

Misure di
Received Signal Strength Intensity (RSSI)
in reti ZigBee

Roberto Maurizio Pellegrini, Diego Volponi

Fondazione Ugo Bordoni

mpellegrini@fub.it , dvolponi@fub.it

Indice

Introduzione	3
1. Specifiche tecniche	5
2. Descrizione ambiente di misura.....	7
3. Descrizione della misura.....	9
4. Conclusioni	11
Appendice A	13

Indice delle Figure

Figura 1. Topologia di rete Mesh ZigBee	5
Figura 2. Scheda Seriale Zigbee	5
Figura 3. Planimetria laboratorio di misura	7
Figura 4. Foto Laboratorio - Lato Nord-Ovest.....	8
Figura 5. Foto Laboratorio - Lato Nord-Est.....	8
Figura 6. Foto Laboratorio - Lato Sud-Ovest.....	8
Figura 7. Foto Laboratorio - Lato Sud-Est.....	8
Figura 8. Foto Laboratorio - Ostacolo metallico.....	8
Figura 9. Posizionamento Coordinator.....	9
Figura 10. Dettaglio nodi Coordinator e Router.....	9
Figura 11. Griglia dei punti di misura.....	10
Figura 12. Misure 1o esperimento (passo 8,5 cm) in dBm	13
Figura 13. Misure 1o esperimento (passo 8,5 cm) in nW	13
Figura 14. Grafici del campo ricevuto nel primo esperimento	14
Figura 15. Misure 2o esperimento (passo 30 cm) in dBm	15
Figura 16. Misure 1o esperimento (passo 8,5 cm) in nW	15
Figura 17. Grafici del campo ricevuto nel secondo esperimento.....	16
Figura 18. Misure 3o esperimento (passo 8,5 cm) in dBm esadecimale	17
Figura 19. Figura 16. Misure 3o esperimento (passo 8,5 cm) in nW.....	17

Introduzione

ZigBee è un insieme di protocolli di comunicazione basato sullo Standard 802.15.4. Opera alle frequenze delle Bande ISM (Industrial, Scientific and Medical) assegnate: a) 868 MHz (Europa), b) 915 MHz (Nord America) e 2,4 GHz (in tutto il mondo). La tipologia di rete di nodi ZigBee rientra nelle “*low bitrate*” *Personal Area Network* (PAN) a *short range*.

ZigBee fu concepito nel 1998 per soddisfare i bisogni di piccole reti auto-configuranti ed economiche.

Nel 2003 fu rilasciato dai gruppi IEEE 802 collegati alle PAN, lo standard 802.15.4 che definisce i “livelli inferiori” (OSI) di ZigBee, ovvero un’infrastruttura di comunicazione ed una logica di controllo semplice e leggera dove i dispositivi sono in grado di comunicare tra loro in maniera autonoma.

Lo standard Zig Bee definisce un meccanismo di comunicazione Wireless operante su piccole distanze e con una modesta banda passante: 250 kbps su un raggio teorico di copertura tra i trenta metri in ambienti *indoor* e i cento metri in situazioni *outdoor*.

ZigBee opera come rete a basso *bitrate* e a consumo limitato, e può essere impiegato nei collegamenti di dispositivi quali: interruttori della luce, serrature, sensori ambientali o allarmi a cui fornire la capacità di integrarsi in una rete domotica. Questi dispositivi non richiedono alte velocità di comunicazione, hanno poche informazioni da scambiare al secondo, hanno bisogno di consumare poca energia e consentire ai terminali, con pile incorporate, di funzionare per lungo tempo (mesi o anni) vista la generica insostituibilità delle batterie stesse.

Sfruttando la tecnologia ZigBee è possibile monitorare e controllare lo stato dei sistemi in maniera distribuita in ambiente domestico, commerciale o industriale.

Il termine ZigBee, deriva da “*zigging bee*” la danza delle api domestiche, metodo attraverso il quale vengono comunicati i dati essenziali per la sopravvivenza della colonia.

A questo punto bisogna specificare gli elementi essenziali per la definizione di una rete ZigBee. In linea con l'analogia della colonia d'api, formata da una regina e dalle operaie, allo stesso modo anche ZigBee è un'organizzazione gerarchica. Lo standard definisce tre livelli di funzioni logiche degli apparati:

- **ZigBee Coordinator – ZC**

E' l'elemento più complesso della rete ZigBee e l'unico essenziale. Opera come nodo radice di coordinamento della rete ad albero, inizializza la rete, gestisce i vari nodi, opera la raccolta dati ed è in grado di operare come *bridge* verso altre reti. Per ogni rete viene designato un *Coordinator* che contiene le informazioni sulla rete e le chiavi di sicurezza. Senza il nodo *Coordinator* non può essere formata una rete ZigBee.

