

Localizzazione in reti di sensori ZigBee

Politecnico di Torino

III Facoltà di Ingegneria dell'Informazione

Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica



Relatore
Prof. Giovanni Malnati

Candidato
Alberto Realis-Luc

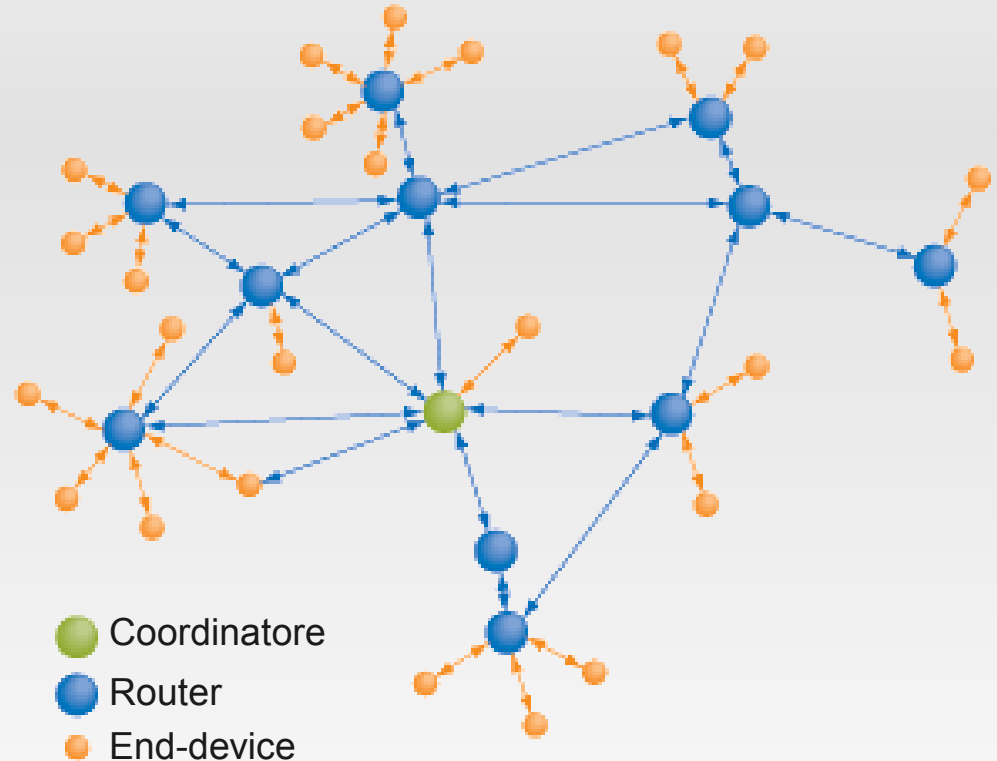
Contesto e possibili applicazioni

- **Obbiettivi del progetto**
 - Prototipazione di un sistema di localizzazione per reti ZigBee, basato sull'indice di potenza ricevuta
 - Verificare sperimentalmente la precisione di tale sistema
- **Possibili contesti e applicazioni**
 - **Ambito ospedaliero**
 - Localizzare oggetti (es. bombole, defibrillatori)
 - Monitorare il loro stato (es. sono cariche?)
 - Ambiente indoor
 - **Ambito portuale**
 - Localizzare merci su di un piazzale di un porto
 - Ambiente outdoor

ZigBee

Perché ZigBee?

- È lo standard attualmente più usato nelle reti di sensori
- Basso costo dei dispositivi
- Basso consumo dei dispositivi
- I dispositivi misurano varie grandezze con appositi sensori



Architettura del sistema

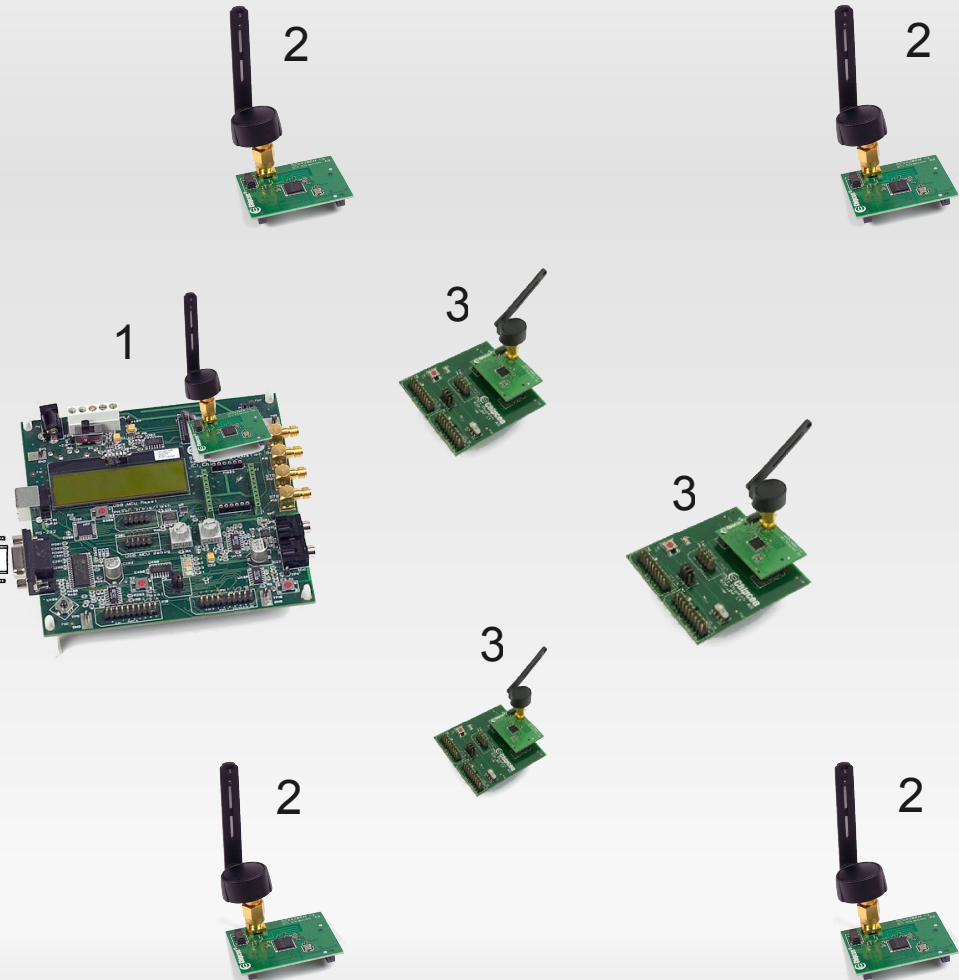
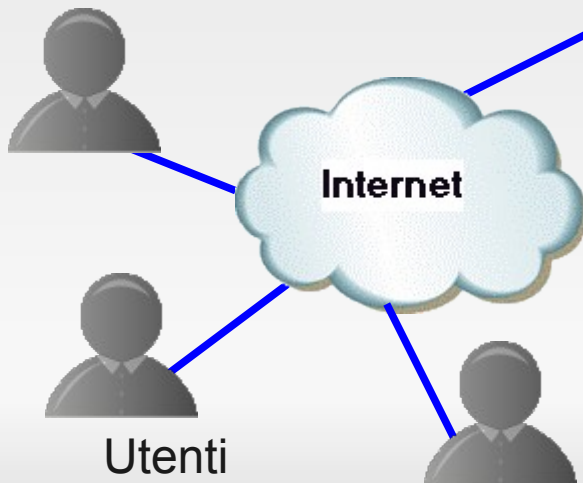
- Rete di sensori ZigBee

