delle abitazioni e gestire i file del computer). Inoltre, le Smartcard dei decoder di uso comune, dotate della nuova tecnologia, renderanno possibile il "dialogo" con i telefonini che diventeranno il mezzo per acquistare i programmi televisivi, senza dover collegare il decoder alla presa telefonica.

Il telefonino potrà interagire con il decoder tv ed acquistare la partita della squadra del cuore, il film preferito oppure consentire la ricarica della smart card prepagata senza più recarsi ad un punto autorizzato. Con la ZSIM Telecom Italia darà il via ad una nuova generazione di servizi che faciliteranno la vita quotidiana: acquisteremo biglietti al cinema senza più dover fare lunghe code, accederemo a servizi di e-government, interagiranno con l'ambiente per monitorare l'inquinamento, il traffico pagare parcheggi e pedaggi.

La nuova SIM garantisce la sicurezza delle transazioni perchè può tutelare l'utilizzatore da intrusioni ed interferenze. La nuova tecnologia radio è stata abbinata alle carte dei telefonini per la prima volta al mondo da TIM e dal centro di ricerche e sviluppo di Telecom Italia a Torino che hanno reso operativo e brevettato il progetto.

4.2 ZigBee nel Telefonino

L'integrazione della tecnologia Zigbee sui terminali consente all'utente di interagire direttamente con le reti ad hoc e di sensori presenti nell'ambiente, aprendo importanti scenari applicativi e di utilizzo. Terabyte di dati, veicolati attraverso le reti dell'operatore verso i centri servizi, vengono raccolti, correlati ed elaborati, trasformandosi in informazioni utili per il nostro vivere quotidiano.

Si creano così [24] sistemi di reti eterogenee nei quali le *Wireless Personal Area Networks* e le reti tradizionali dell'operatore cooperano per monitorare e controllare ambienti quali la casa, l'auto, la città.

Il nodo gateway, elemento chiave dell'interazione con la rete di distribuzione,

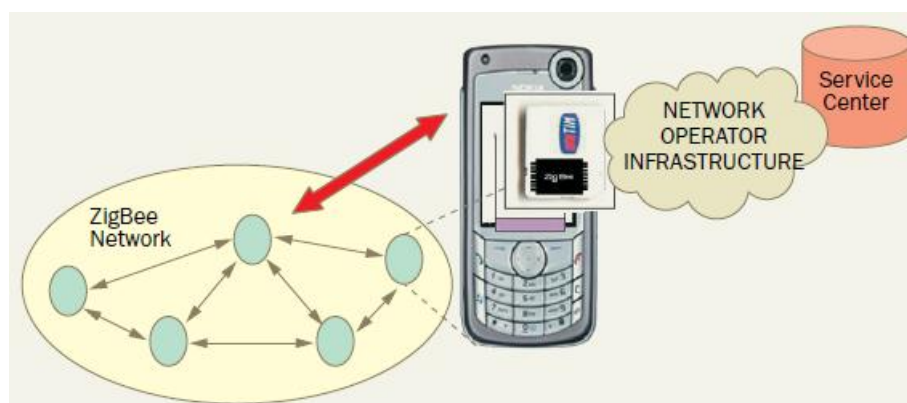


Figura 4.3: ZigBee Gateway Integrato su terminale, (www.telecomitalia.it)

integrato nell'ecosistema dell'operatore può configurarsi come un terminale mobile (Smartphone, PDA - Personal Digital Assistant) o fisso (per esempio, Access Gateway) in cui viene integrato un nodo ZigBee.

I nodi sensori delle reti ad hoc, come si è visto in precedenza, sono tipicamente caratterizzati da scarse risorse computazionali, di memoria ed energetiche: l'integrazione del nodo gateway su terminale consente invece di superare tali limitazioni, utilizzando le risorse del terminale stesso.