- **ZigBee Router – ZR**

E' un elemento opzionale della rete, viene definito *Full Function Device* (FFD), gestisce il *routing* delle comunicazioni di rete attraverso le relative tabelle, può allocare nuovi dispositivi nella rete, raccoglie le informazioni ricevute dai nodi secondari e le invia al nodo centrale.

- **ZigBee End Device – ZED**

E' un elemento opzionale della rete, viene definito *Reduced Function Device* (RFD), genera informazioni e le invia al Coordinator o al Router, non può operare come intermediario per altri dispositivi. E' l'elemento più semplice ed economico, solitamente destinato ad oggetti quali interruttori TV, radio, lampade, elettrodomestici, ecc.

Si possono realizzare reti a topologia Mesh, in cui sottoreti a stella (un sensore ZR/FFD che coordina diversi sensori ZED/RFD) si interfacciano mediante collegamenti diretti fra FFD (Fig. 1).

Nelle reti Mesh gli apparati possono divenire essi stessi nodi di smistamento delle informazioni, con la conseguente estensione della portata della rete, aumento dell'affidabilità e soprattutto della resistenza a interferenze e guasti di apparati, grazie alla possibilità di modificare i percorsi della comunicazione a seconda delle condizioni al contorno.

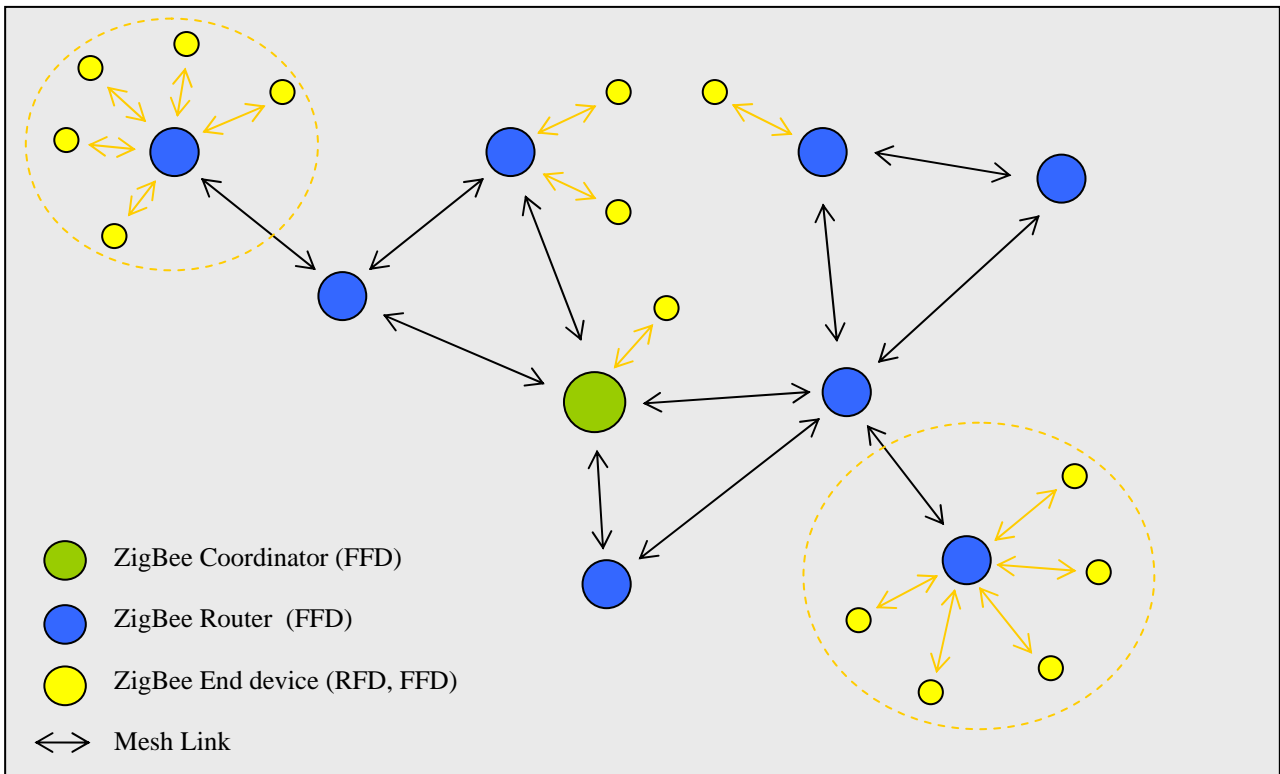


Figura 1. Topologia di rete Mesh ZigBee

1. Specifiche tecniche

Per la realizzazione dell'esperimento sono state utilizzate Schede seriali ZB01CA prodotte da Digi (vedi Fig. 2).



Figura 2. Scheda Seriale Zigbee

La scheda ZB01CA è un modulo seriale compatibile con la linea di dispositivi ZigBee prodotti da Digi.

L'alimentazione può avvenire da più fonti e in più modi:

- tramite alimentatore esterno, attraverso il *plug* dedicato; lo ZB01CA accetta un *range* di tensioni da 7 a 40 V (9V consigliato), il regolatore *on board* si occuperà di alimentare il resto del dispositivo a 3,3 V.
