



ELEDIA Research Center
ELEDIA@UniTN, University of Trento
Via Sommarive 9, I-38123 Trento, Italia
E-mail: contact@eledia.org
Web: www.eledia.org/eledia-unitn



Analisi e Validazione sperimentale di Modelli di Propagazione per la Localizzazione Wireless

Internal Report N. 2.00

Author: FILIPPINI Matteo
Document Status: **RELEASE**
Document Access: **CONFIDENTIAL**
Last Revision: 05 09 2019 08:30

Contents

1	Introduzione	3
1.1	Localizzazione Wireless Indoor	3
1.2	Obiettivo	3
1.3	Approccio di riferimento	3
1.4	Simboli adottati	5
2	Stato dell'arte	6
2.1	Path-Loss Model Including LOS-NLOS Transition Regions for Indoor Corridors at 5 GHz[3]	6
2.2	Indoor Multi-Wall Path Loss Model at 1.93 GHz[2]	8
2.3	A Meaningful Indoor Path-Loss Formula[1]	14
2.4	Comparazione	16
2.4.1	Standard	16
2.4.2	MultiWall	17
3	Validazione sperimentale	18
3.1	Scenario	18
3.2	Posizione dei Test	23
3.3	Simulazioni	29
3.3.1	Piano terra senza muri	29
3.3.2	Piano terra con muri	34
3.3.3	Primo piano senza muri	36
3.3.4	Primo piano con muri	41
3.3.5	Secondo piano senza muri	43
3.3.6	Secondo piano con muri	48
3.4	Confronto	50
3.4.1	Senza muri	50
3.4.2	Con muri	52
3.5	Conclusioni	54
3.5.1	Senza muri	54
3.5.2	Con muri	54

1 Introduzione

1.1 Localizzazione Wireless Indoor

Le tecniche di localizzazione indoor di dispositivi mobili vengono utilizzati quando non è possibile utilizzare la copertura del sistema GPS. La maggior parte delle tecniche fino ad ora esistenti utilizzano RSSI (received signal strength indicator) cioè un indicatore di potenza nell'antenna ricevente, che può essere misurata da tutti i dispositivi attualmente in commercio.

1.2 Obiettivo

L'approccio scelto è basato sulla propagazione. Una tecnica che sfrutta un algoritmo iterativo e la funzione di costo per ottenere la posizione del target attraverso i dati ricevuti dai diversi trasmettitori. I suoi obiettivi sono:

1. Migliorare l'accuratezza sfruttando ulteriori informazioni dall'ambiente.
2. Prevenire la necessità di aggiornamenti e calibrazioni del sistema di localizzazione.
3. Ridurre la complessità computazionale necessaria per garantire una localizzazione real-time.

La tecnica utilizzata non prevede la presenza di muri o altri agenti attenuanti e/o distorcenti, l'obiettivo di questo capitolo è trovare il miglior metodo implementabile per tenere conto di questi oggetti: muri, ascensori, vetrate e altri target.

Per poter decretare il migliore tra i vari metodi presi in considerazione nelle pagine successive è stato deciso di compararli al modello di riferimento [4].

Assumiamo che il target da localizzare sia equipaggiato con dispositivi wireless che permettano di rendere attivo tale processo e non più passivo. Il sistema da noi implementato riesce a localizzare il dispositivo sfruttando le infrastrutture pre-esistenti, cioè va a rintracciare il target grazie ai dispositivi già operanti nell'ambiente.

1.3 Approccio di riferimento

Applicando ciò che è stato detto in precedenza in una mappa di test in due dimensioni (D) costituita da tutti gli ostacoli del caso (come muri portanti, muri in cartongesso, vetrate, persone e altri dispositivi WiFi), nella quale sono stati inseriti gli AP wireless in posizioni r_p , indicanti rispettivamente il vettore posizione r e il router p .