In questo contesto eterogeneo l'architettura di rete include stazioni base per

l'accesso alla rete fissa, terminali fissi e mobili per il trasferimento dell'informazione, nodi di sensori distribuiti; si configura perciò come un'architettura ibrida che coniuga l'accesso wireless a reti tradizionali con lo scambio di informazioni tipico delle reti ad hoc, sfruttando nuovi paradigmi di instradamento basati su architetture gerarchiche. Questi paradigmi fanno leva su sinergie tra le capacità di trasmissione, e quindi di trasferimento dati, proprie dei nodi sensori e di terminali 2.5/3 G.

L'operatore, in questo scenario di rete pervasiva fisso/mobile estesa ad un ambiente sempre più "intelligente", può giocare così un ruolo strategico importante, creando un ecosistema unico di cui assumere il controllo, non solo come trasportatore di dati, ma identificandosi come garante di sicurezza e affidabilità (fidelizzazione del cliente) e gestore della personalizzazione ed integrazione con i bisogni e le esigenze dell'utente.

4.3 Scenari D'uso

Come possiamo notare dall'immagine sottostante la Z-sim trasforma il cellulare in un Gateway ZigBee tra le reti della WPAN ZigBee e l'operatore della rete mobile abilitando una vasta gamma di servizi. Il compito del terminale mobile è quello di raccogliere, collezionare, processare, aggregare e visualizzare tutte le informazioni. Questa tecnologia potrà essere usata non solo in ambiente domestico ma anche all'esterno: le nuove SIM interagiranno, infatti, anche con analoghe schede inserite nelle apparecchiature utilizzate per il pagamento dei biglietti del cinema, dei parcheggi e dei pedaggi autostradali.

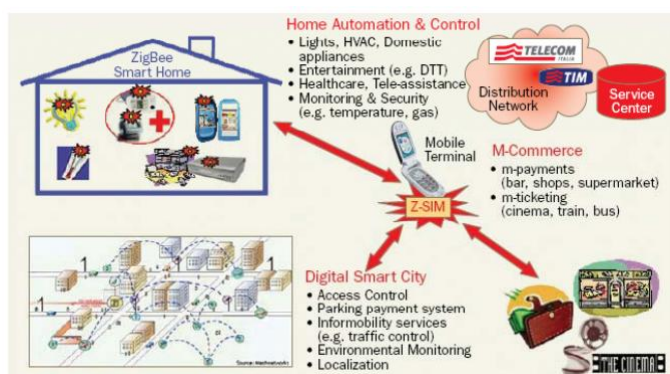


Figura 4.4: Scenari D'uso, (www.telcomitalia.it)

I scenari d'uso dove è possibile sfruttare la Z-Sim sono:

- Tracciabilità dei pazienti;
- Controllo Accessi;
- Controllo zone riservate;
- Controllo Aeroporti;
- Controllo Musei;

4.3.1 Acquisto assistito dei beni di consumo

Questo sistema dotata di tecnologie radio avanzate, lo possiamo definire un sistema di Data Collectio, perchè grazie ad esso il cliente potrà ragionare sull'acquisto di un prodotto, leggendo tutte le informazioni arrivate sul proprio terminale mobile dotato di una Z-sim. Nel momento in cui il prodotto selezionato viene messo all'interno del carrello è possibile come si nota dalla figura sottostante ricevere tutte le informazioni relative al prodotto dai database di riferimento partendo da un codice a barre oppure un RFID. In questo modo il cliente viene identificato ed autenticato dal centro [28]servizi che ha accesso al suo profilo medico. Tutti i dati relativi al prodotto ed il profilo utente vengono incrociati per generare raccomandazioni specifiche al cliente (es. intolleranze, compatibilità con la dieta, attività suggerite per smaltimento calorie, ecc.).