- tramite batterie/pile collegate direttamente alle linee non regolate della scheda; in questo caso bisogna prestare attenzione in quanto si va ad alimentare in modo diretto (senza regolatore) il modulo in oggetto e il *range* di tensioni accettate in questo caso è tra i 2,7 ed i 3,4 V.

Il singolo modulo può essere connesso fisicamente con dispositivi dotati di una porta RS232. Attraverso un adattatore usb/seriale, inoltre, ogni PC (non avente porta di comunicazione RS232) può essere munito di questi dispositivi che incorporano la tecnologia wireless.

Come detto precedentemente, lo standard ZigBee opera principalmente nella banda ISM 2,4 GHz, la stessa utilizzata da RadioLan generiche, WiFi, Bluetooth, Wibree ed TAG RFID passivi. L'uso di questa banda non "regolamentata", garantisce la possibilità di installare gli apparati in maniera libera, senza richiedere autorizzazioni.

Specifiche tecniche:

- Frequenza operativa universale: **2,4 GHz – 16 canali a sequenza diretta**
- Interfaccia radio avanzata:
 - **Modulazione direct sequenze spread spectrum**
 - **Codifica orthogonal QPSK (due bit per simbolo)**
- Bitrate lordi disponibili all'interfaccia aerea: **250 kbps**
- Potenza massima trasmessa: **50mW (+17dBm)**
- Sensibilità del ricevitore: **-102 dBm**
- Opzioni d'antenna: **Integrate Whip, Chip, RPSMA, U.FL Connector**
- Opzioni d'indirizzo: **PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)**
- Indoor/Urban Range: **100 m**

- Outdoor RF line-of-sight range: **1.6 Km**

2. Descrizione ambiente di misura

In Figura 3 è riportata la planimetria dell'ambiente individuato per le misure del rilevamento dei livelli di potenza del segnale ricevuto da parte di un sensore ZigBee posto in varie zone prestabilite dello stesso ambiente.