1. Gateway

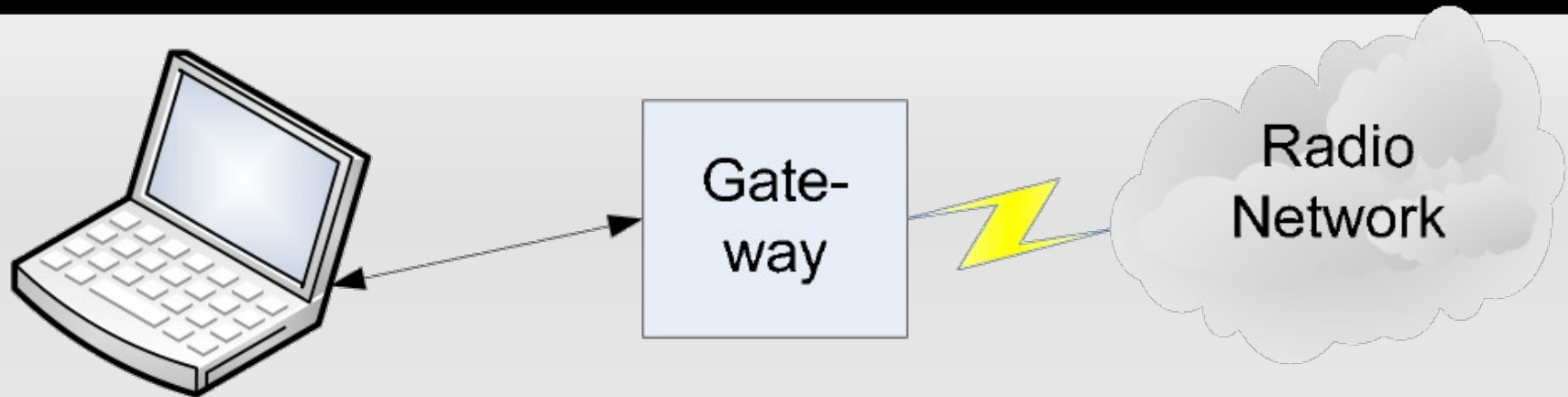
2. Nodi di riferimento

3. Nodi mobili

- Server



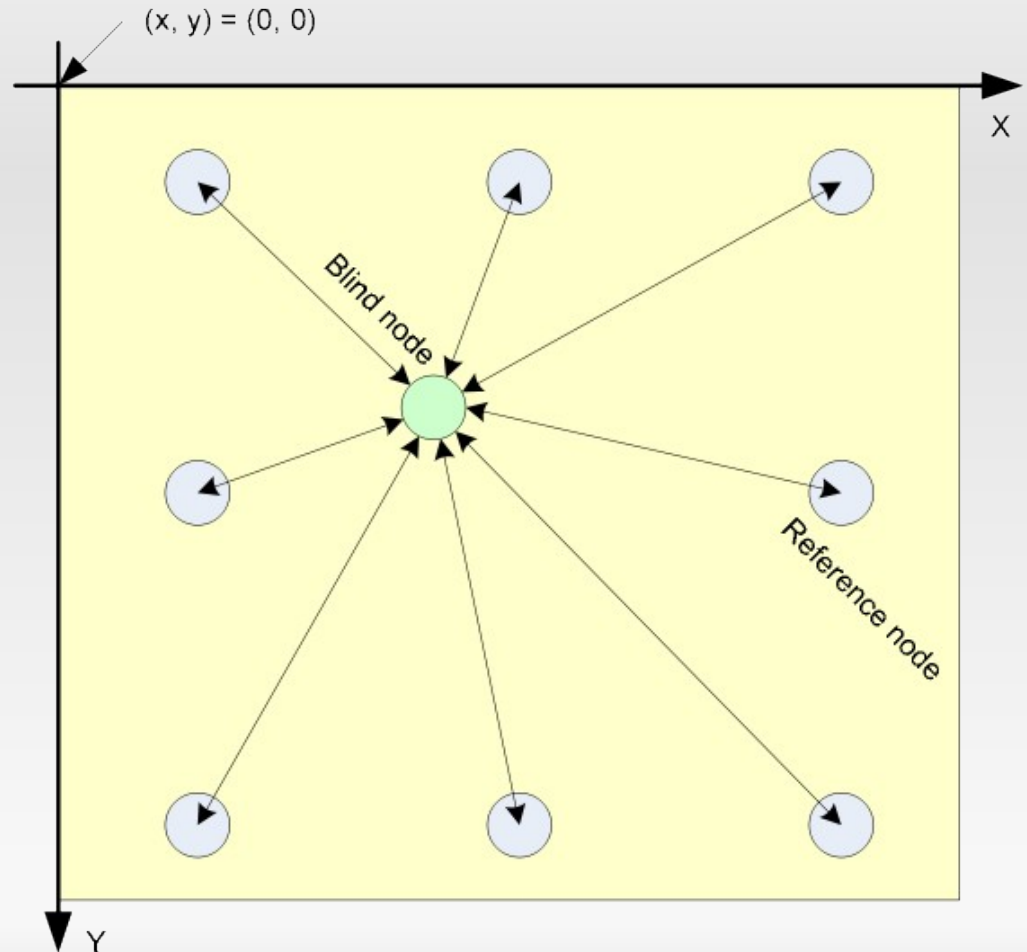
Gateway



- È unico nella rete di sensori
- Svolge anche le mansioni di coordinatore ZigBee
- Dispone di un'interfaccia seriale collegata al server
- È alimentato in modo permanente
- È sempre attivo
- Si occupa di inoltrare i dati dal server verso la rete di sensori e viceversa

Nodi di riferimento

- Hanno posizioni statiche
- Svolgono anche i compiti di router ZigBee
- Sono alimentati in modo permanente
- Sono sempre attivi
- Vengono usati dai nodi mobili per stimare le distanze
- Possono monitorare parametri ambientali (es. temperatura) dell'ambiente in cui si trovano