Figura 4.5: Acquisto Assistito, (www.telecomitalia.com)

4.3.2 Cardio Gps

Il Cardio GPS nasce per garantire la sicurezza delle persone infartuate, soprattutto nei casi in cui non è possibile permettersi una forma di assistenza domiciliare. L'obiettivo è consentire al sistema sanitario di intervenire in caso di emergenza, attraverso la segnalazione di un dispositivo automatico, che funzioni tramite un sistema di posizionamento GPS e tecnologie ZigBee. Il paziente infartuato, nel momento in cui viene dimesso, riceve un corpetto in microfibra, dove all'interno di questo corpetto ci sono un insieme di tecnologie tra cui la Z-Sim. Qualora i sensori cardiaci registrino delle aritmie, vengono inviati i dati dell'ECG al servizio di emergenza cardiologica; L'invio di questi dati permette al cardiologo di visualizzare in tempo reale l'elettrocardiogramma del paziente, i suoi dati personali e la sua cartella clinica; inoltre, grazie al modulo Gps, vengono inviati i dati per la localizzazione della persona; Una volta stabilita la gravità delle aritmie, si predispone l'eventuale invio di un'ambulanza presso il paziente. Lo ZigBee [29] consente al corpetto di dialogare con due reti distinte: Una rete domestica di controllo, composta da un router, il cui compito è stabilire una connessione remota con il cardiologo curante, che può monitorare a distanza le condizioni del paziente, e da uno smartphone, che funge da interfaccia grafica per la visualizzazione dell'elettrocardiogramma e di altri dati come i valori cardiaci;



Figura 4.6: Cardio GPS, (<http://www.slideshare.net>)

4.3.3 BibliotecaTicket

Il sistema BiblioTicket permettere agli abitanti di Assago di condividere le proprie conoscenze tramite una rete collaborativa utilizzando i mobile device. La struttura della biblioteca viene vissuta dagli utenti in modo molto individuale, essi studiano per conto proprio senza condividere interessi e conoscenze.

L'idea di questo sistema e quello di [?]condividere, scambiare dati e conoscenze tra gli abitanti di Assago all'interno della biblioteca utilizzando un dispositivo mobile "Smartphone" che comunica tramite la tecnologia Zig-Bee, in particolare grazie alla Z-sim.

La piattaforma del sistema è formata da cinque stanze virtuali che offrono servizi di base:

1. Utente che offre aiuto;
2. Utente che cerca aiuto;

e servizi complementari:

1. Catalago libri;
2. Chiacchiere e svago;
3. Bacheca elettronica;

L'utilizzo di nuove tecnologie radio come Zigbee integrato all'interno di uno "Smartphone", sfrutta le connessioni wireless permettendo ai vari device di comunicare tra di loro. La tipologia di collegamento formata da questo sistema è simile a una vera e propria rete telematica, formata dai dispositivi principali che vengono usati in una rete zigbee. Il nodo Coordinatore deve essere presente in ogni rete e coordina la creazione della rete ZigBee, il nodo Router partecipa alla consegna dei messaggi tra gli utenti e in fine il device, cioè la SIM con nodo ZigBee integrato che riceve le richieste.

Un esempio di come potrebbe essere utilizzato questo sistema è rappresentato dal seguente scenario:

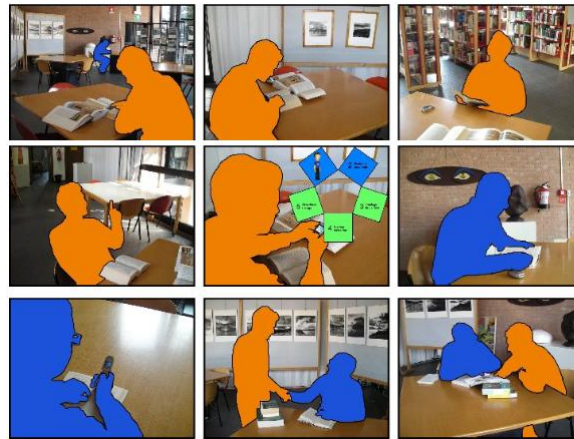


Figura 4.7: Scenario Applicativo, (www.slideshare.net)