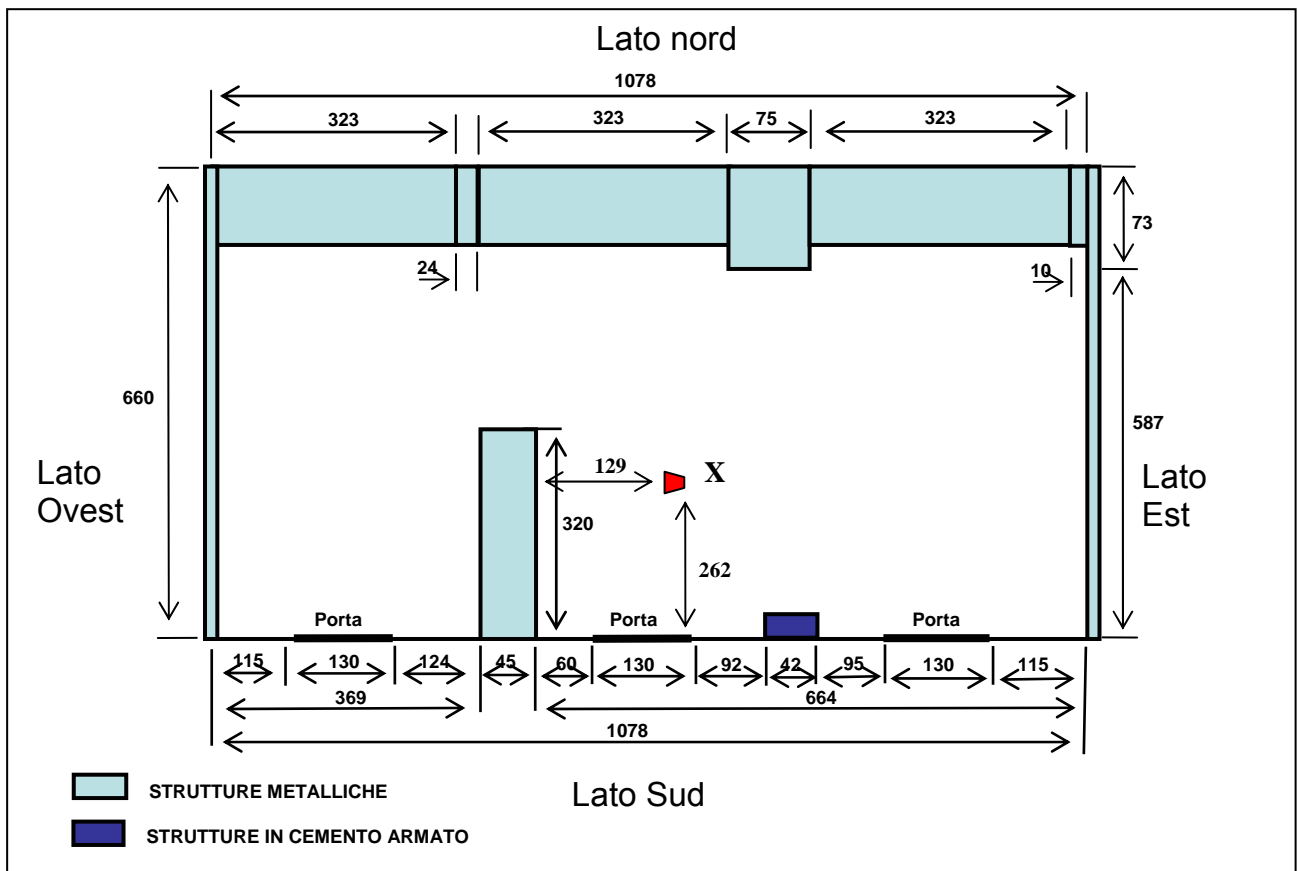


Figura 3. Planimetria laboratorio di misura

Nelle figure successive vengono riportate le immagini dettagliate dell'ambiente di misura precedentemente descritto.



Figura 4. Foto Laboratorio - Lato Nord-Ovest



Figura 5. Foto Laboratorio - Lato Nord-Est



Figura 6. Foto Laboratorio - Lato Sud-Ovest



Figura 7. Foto Laboratorio - Lato Sud-Est



Figura 8. Foto Laboratorio - Ostacolo metallico

In Figura 8 si vede l'armadio metallico all'interno del laboratorio; questo ha un'altezza di 200 cm e la distanza che separa la parte più alta dell'ostacolo ed il soffitto è di 70 cm. Il soffitto del laboratorio si trova ad un'altezza di 270 cm.

Al momento delle misure, i tavoli e le sedie presenti nelle foto sono stati rimossi e disposti adiacenti le pareti in modo tale da avere un ambiente di misura il più possibile "libero".

3. Descrizione della misura

Dopo aver descritto l'ambiente di lavoro, in questa sezione viene presentata la metodologia delle misure. Al fine di effettuare l'esperimento sono stati utilizzati 2 nodi ZigBee, un Coordinator ed un Router.

Il **Coordinator** è stato posto in punto fisso del laboratorio (vedi Fig. 9) con il dispositivo montato su un supporto ad 1 m di altezza da terra. Il nodo è stato posizionato parallelo alla linea ideale congiungente i lati est-ovest del laboratorio e "direzionato" con la parte trasmittente verso il lato est del laboratorio.

Il **Router** è stato posto su un supporto mobile ad 1 metro d'altezza. Il dispositivo è stato posizionato parallelo alla linea ideale congiungente i lati est-ovest, così come il Coordinator, ma questa volta è stato "direzionato" verso il lato ovest del laboratorio (vedi Fig. 10).