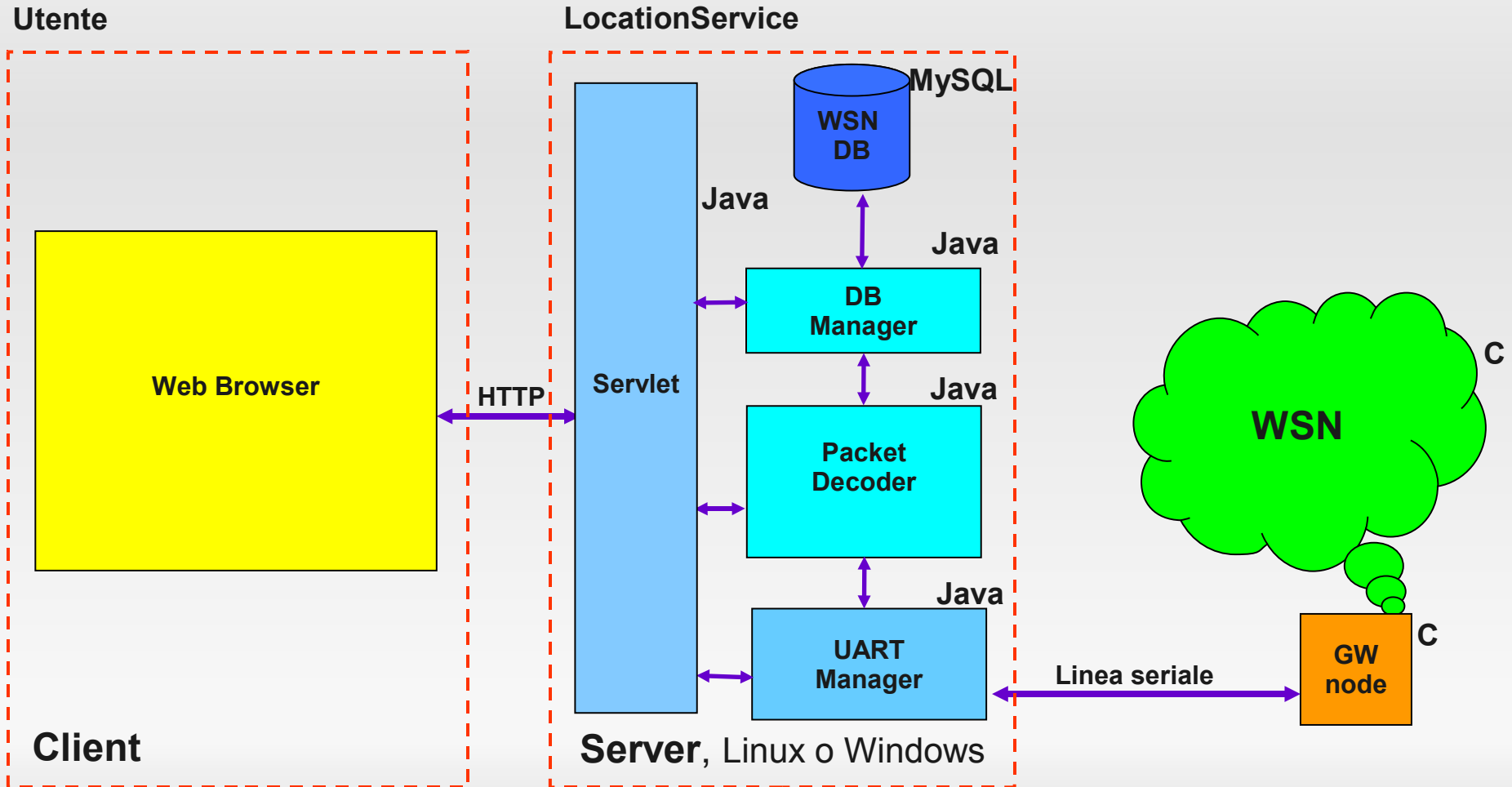


Nodi mobili

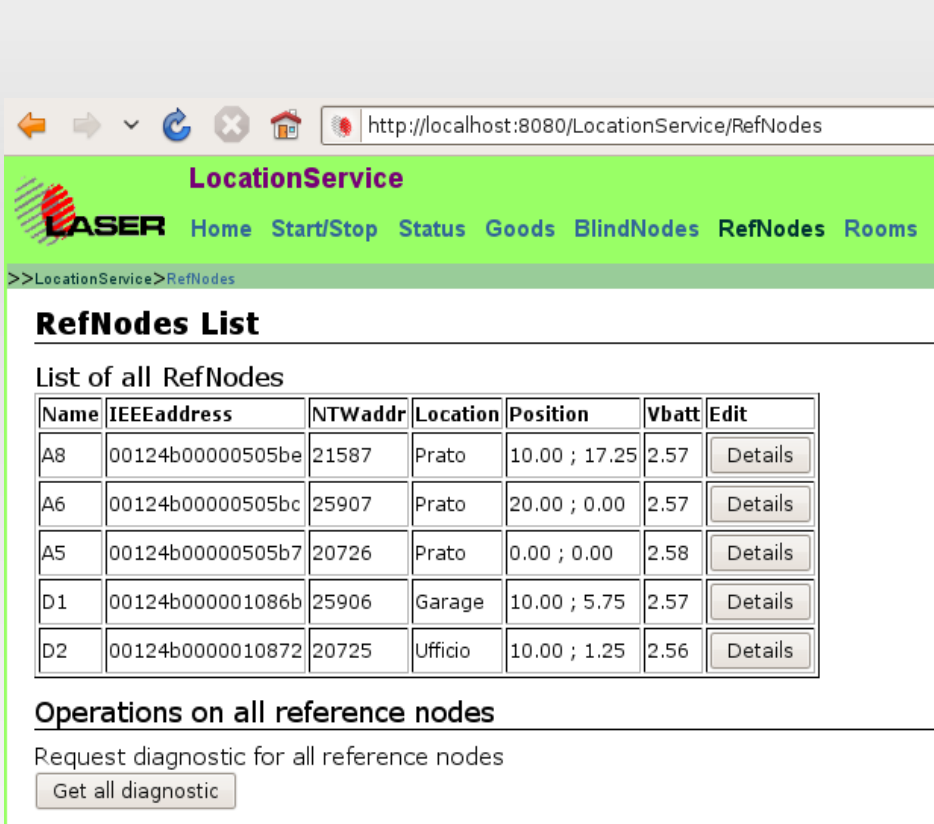
- Sono liberi di muoversi
- Sono applicati ai beni da tracciare
- Sono configurati come end-device
- Sono alimentati a batteria
- Lavorano ciclicamente, rimanendo in stato di *sleep* per la gran parte del tempo
- Eseguono periodicamente le misure di potenza dei segnali rispetto ai nodi di riferimento nei paraggi e le inviano al gateway
- Possono monitorare grandezze del bene a cui sono applicati (es. la pressione di una bombola)



Application e DB server



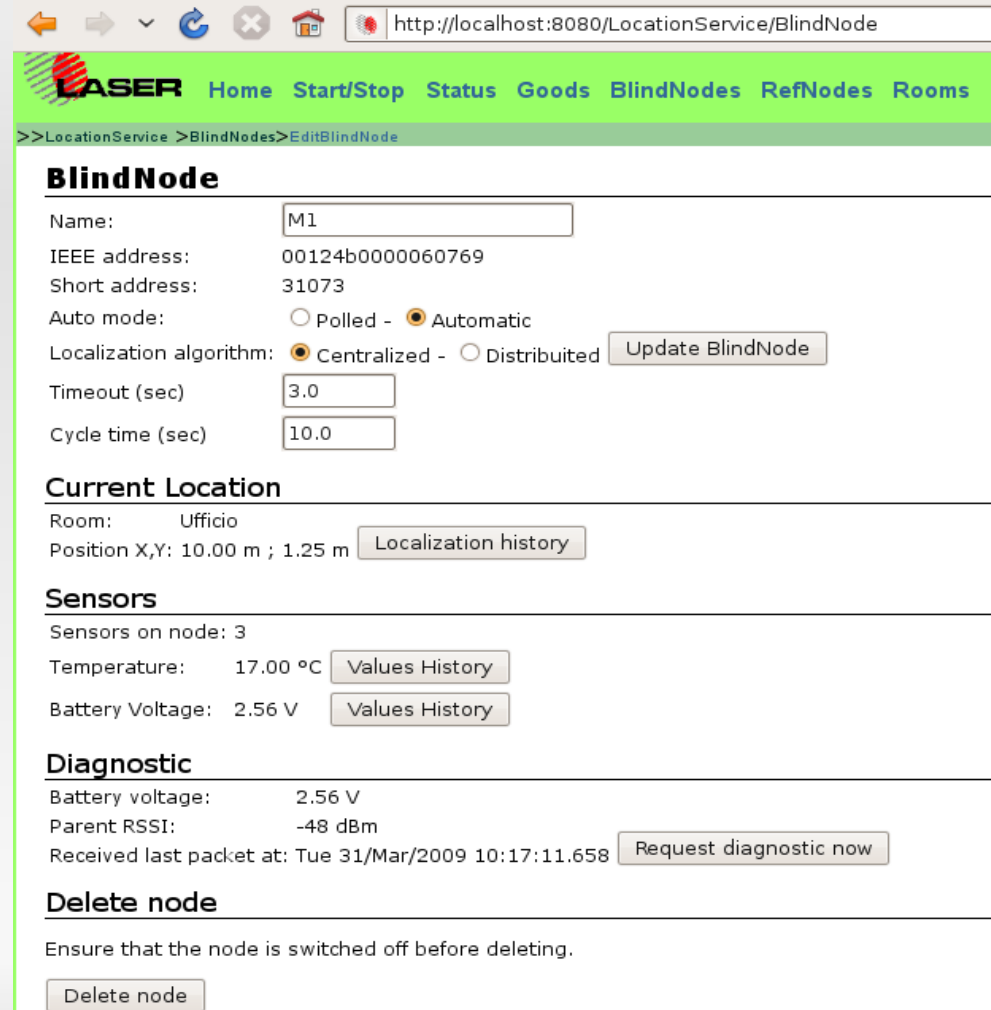
Web Application



The screenshot shows a web browser window with the URL `http://localhost:8080/LocationService/RefNodes`. The page has a green header with the LASER logo and navigation links: Home, Start/Stop, Status, Goods, BlindNodes, RefNodes, Rooms. Below the header, there is a breadcrumb trail: `>>LocationService>RefNodes`. The main content area is titled "RefNodes List" and contains a table with the following data:

Name	IEEEaddress	NTWaddr	Location	Position	Vbatt	Edit
A8	00124b00000505be	21587	Prato	10.00 ; 17.25	2.57	Details
A6	00124b00000505bc	25907	Prato	20.00 ; 0.00	2.57	Details
A5	00124b00000505b7	20726	Prato	0.00 ; 0.00	2.58	Details
D1	00124b000001086b	25906	Garage	10.00 ; 5.75	2.57	Details
D2	00124b0000010872	20725	Ufficio	10.00 ; 1.25	2.56	Details

Below the table, there is a section titled "Operations on all reference nodes" with a button labeled "Get all diagnostic".