L'acquisizione viene effettuata tramite un'applicazione creata ad hoc, la quale raccoglie i dati in tuple contenenti l'identificativo dell'AP e il corrispondente valore di RSSI.

Quando la scannerizzazione è conclusa i dati vanno elaborati e in questo caso ci si sono presentate 3 diverse situazioni:

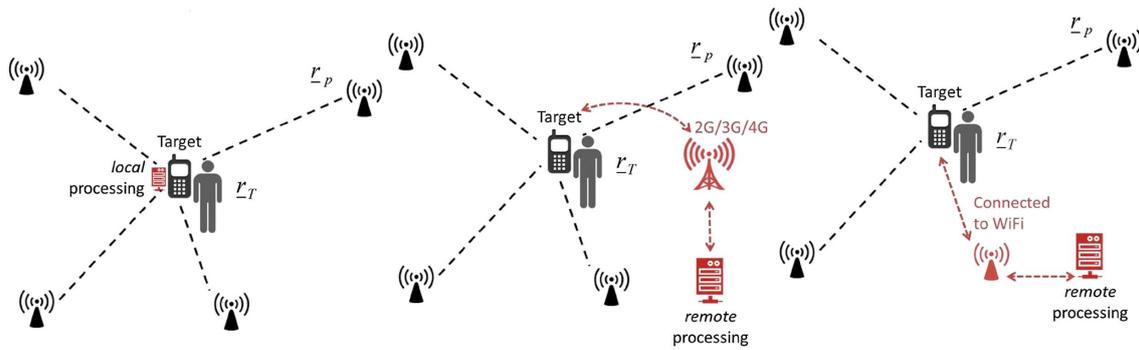


Figure 1: Varie tecniche di elaborazione e trasmissione dei dati: (a) in locale, (b) in remoto tramite rete cellulare e (c) in remoto tramite WiFi

Eeguire tutti i calcoli sul dispositivo locale sembrerebbe la scelta migliore inizialmente ma analizzando più attentamente la soluzione si riscontrano svariati problemi:

- la limitata capacità di calcolo di un dispositivo mobile fa sì che i tempi di attesa per la fine del processo di elaborazione siano eccessivi per una localizzazione real-time.
- la limitata capacità di spazio d'archiviazione non permette di utilizzare un dataset vasto che risulterebbe vantaggioso per diminuire gli errori dovuti alle interazioni circostanti.
- il concetto stesso di mobile prevede l'utilizzo di un'applicazione, che nel caso dovesse subire degli aggiornamenti, sarebbe necessaria la disinstallazione e la reinstallazione della stessa sul dispositivo.

Tutti questi problemi vengono superati grazie al remote-processing:

- le limitazioni di capacità di calcolo e spazio di archiviazione cessano di esistere poiché vi è la possibilità di eseguire upgrade teoricamente illimitati al sistema di calcolo remoto.
- nel caso fosse necessario un upgrade al sistema software, l'utente dall'applicazione noterebbe solo un disservizio temporaneo dovuto all'effettivo aggiornamento del software interessato sul dispositivo di calcolo.

Subentra però un altro problema: come inviare i dati raccolti dal dispositivo mobile a quello remoto? Le scelte possibili sono due:

1. sfruttare la rete WiFi che si sta scannerizzando per mandare i dati.
2. utilizzare la rete cellulare (ipotizzando che il dispositivo mobile sia provvisto di una scheda di rete abilitata alla comunicazione in 2G, 3G, 4G, etc) in modo da non deturpare le letture in corso (ogni volta che un dispositivo WiFi trasmette crea una variazione nel campo EM circostante).

L'acquisizione dei dati RSS è stimata secondo la seguente formula:

$$p_i(r_T, r_i) = p_i^0(d_0) - 10\alpha_i \log\left(\frac{\|r_T, r_i\|}{d_0}\right) - \varepsilon_{noise} \quad (1)$$

dove $p_i^0(d_0)$ è il valore i -esimo di RSSI misurato ad una distanza d_0 , α_i è l'esponente di path-loss e ε_{noise} è il modello di rumore gaussiano.