Al fine di evitare interferenze legate ai trasformatori elettrici, si è deciso di montare opportunamente, su entrambe le schede, *slot* per pile in modo da alimentare i dispositivi tramite 2 batterie AA (3 volt); in questo modo inoltre è stato agevolato lo spostamento del Router nei vari punti di misura, vista l'indipendenza da cavi di alimentazione.



Figura 9. Posizionamento Coordinator

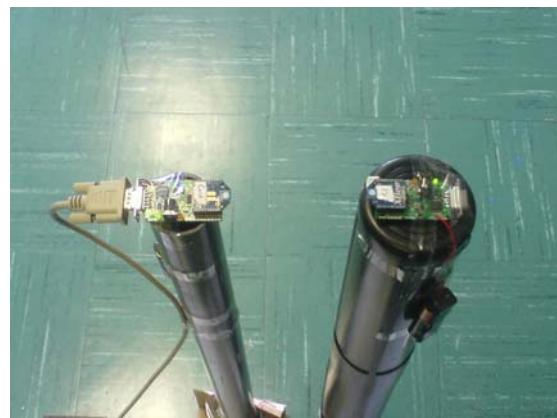


Figura 10. Dettaglio nodi Coordinator e Router

Tenendo fisso il nodo Coordinator, sono state effettuate 120 misure spostando il nodo Router all'interno di una griglia quadrata di passo 8,5 cm, idealmente disegnata attorno al nodo Coordinator (vedi Fig. 11). Il passo di misura è stato scelto in maniera tale da essere dello stesso ordine della lunghezza d'onda del segnale emesso a 2.4 GHz, circa 12,5 cm. La potenza di trasmissione del Coordinator è stata settata pari a 0 dBm, ovvero 1 mW per non saturare il ricevitore viste le distanze ravvicinate.

Il Coordinator è stato collegato al PC, in modo da poter effettuare l'invio di pacchetti, poi, grazie alle funzionalità API di questi dispositivi, sempre tramite il Coordinator è stato possibile ottenere il valore di Received Signal Strength Intensity (RSSI) rilevato dal Router. Ogni volta che i nodi erano disposti nelle posizioni opportune, il Coordinator inviava pacchetti al nodo secondario, il quale dopo averli ricevuti misurava la forza del segnale ricevuto, a questo punto il dato veniva ottenuto attraverso l'interrogazione del Router da parte del Coordinator.

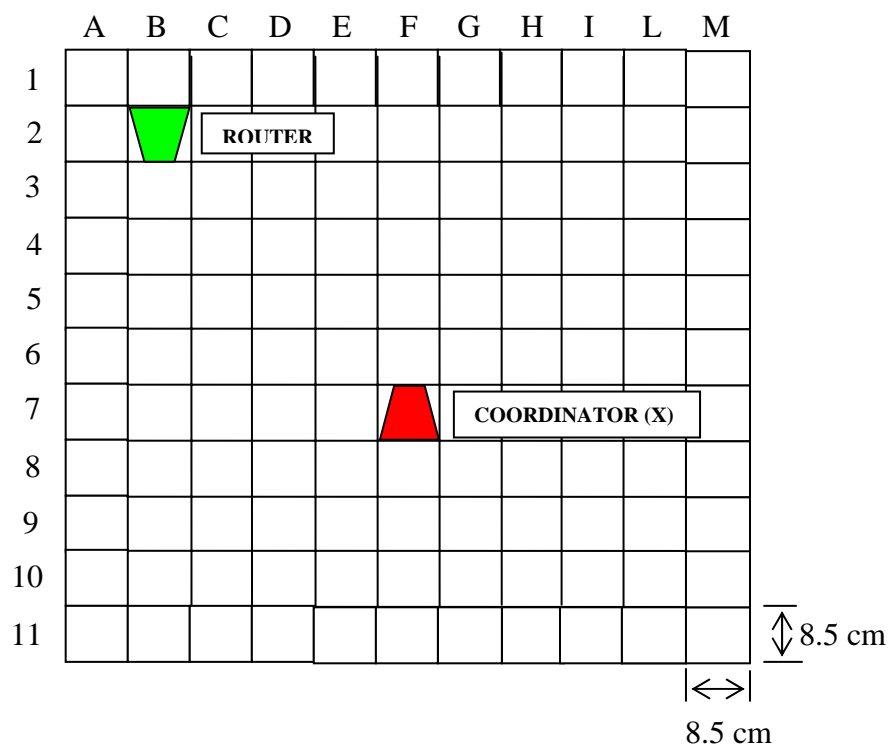


Figura 11. Griglia dei punti di misura

L'orientamento dei due dispositivi è rimasta invariata nei vari punti di misura.