The screenshot shows a web browser window with the URL `http://localhost:8080/LocationService/BlindNode`. The page has a green header with the LASER logo and navigation links: Home, Start/Stop, Status, Goods, BlindNodes, RefNodes, Rooms. Below the header, there is a breadcrumb trail: `>>LocationService >BlindNodes>EditBlindNode`. The main content area is titled "BlindNode" and contains the following information:

Name: M1
IEEE address: 00124b0000060769
Short address: 31073
Auto mode: Polled - Automatic
Localization algorithm: Centralized - Distributed
Timeout (sec): 3.0
Cycle time (sec): 10.0

Current Location
Room: Ufficio
Position X,Y: 10.00 m ; 1.25 m

Sensors
Sensors on node: 3
Temperature: 17.00 °C
Battery Voltage: 2.56 V

Diagnostic
Battery voltage: 2.56 V
Parent RSSI: -48 dBm
Received last packet at: Tue 31/Mar/2009 10:17:11.658

Delete node
Ensure that the node is switched off before deleting.

L'indice RSSI

RSSI: *Received Signal Strength Indicator*

- È la misura della potenza presente in un segnale radio effettuata dalla stazione ricevente
- I moduli ZigBee lo rilevano alla ricezione di ogni pacchetto
- In ZigBee viene ricavato dal numero di errori di trasmissione rilevati (gli errori tendono a crescere con la distanza)
- Per i moduli CC2430 varia tra -20 dBm e -90 dBm
- Risente fortemente delle riflessioni e dei disturbi
- Il suo scopo principale è determinare la qualità dei collegamenti

Relazione tra RSSI e distanza

La relazione tra distanza e potenza ricevuta è espressa dall'equazione di *Friis*:

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n}$$

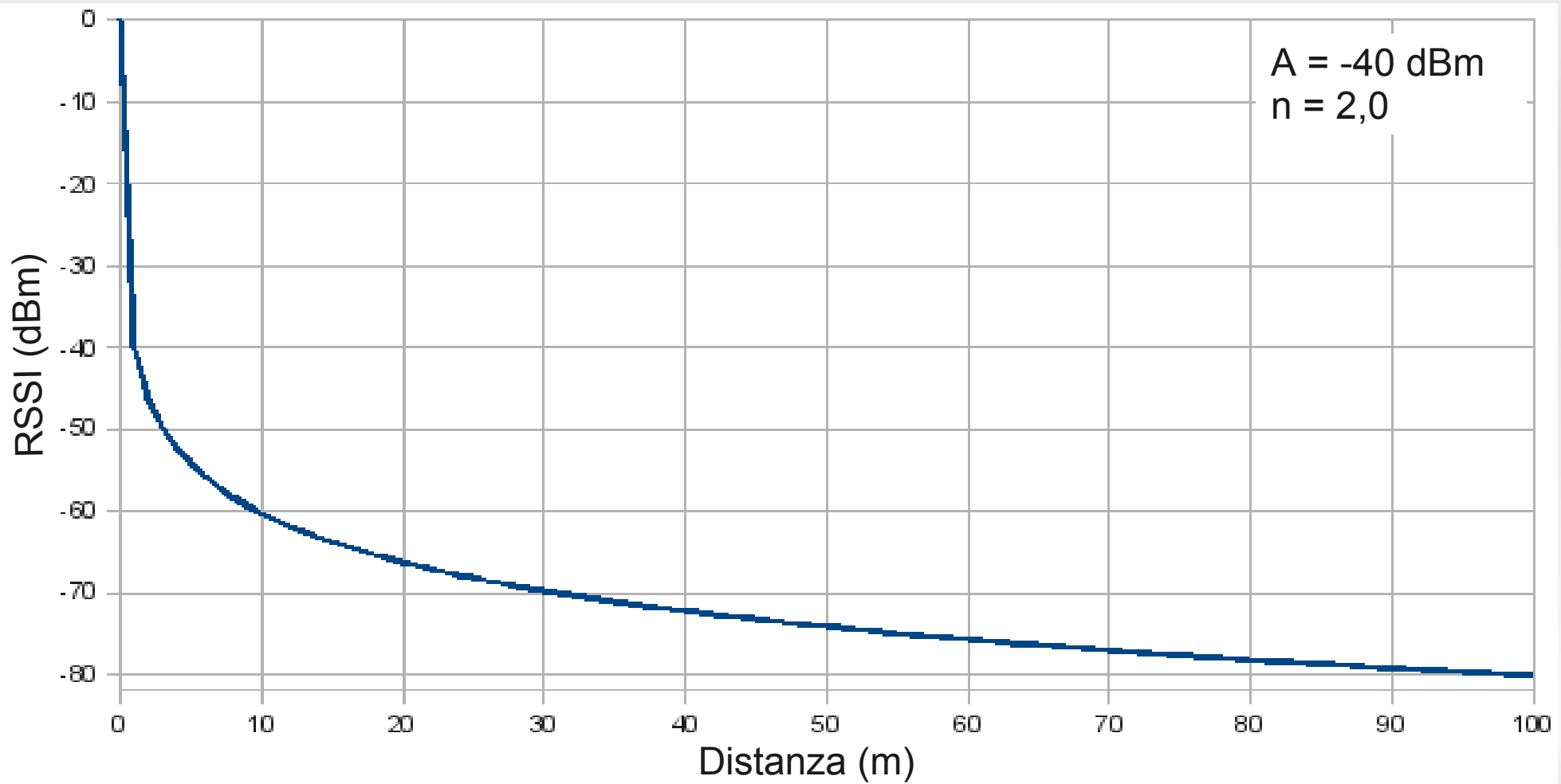
Per trovare la relazione tra distanza e RSSI in dBm si sostituiscono le specifiche dei moduli ChipCon 2430 ($P_t = 1\text{mW}$, $f = 2,441\text{ GHz}$) e si ottiene:

$$RSSI = -(10 \cdot n \cdot \log_{10}(d) - A)$$

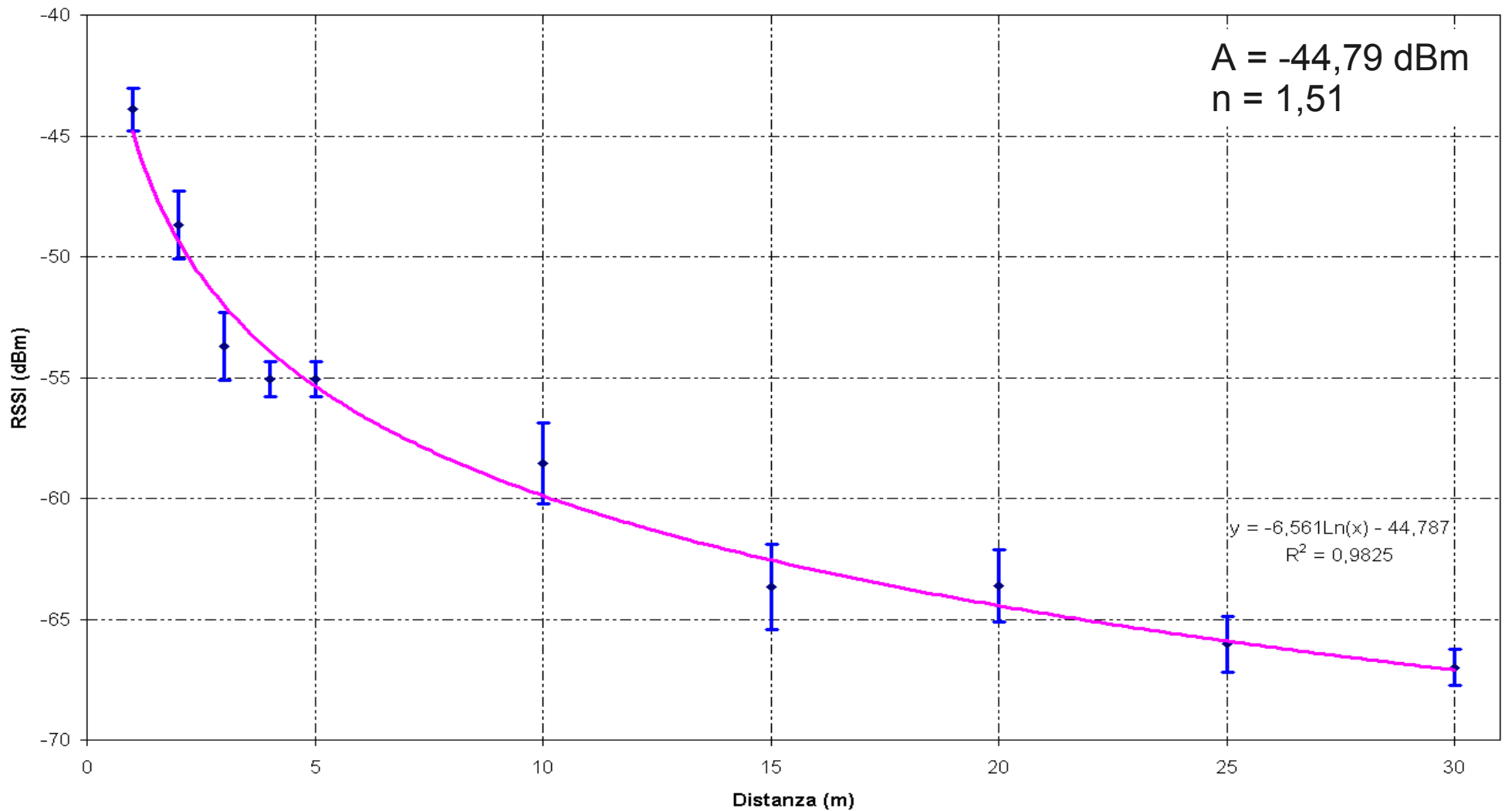
dove:

- **n** è una costante di propagazione del segnale, il suo valore dipende dall'ambiente. Solitamente il suo valore si aggira intorno a 2
- **A** è la potenza del segnale ricevuto in dBm ad un metro di distanza. Per i moduli ZigBee ChipCon 2430 tale parametro vale circa -40 dBm