L'implementazione in uso riceve come input la distanza tra target e AP mentre come output restituisce la stima della potenza in ricezione per ogni AP collegato e per ogni posizione del target nello spazio (per migliorare le prestazioni si è deciso di impedire di andare a calcolare tutte le posizioni ma solo quelle realmente utili nell'osservazione)

Per ogni valore di RSS stimato, viene calcolato un costo tra la potenza stimata e quella reale osservato dal dispositivo mobile. Questo passaggio avviene iterativamente fino al raggiungimento del costo minore assoluto, ciò che si ottiene è la posizione del dispositivo meglio approssimata.

1.4 Simboli adottati

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
d	Distanza tra target e AP	Metri [m]
d_1	Distanza tra centro dell'angolo e AP	Metri [m]
d_2	Distanza tra target e centro dell'angolo	Metri [m]
α	Fattore moltiplicativo di frequenza in logaritmo	-
β	Fattore moltiplicativo di distanza in logaritmo	-
f	Frequenza	GigaHertz [GHz]
M	Numero totale di muri attraversati	-
T_{ci}	Spessore dell' i -esimo muro di cemento	Centimetri [cm]
γ	Fattore moltiplicativo di distanza	Decibel su Metri [dBm/m]
d_0	Distanza minima di misurazione	Metri [m]
S	Dimensione media di una stanza	Metri [m]

Table 1: Simboli adottati, descrizione e unità di misura degli stessi (se non presente è da intendersi numero "puro")

2 Stato dell'arte

2.1 Path-Loss Model Including LOS-NLOS Transition Regions for Indoor Corridors at 5 GHz[3]

LosNlos: CornerPL Modello che utilizza l'ambiente circostante per "superare" un angolo (fattori di penetrazione del muro dipendenti dalla frequenza).

Lo schema seguente visualizza lo scenario di massima in cui CornerPL si trova ad operare:

- I punti rossi stanno ad indicare le possibili posizioni del target
- Il quadrato verde è il centro dell'angolo
- Il punto blu è l'AP
- L'anello in giallo raffigura il primo anello di Fresnel
- In viola viene indicata la larghezza del corridoio

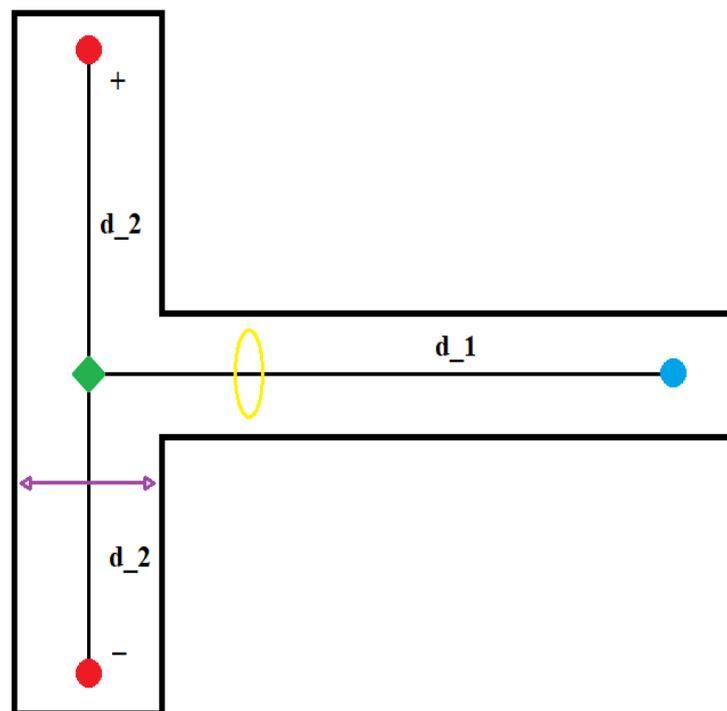


Figure 2: Schema grafico di uno scenario CornerPL

La ricerca di un metodo che potesse tenere conto degli angoli nel calcolo del Path-Loss è iniziata dalla divisione in due casi in cui l'AP e il target siano o meno in LOS (Line Of Side).