I dati estratti dal dispositivo ZigBee esprimono i dBm in base esadecimale, quindi è stato necessario convertire i valori in dBm decimali e quindi in nW.

Alla luce della prima campagna di misure, si è evidenziato che il livello di potenza ricevuto dal Router risulta maggiore nelle posizioni oblique al Coordinator.

Si è deciso di effettuare altre misure di conferma aumentando il passo di misura a 30 cm ed effettuando le misure lungo le diagonali rispetto al Coordinator, per alcuni punti campione. Il livello di potenza trasmesso per queste misure è stato di 17 dBm (50 mW).

Infine una volta individuato le direzioni di massimo accoppiamento tra i due dispositivi, sono state effettuate misure del segnale ricevuto ponendo Coordinator e Router a distanza di circa 10 metri in direzione obliqua rispetto al Coordinator. Le misure sono state effettuate seguendo una griglia di punti con passo di campionamento pari a 8.5 cm. In questo modo gli effetti derivanti dai percorsi multipli, riflessione e dalla direzione di massimo accoppiamento tra le due antenne vengono mitigati, poiché ci si aspetta che in una zona limitata ad una distanza considerevole dal trasmettitore effetti tipo *multipath* e riflessione siano comparabili in ogni punto di misura mentre la variazione dell'angolazione tra trasmettitore e ricevitore risulti ininfluente poiché le angolazioni tra i due dispositivi variano di pochi gradi in ogni punto di misura. Il livello di potenza trasmesso per queste misurazioni è stato di 17 dBm (50 mW).

4. Conclusioni

L'esperimento è stato condotto al fine di studiare le variazioni del segnale ricevuto da sensori ZigBee in ambiente indoor. In contesti di questo tipo, in cui sono presenti oggetti di varia natura e composizione fisica, i valori di RSSI rilevati sono il frutto oltre che del segnale incidente anche di effetti quali i cammini multipli, le riflessioni, le diffrazioni e le diffusioni.

Il primo dei tre esperimenti è stato effettuato per valutare la rapidità di variazione del segnale ricevuto e l'orientamento dei dispositivi per ottimizzare l'accoppiamento elettromagnetico. Come detto precedentemente il Coordinator rimaneva fisso mentre veniva spostato il nodo Router, seguendo una griglia prestabilita di passo pari a 8,5 cm. Le misure effettuate hanno quindi evidenziato che il segnale veniva ricevuto con maggiore intensità nelle direzioni diagonali rispetto al Coordinator. Questo risultato ci ha portato a formulare l'ipotesi che il dipolo contenuto nel dispositivo fosse disposto trasversale rispetto l'asse del nodo ZigBee (vedi Figure 12, 13, 14).

Per verificare che l'ipotesi fosse corretta è stato effettuato un nuovo esperimento in cui il Coordinator rimaneva fisso nella posizione precedente ed il nodo Router veniva spostato lungo le direzioni diagonali rispetto al Coordinator. I dati rilevati hanno mostrato lungo queste direzioni andamenti più o meno simmetrici del segnale ricevuto (vedi Figure 15, 16, 17).

Infine, vista la complessità di riuscire a scindere la parte di segnale ricevuta in modo diretto da quella ricevuta per effetti inerenti al laboratorio di misura, al fine di ridurre l'impatto degli effetti secondari è stato svolto l'ultimo esperimento, in cui il Coordinator rimaneva fisso nelle posizioni precedenti ed il nodo Router veniva spostato in una griglia di passo 8.5 cm ad una distanza di circa 10 m dal Coordinator. I risultati ottenuti in questo ultimo caso hanno sottolineato come il segnale ricevuto diminuisse, come ci si potrebbe aspettare, all'aumentare della distanza, confermando quindi l'effettiva riduzione di effetti secondari e un andamento del segnale molto meno fluttuante rispetto al primo esperimento (vedi Figure 18, 19).