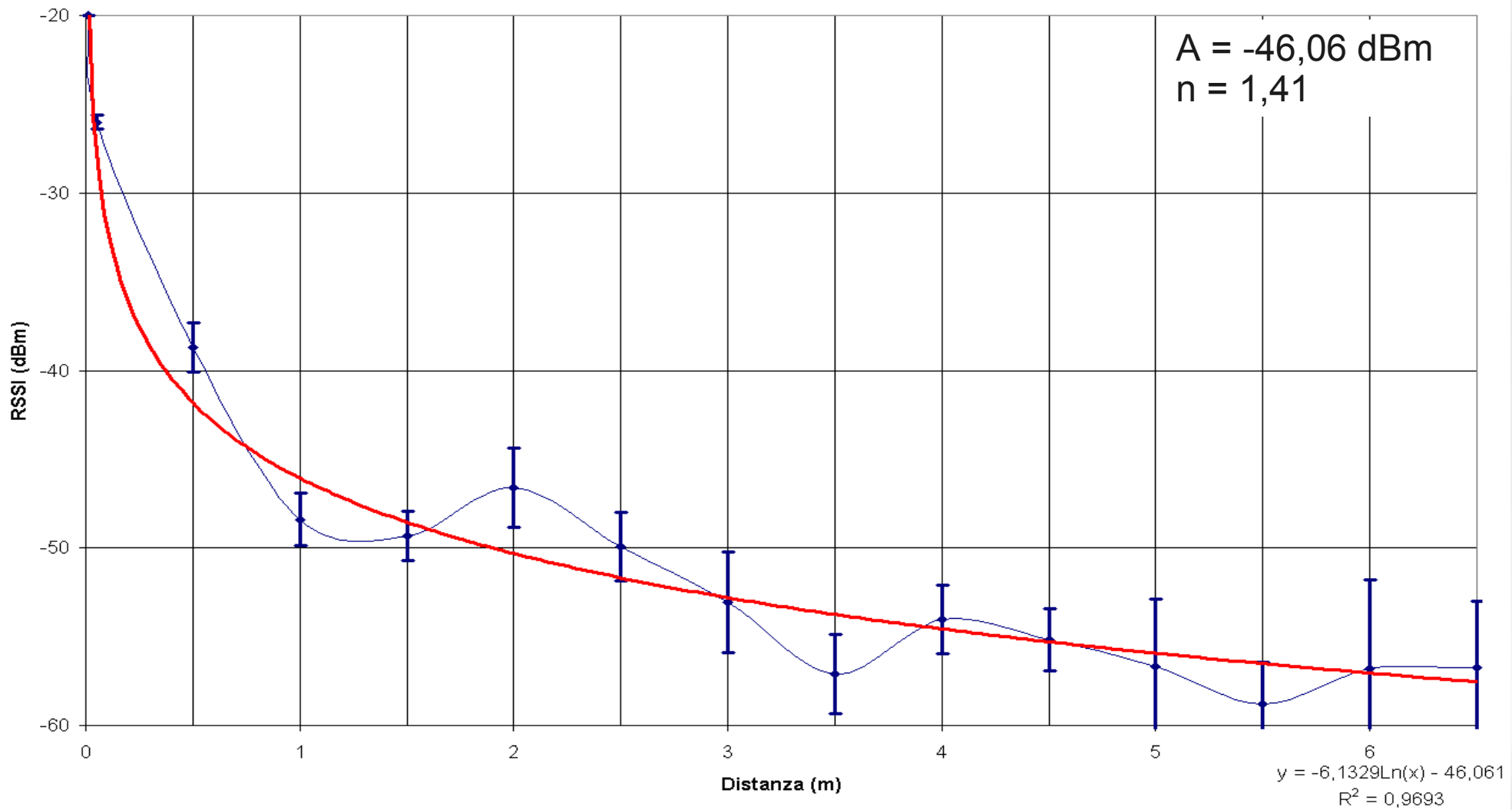
Il caso ideale



La realtà: misure outdoor



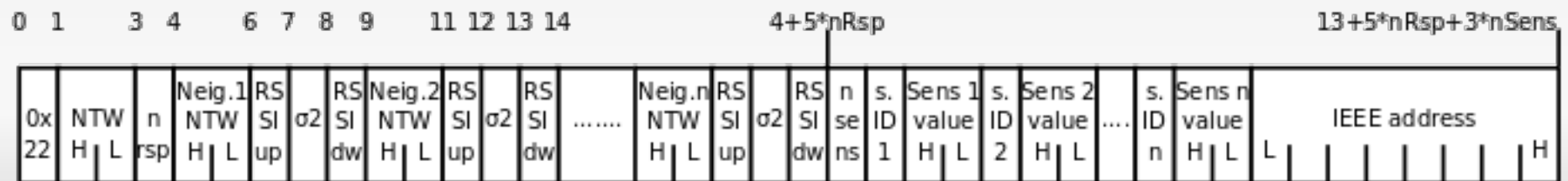
La realtà: misure indoor



L'algoritmo di calcolo delle posizioni 1/3

Raccolta delle misure

1. Il nodo mobile invia periodicamente in broadcast una serie di *blast*
2. I nodi di riferimento nei paraggi gli rispondono con l'RSSI medio e la deviazione standard della serie di RSSI rilevati sui *blast*
3. Il nodo mobile colleziona le risposte dai nodi di riferimento nei paraggi
4. Il nodo mobile invia al gateway tutte le misure collezionate e quindi ritorna in stato di sleep
5. Il gateway inoltra su linea seriale le misure ricevute dal nodo mobile



L'algoritmo di calcolo delle posizioni 2/3

Selezione delle misure

6. Il server riceve una collezione di RSSI da un certo nodo mobile rispetto ad una serie di nodi di riferimento
7. Tutte le misure di RSSI che hanno valori di σ^2 maggiori di 10 vengono scartate
8. Viene individuata la stanza guardando quale nodo di riferimento ha originato l'RSSI più alto
9. Se in quella stanza vi sono almeno tre nodi di riferimento si procede con la stima delle coordinate. Gli RSSI vengono convertiti in distanze con la seguente formula:
$$d = 10^{\frac{A - \text{RSSI}}{10 \cdot n}}$$
10. Tutte le distanze più lunghe di quella massima misurabile in quella stanza vengono scartate

L'algoritmo di calcolo delle posizioni 3/3

Calcolo della posizione

11. Si stimano le coordinate con il calcolo di **multilaterazione**
12. La stime precedenti vengono raffinate con il metodo delle **osservazioni indirette**