Test empirici eseguiti sul campo hanno portato a capire che la discriminante tra i due casi fosse in realtà il triplo del primo anello di Fresnel.

$$PL(d_1, d_2) = \begin{cases} 69.2 + 0.61d_1 + (21.2 - 0.055d_1) \log_{10}(|d_2|) & |d_2| > 3F_1 \\ 32.4 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) & |d_2| < 3F_1 \end{cases} \quad (2)$$

Dovendo essere utilizzato all'interno di un contesto tenente conto di un angolo le misure da prendere in considerazione sono:

- d_1 : è la distanza tra l'access point (AP) e il centro dell'angolo preso in considerazione.
- d_2 : è la distanza tra il target in osservazione e il centro dell'angolo.
- d : è la distanza tra l'access point (AP) e il target, ottenuta con la distanza Euclidea ritenendo cateti di un triangolo rettangolo le due distanze precedenti.

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} \quad (3)$$

Inoltre all'interno della formula del PL compare un termine che viene calcolato secondo quest'altra formula:

$$F_1 = \sqrt{\lambda \left(1 - \frac{W_{ms}}{2d_1}\right) \frac{W_{ms}}{2}} \quad (4)$$

Si tratta proprio del primo anello di Fresnel, precedentemente citato, utile per differenziare le due sotto-sezioni del PL . La formula prevede di avere come input la larghezza del corridoio in considerazione W_{ms} e la lunghezza d'onda del segnale (facilmente ricavabile avendo già la frequenza e ipotizzando che la velocità di propagazione sia prossima a quella della luce $\frac{c}{f} = \lambda$)