Due utenti, come d'abitudine, sono in biblioteca a studiare. Il Primo è alle prese con i libri di informatica, in quanto domani sosterrà una prova scritta, ma incontra difficoltà nell'imparare alcuni concetti dello standard IEEE 802.11. Decide a questo punto di utilizzare il servizio che offre la biblioteca per cercare qualcuno che lo possa aiutare, ed entra col suo smartphone nella stanza Offro Aiuto. Qui si accorge che un utente da la sua disponibilità ad aiutare altre persone in materie scientifiche-informatiche e decide di rispondere all'annuncio. L'utente che offre aiuto, riceve la richiesta sul suo cellulare da parte del server e risponde con una conferma della sua disponibilità. Dopo aver ricevuto la risposta i due utenti si incontrano per conoscersi e iniziare a studiare.

4.3.4 Fitness Training

Il progetto Angel, ha attivamente contribuito alla creazione di soluzioni funzionali e tecnologiche innovative, che consentono lo sviluppo e la diffusione di un'ampia gamma di servizi di wellness ed healthcare, ad esempio per supportare e migliorare gli effetti dell'esercizio fisico, il monitoraggio continuativo dei parametri fisici, per segnalare eventuali anomalie, per la personalizzazione delle condizioni climatiche e di illuminazione dell'ambiente lavorativo o residenziale.

Il primo dimostratore del progetto fornisce un esempio di servizio di fitness training attraverso il quale l'utente può essere seguito da un trainer che prepara piani di allenamento personalizzati che vengono scaricati sul proprio cellulare. L'utente dispone inoltre di un dispositivo contapassi con interfaccia wireless ZigBee, in grado di calcolare passi eseguiti, distanza percorsa, velocità istantanea e consumo di calorie. Quando viene eseguita la sessione di training, i dati del contapassi vengono inviati dal cellulare al centro servizi dove verranno memorizzati, consentendo in seguito al trainer di controllare lo svolgimento della sessione e di fornire opportune indicazioni per il miglioramento delle performance. Lo scenario dimostrato è ovviamente un

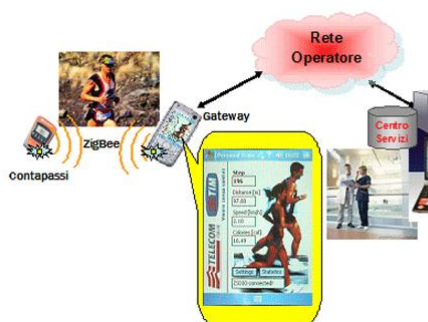


Figura 4.8: Servizio di Fitness Training, (www.telecomitalia.it)

semplice esempio di servizio che può essere esteso a situazioni più complesse¹

¹Piattaforma utilizzata per realizzare sistemi di monitoraggio continuativo dello stato di persone anziane o individui affetti da particolari patologie (4.3.2).

in cui vengono utilizzati ulteriori sensori che, raccogliendo parametri vitali (ad esempio ad un cardiofrequenzimento), forniscono utili indicazioni sullo stato di affaticamento della persona e sul superamento di determinate soglie; dal centro servizi si possono inviare segnalazioni di allarme.

Conclusioni

In pochi anni Internet ha rivoluzionato il nostro modo di comunicare e di accedere all'informazione. Ormai cercare informazioni su siti o su librerie elettroniche tramite il web, inviare messaggi con email, scambiarsi file con le applicazioni peer-to-peer, e "chattare" con gli amici è diventato abituale per tutti o almeno per le nuove generazioni. E la rivoluzione non è ancora finita. L'Internet del Futuro è oggi uno degli argomenti di ricerca su cui la comunità internazionale investe di più. L'accesso a Internet attraverso le reti wireless come UMTS, WiFi, WiMax promettono ad un crescente numero di utenti di accedere alle applicazioni Internet ovunque si trovino. Persino gli oggetti della nostra vita quotidiana quali automobili e elettrodomestici verranno presto collegati alla Rete per aumentare la nostra capacità di interazione e controllo. Le nostre città e gli ambienti naturali protetti si riempiranno di sensori collegati alla Rete per consentirci di segnalare e prevedere situazioni di pericolo o disastri naturali. Anche la gestione delle risorse energetiche sarà presto un altro dei servizi di Internet diventando lo strumento per aumentare l'efficienza nella generazione e nel consumo di energia e diminuire l'impatto ambientale.