Appendice A

Dati primo esperimento:

-50	-41	-43	-43	-43	-52	-51	-52	-49	-55	-58
-46	-41	-41	-45	-44	-51	-57	-60	-48	-46	-47
-47	-42	-42	-40	-40	-49	-48	-52	-50	-43	-41
-43	-43	-44	-43	-43	-53	-41	-41	-41	-41	-41
-41	-43	-46	-40	-37	-37	-36	-36	-38	-41	-42
-40	-38	-36	-37	-32	-26	-31	-37	-42	-46	-47
-40	-38	-34	-31	-28		-29	-34	-40	-49	-50
-37	-33	-31	-29	-29	-28	-34	-34	-38	-40	-45
-36	-32	-31	-30	-30	-29	-34	-34	-35	-37	-40
-34	-31	-31	-31	-33	-32	-40	-39	-37	-36	-39
-33	-32	-31	-35	-40	-38	-42	-44	-35	-37	-38

Figura 12. Misure 1° esperimento (passo 8,5 cm) in dBm

10,00	79,43	50,12	50,12	50,12	6,31	7,94	6,31	12,59	3,16	1,58
25,12	79,43	79,43	31,62	39,81	7,94	2,00	1,00	15,85	25,12	19,95
19,95	63,10	63,10	100,00	100,00	12,59	15,85	6,31	10,00	50,12	79,43
50,12	50,12	39,81	50,12	50,12	5,01	79,43	79,43	79,43	79,43	79,43
79,43	50,12	25,12	100,00	199,53	199,53	251,19	251,19	158,49	79,43	63,10
100,00	158,49	251,19	199,53	630,96	2511,89	794,33	199,53	63,10	25,12	19,95
100,00	158,49	398,11	794,33	1584,89		1258,93	398,11	100,00	12,59	10,00
199,53	501,19	794,33	1258,93	1258,93	1584,89	398,11	398,11	158,49	100,00	31,62
251,19	630,96	794,33	1000,00	1000,00	1258,93	398,11	398,11	316,23	199,53	100,00
398,11	794,33	794,33	794,33	501,19	630,96	100,00	125,89	199,53	251,19	125,89
501,19	630,96	794,33	316,23	100,00	158,49	63,10	39,81	316,23	199,53	158,49

Figura 13. Misure 1° esperimento (passo 8,5 cm) in nW

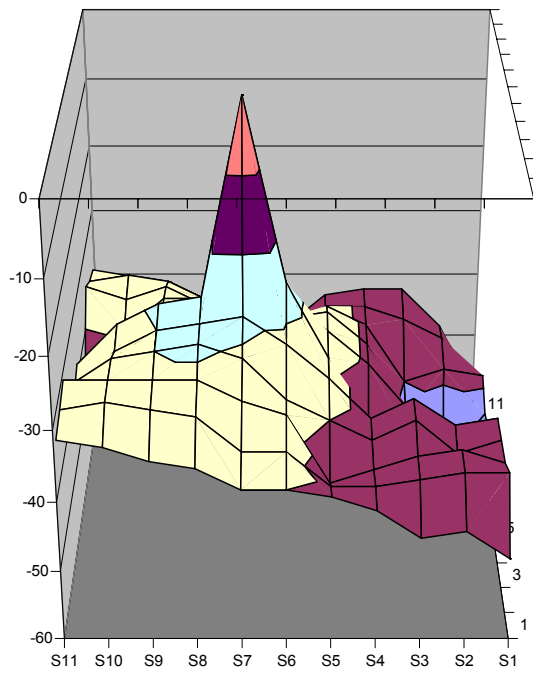
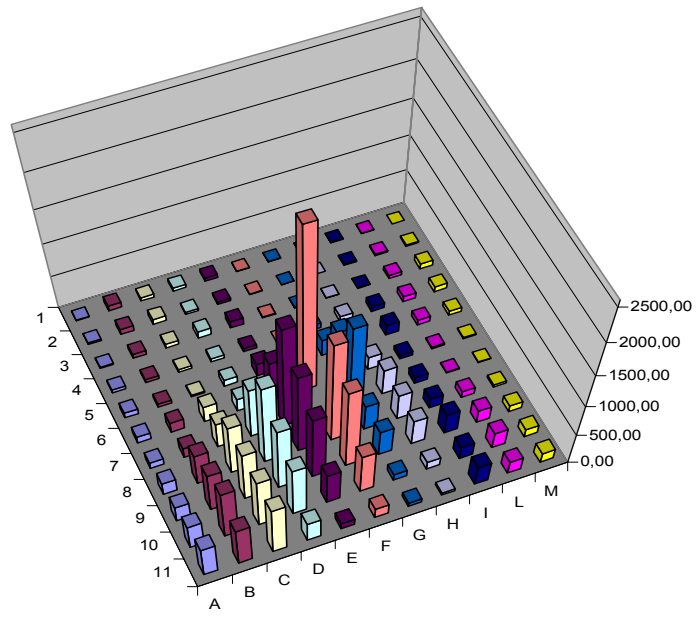