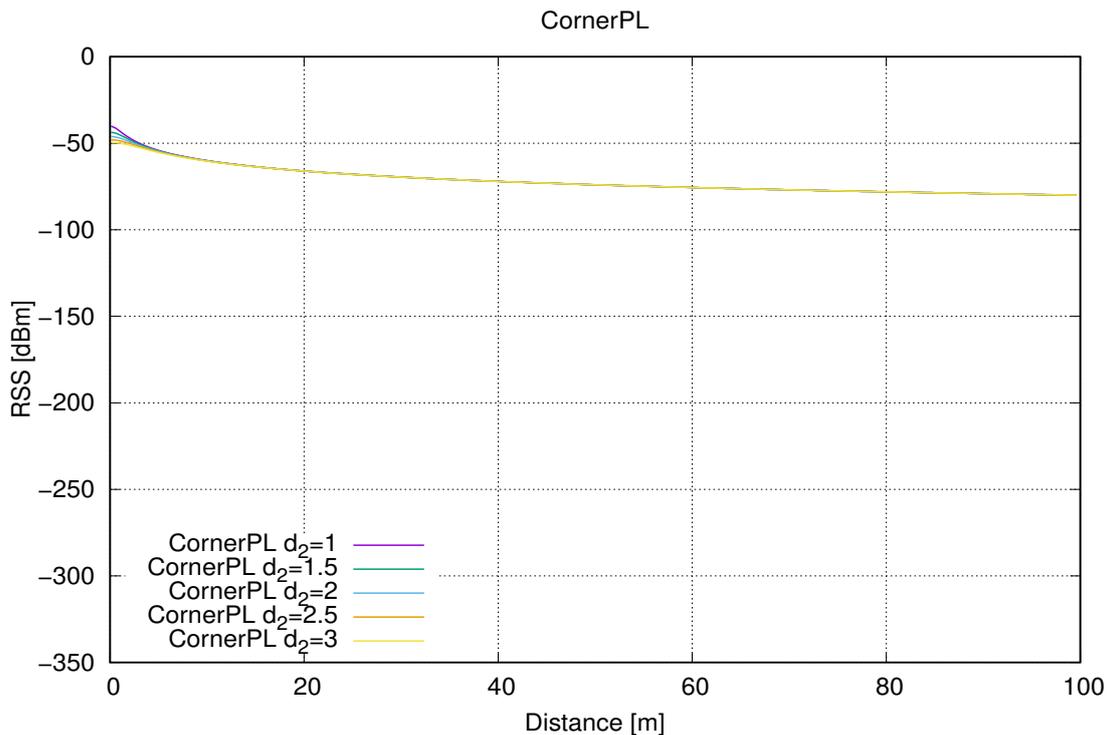


Figure 3: Grafico di CornerPL al variare di d_2

2.2 Indoor Multi-Wall Path Loss Model at 1.93 GHz[2]

All'interno di questo paper viene investigata l'interazione tra muri e il path loss con vari modelli per validandone uno in particolare: IndoorMultiWallPLModel. Sono stati presi in considerazione più modelli apposta per poter effettuare una comparazione tra di essi.

MultiWall: COST231 Modello che utilizza l'ambiente circostante (fattori di penetrazione della parete dipendenti dalla frequenza)

$$PL_{COST} = PL_0 + \beta 10 \log_{10}(d) + \sum_{i=1}^M PL_i \quad (5)$$

Dove M è il numero totale delle pareti attraverso cui si propaga il segnale radio e PL_i denota il fattore di perdita del muro per il muro i -esimo. Nel modello sono considerati tre tipi di pareti: parete leggera, parete pesante e parete metallica. Sono elencati i fattori di perdita di parete empirica ottimizzati a 1,9 GHz. L'esponente di perdita del percorso Gamma-COST è 2 per 1,9 GHz.