Le reti di sensori wireless rappresentano uno degli argomenti più promettenti nell'attuale panorama scientifico. I possibili campi di applicazione sono vastissimi e inesplorati. Ad oggi, tuttavia, la realizzazione di molti dei possibili scenari applicativi appare ancora lontana. Gli ostacoli principali sono costituiti dal costo ancora elevato dei nodi sensore, dalla scarsa autonomia energetica e dalla limitatezza delle capacità d'elaborazione e trasmissione. In

questo testo oltre ad analizzare i principali campi di applicazione, si fa riferimento anche ad uno standard di comunicazione che permette di risolvere il problema dell'autonomia energetica. Con l'evoluzione della tecnologia, il mercato dei sensori offre non solo prodotti sempre più precisi e affidabili, ma anche funzionalità sempre più sofisticate, e nuovi tipi di modalità di comunicazione, tra cui la possibilità di comunicare attraverso le tecnologie wireless. Come si evince dal mio elaborato le reti di sensori wireless *Wireless Sensor Networks*, rappresentano ormai una realtà consolidata nell'ecosistema dell'IT. Le WSN stanno sempre più estendendo le loro funzionalità e campi di applicazione per via delle loro capacità di interagire con l'ambiente circostante e in qualsiasi situazione. Quello che ho voluto descrivere è la possibilità di raccogliere informazioni (Data Collection) all'interno di reti che potessero sfruttare i protocolli dello standard dell'IEEE 802.15. In particolare ho messo in evidenza i vantaggi di utilizzare lo standard zigBee (802.15.4) rispetto ad altre tecnologie, in quanto con il passare degli anni, sia WiFi che Bluetooth non riescono a rispondere alle necessità dei nuovi scenari d'uso, che non richiedevano un aumento della velocità di trasferimento, bensì una semplificazione della tecnologia, dei consumi ridotti e una capacità della rete radio digitale ad hoc di "autoorganizzarsi". L'obiettivo principale di tale tecnologia è quello di permettere la realizzazione di una rete mesh in maniera semplice, economica e soprattutto autogestita, attraverso dispositivi che hanno un consumo talmente basso da poter funzionare anche per anni con la stessa batteria.

ZigBee è una tecnologia radio emergente che permette la creazione di reti ad hoc di oggetti intelligenti, abilitando una moltitudine di servizi innovativi che spaziano dall'automazione domestica al monitoraggio dell'ambiente. Come si è visto, sono innumerevoli le applicazioni che traggono vantaggio dall'uso della tecnologia ZigBee, l'unico limite è la fantasia. Tutto questo comporta uno stile di vita migliore, garantendo il pieno controllo di tutti gli oggetti utilizzati.

Tutto questo sicuramente rivoluzionerà la nostra vita quotidiana.

Bibliografia

- [1] Giovanni Gamba, "Sviluppo di una rete di sensori wireless in tecnologia IEEE 802.15.4," <http://www.dei.unipd.it>.
- [2] Dipartimento di ingegneria dell'informazione, "Ricerca Scientifica" <http://www.dei.unipd.it>, 2010.
- [3] Wireless Sensor Networks, "Wikipedia", http://it.wikipedia.org/wiki/Wireless_Sensor_Networks, 2010.
- [4] Zuh Song, Tesi di laurea, "Controllo e gestione di una Wireless Sensor Network", <http://www.dbgroup.unimo.it>, 2009.
- [5] National Instruments, "Cos'è una rete di sensori wireless", <http://zone.ni.com>, 2011.
- [6] Elisa Rambaldi, "Sviluppo di Sensori ZigBee", <http://www.unimi.it>, 2008.
- [7] ZigBee Alliance Home Page, <http://www.zigbee.org/>.
- [8] Sensori ZigBee "Per una strada più sicura", <http://rfid.wip.thebizloft.eggsist.com.>, Luglio 2010.
- [9] Maura Turolla, Elisa Alessio, Telcom Italia, "ZigBee Standard di Trasmissione", www.telecomitalia.com Gennaio 2006
- [10] "ZigBee Tutorial", <http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee>.