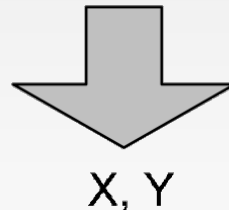
N Index A

$X_0 Y_0 \text{RSSI}_0$ $X_2 Y_2 \text{RSSI}_2$

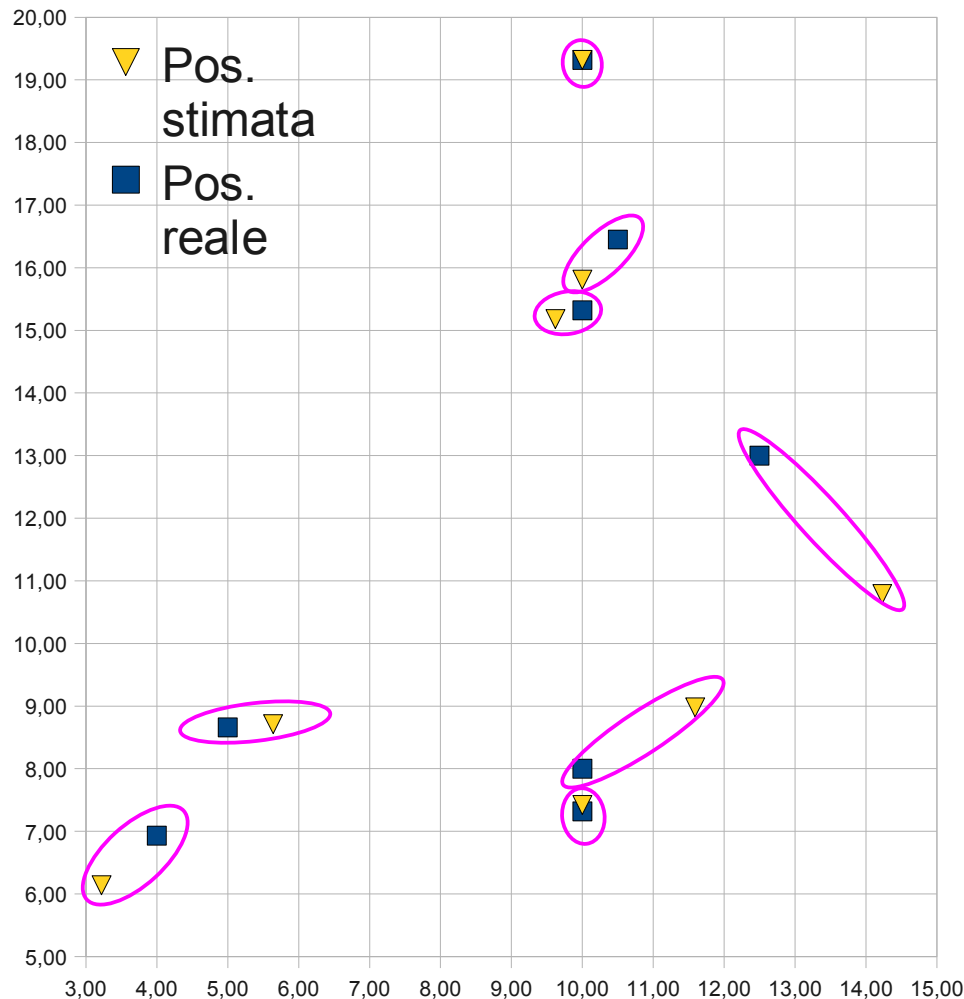
$X_4 Y_4 \text{RSSI}_4$ $X_5 Y_5 \text{RSSI}_5$

$X_7 Y_7 \text{RSSI}_7$ $X_6 Y_6 \text{RSSI}_6$

$X_1 Y_1 \text{RSSI}_1$ $X_3 Y_3 \text{RSSI}_3$



Risultati ottenuti



Condizioni del test

- Prova effettuata in campo aperto
- Moduli a 40 cm da terra
- 3 nodi di riferimento, disposti ai vertici di un triangolo equilatero di lato 20 m
- 1 nodo mobile spostato in posizioni note

Conclusioni

- In ambienti indoor conviene fare una localizzazione “per stanze”
- In ambienti outdoor è possibile localizzare un nodo mobile con le coordinate con un errore medio di 2,5 m
- Il sistema permette di avere vantaggi in termini di basso costo e basso consumo dei dispositivi
- Non è richiesto alcun hardware aggiuntivo per la localizzazione
- Il sistema può essere usato per localizzare un'auto in un parcheggio ma non per individuare un libro in uno scaffale

Sviluppi futuri

- Vista l'importanza dei parametri ambientali **A** ed **n**, l'implementazione di una procedura di calibrazione automatica per ogni ambiente renderebbe il sistema più funzionale e preciso
- Per migliorare l'accuratezza delle stime di distanza si potrebbero inviare i *blast* a diverse potenze e poi calcolare l'RSSI con una media pesata che tenga conto della potenza a cui è stato inviato ogni *blast*

Localizzazione in reti di sensori ZigBee

Fine

Grazie per l'attenzione

Multilaterazione

Le n misure di distanze rispetto ad n punti di riferimento vanno a formare un sistema di equazioni: x e y sono le coordinate dei punti di riferimento, mentre con d si intendono le distanze rilevate.

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ 2(x_2 - x_n) & 2(y_2 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_n^2 + y_2^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_2^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot b$$

$$residuo = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} - d_i}{n}$$

Metodo delle osservazioni indirette

Si calcolano le differenze da sommare alle coordinate calcolate precedentemente.
Per costruire la matrice dei pesi P i valori di σ vanno rapportati alle distanze.

$$A_1 = \begin{bmatrix} 2(x_0 - x_1) & 2(y_0 - y_1) \\ 2(x_0 - x_2) & 2(y_0 - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_0 - x_n) & 2(y_0 - y_n) \end{bmatrix} \quad l = \begin{bmatrix} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 - d_1^2 \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 - d_2^2 \\ \vdots \\ (x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2 - d_n^2 \end{bmatrix} \quad \sigma_l = -2d \cdot \sigma$$

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_{l1}^2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_{l2}^2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sigma_{ln}^2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} = -(A_1^T \cdot P \cdot A_1)^{-1} \cdot A_1^T \cdot P \cdot l$$

$$x = x_0 + \delta x$$

$$y = y_0 + \delta y$$

Risultati ottenuti

Posizione reale		Posizione stimata		Errore stima (m)	Posizione compensata		Errore comp. (m)
X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		X (m)	Y (m)	
10,00	8,00	11,60	7,97	1,60	11,59	8,98	1,87
10,00	15,32	10,00	15,79	0,47	10,00	15,81	0,49
10,50	16,45	7,71	14,51	3,40	9,62	15,18	1,55
12,50	13,00	7,71	14,41	4,99	14,23	10,79	2,81
10,00	7,32	10,00	6,73	0,59	10,00	7,42	0,10
5,00	8,66	-0,44	12,52	6,67	5,64	8,71	0,64
4,00	6,93	1,83	9,91	3,69	3,22	6,14	1,11
10,00	19,32	10,00	19,40	0,08	10,00	19,32	0,00