Figura 14. Grafici del campo ricevuto nel primo esperimento

Dati secondo esperimento:

-64									-47
	-48								-53
		-43			-61			-46	
			-43				-43		
		-52						-44	
			-42				-43		
		-42			-47			-48	
	-49								-70
-52									-53

Figura 15. Misure 2° esperimento (passo 30 cm) in dBm

0,40										19,95
	15,85								5,01	
		50,12			0,79			25,12		
			50,12				50,12			
		6,31						39,81		
			63,10				50,12			
		63,10			19,95			15,85		
	12,59								0,10	
6,31										5,01

Figura 16. Misure 2° esperimento (passo 8,5 cm) in nW

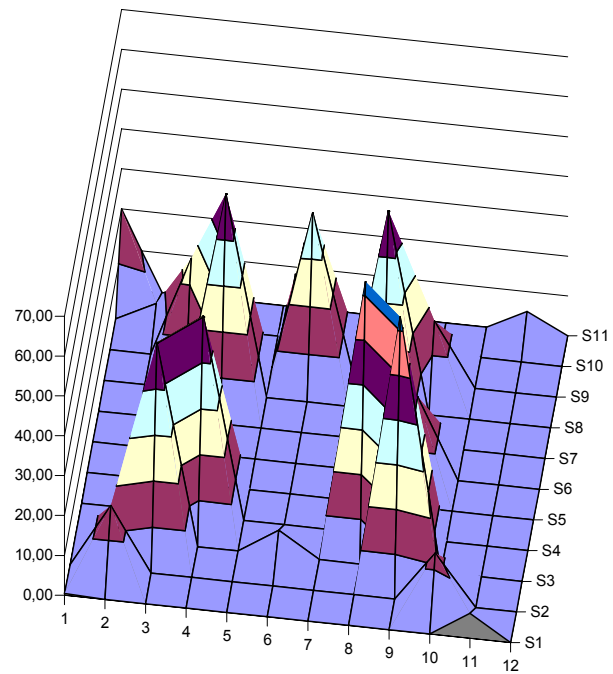
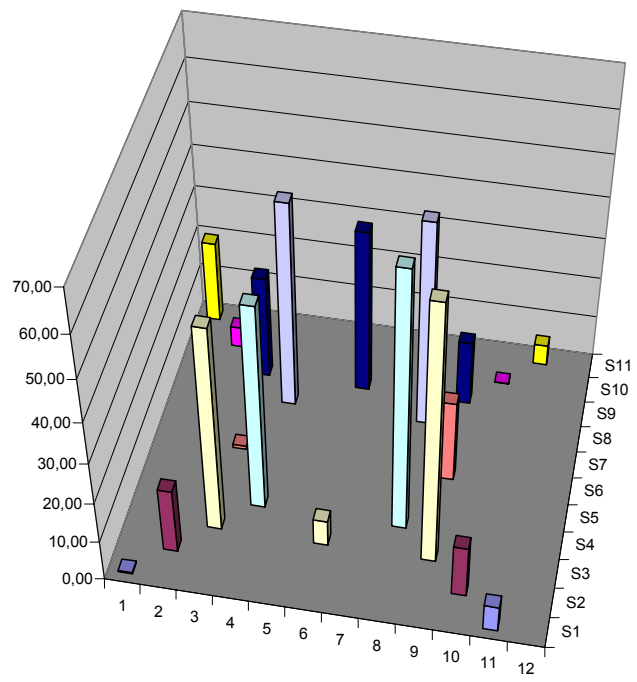


Figura 17. Grafici del campo ricevuto nel secondo esperimento

Dati terzo esperimento:

Casella = intersezione
mattonelle

-56	-55	-56	-56
-47	-52	-49	-48
-64	-57	-57	-57

Orientamento
Sensori = ↑



Figura 18. Misure 3° esperimento (passo 8,5 cm) in dBm esadecimale

2,51	3,16	2,51	2,51
19,95	6,31	12,59	15,85
0,40	2,00	2,00	2,00

Figura 19. Misure 3° esperimento (passo 8,5 cm) in nW