-
- [11] Technische Universitat Dresden, "Faculty of Computer Science Chair of Computer Networks, Wireless Sensor Networks, ZigBee", <http://wwwpub.zih.tu-dresden.de>, Novembre 2006.
- [12] ZigBee Network, "Moduli Miniaturizzati per Applicazioni Wireless" Il Protocollo IEEE 801.15.4 e ZigBee", <http://www.zigbeenetwork.it>, 2011.
- [13] Data Collection, "Le Regole Generali", <http://www.datacollection.eu>, Aprile 2008.
- [14] Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking, "Ambient Data Collection with Wireless Sensor Networks", <http://www.hindawi.com>, 2010.
- [15] Progetto Infosat, "Road e Park Pricing", "La mobilità del futuro" <http://www.progettoinfosat.it>, Giugno 2010.
- [16] Carlo Maria Medaglia, "Tecnologie della comunicazione" <http://www.narrando.it>, Aprile 2010.
- [17] TD Group, Ricerche e Sviluppo, "Monitoraggio Ambientale" <http://www.tdgroup.it>, 2011.
- [18] Il Magazzino di Domani, "Tendenze, Metodi, Tecnologie", <http://www.manageronline.it>, Febbraio 2011.
- [19] Datalogic Automation, "Per garantire una corretta e piu' rapida procedura di smistamento e consegna bagagli fiumicino", <http://www.agi.it>, Luglio 2010.
- [20] Rassegna Stampa, Automazione Industriale e Identificazione a radio frequenza, Datacollection Immergas e Slimpa-Kone realizzati. <http://www.euro-link.it>, Novembre 2008.
- [21] Mondo RFID, Metro, "Il Negozio del Futuro" <http://www.mondorfid.com>.

-
- [22] WisiGeo, ArsLogia, "Wireless Road Monitoring for Efficient Traffic Management", <http://www.wisygeo.com>
- [23] Allevi Ivan, Fleet, "Monitoraggio di flotte di veicoli", <http://www.aliax.it>, 2009.
- [24] Maura Turolla, Elisa Alessio, Notiziario tecnico Telecom Italia, "Zig-Bee standard di trasmissione emergente: una rivoluzione in atto" <http://www.telecomitalia.com/TIPortale/docs/innovazione>, Giugno 2006.
- [25] Valentina Tortelli, ComunicaLab, "Z-Sim: Il cellulare parla agli oggetti", <http://www.comuniclab.it>, 2005.
- [26] Franco Bernabè, Luca Tommasini, "GSM: venti anni di parole in libertà" Aprile 2008.
- [27] Simonette Iarlori, Dominic Granter, Maura Turolla, Antonio Variabile, HW-SW Innovation-Access-Terminals, "Internet delle Cose" <http://www.confindustria.it/presentazioneppt>. 2009.
- [28] Carlo Bermani, Jacopo Farina, Stefano Ranieri, "Servizi Digitali e reti collaborative Bibloticket", <http://www.slideshare.net>.
- [29] Massimo Fusco, Andrea Riccio, Tecnologia Applicata all'impresa, "Cardio GPS" <http://www.slideshare.net>.
- [30] Pierangelo Marino, Mauro Turolla, Salute e benessere, "Nuovi servizi ed opportunità per l'operatore di Telecomunicazioni", <http://www.telecomitalia.com>., Marzo 2009.

Ringraziamenti

Qui possiamo ringraziare il mondo intero!!!!!!!!!!
Ovviamente solo se uno vuole, non è obbligatorio.