Parete leggera	Parete pesante	Parete metallica
2.1 dB	4.4 dB	1.3 dB

Table 2: Fattori di attenuazione per tipologia di muro

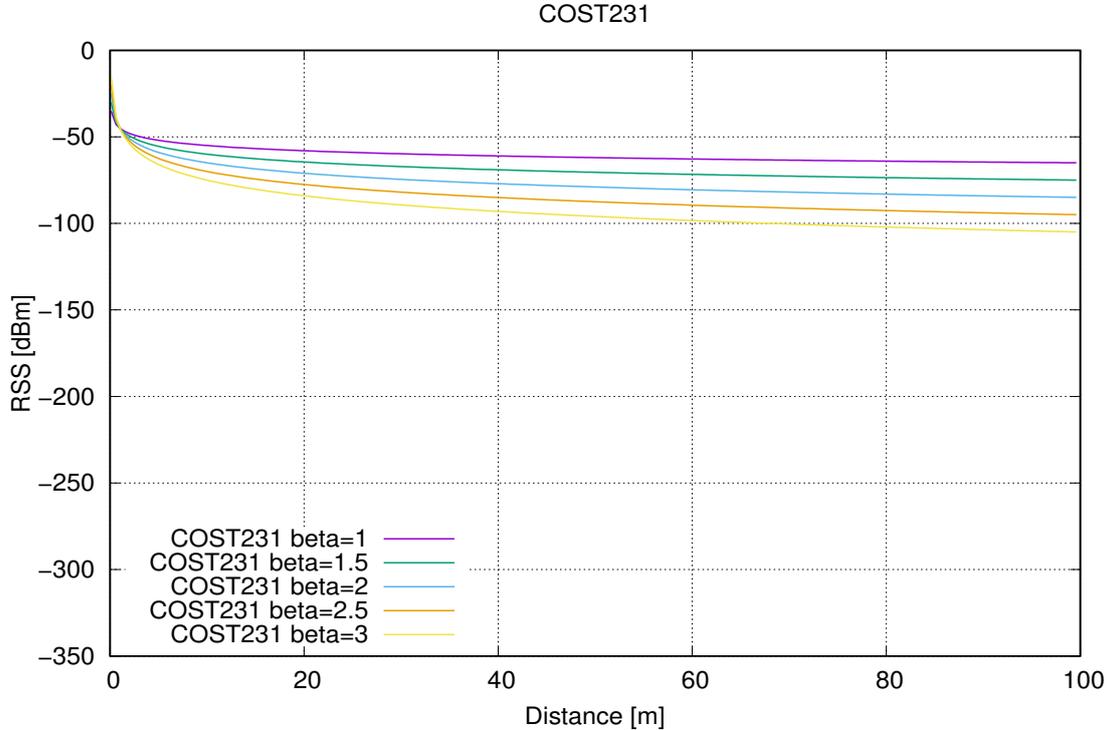


Figure 4: Grafico di COST231 al variare di β

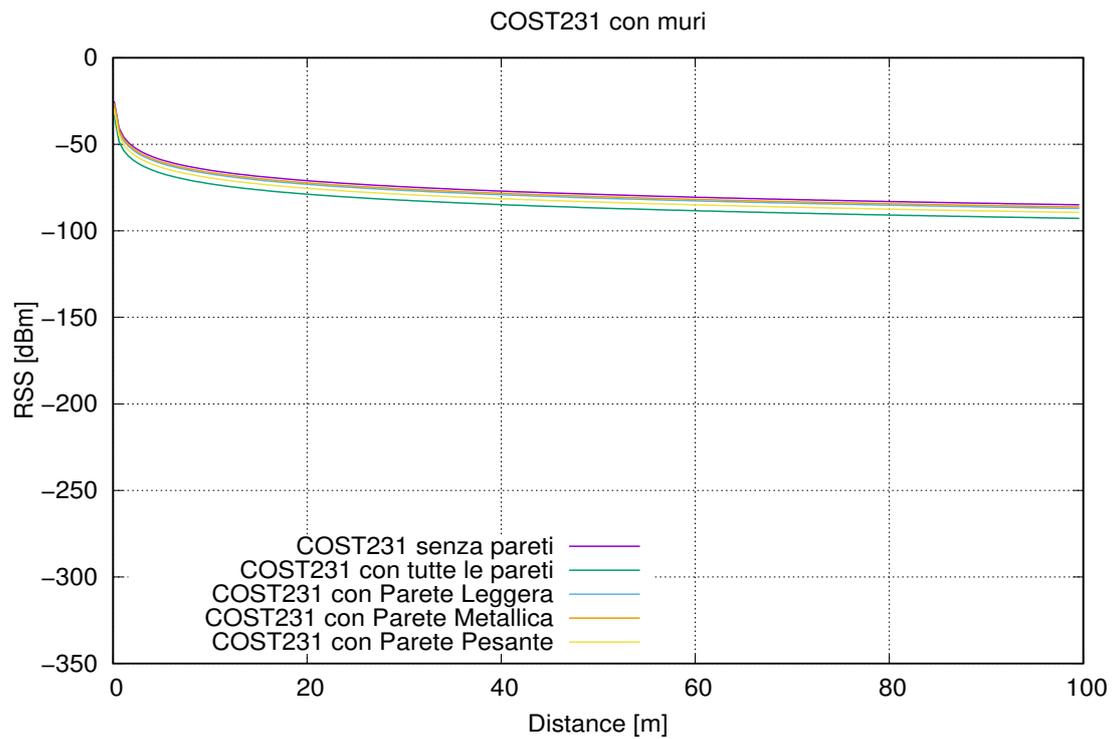


Figure 5: Grafico di COST231 al variare dello spessore dei muri e con $\beta = 2$

E' stato accurato che questo modello garantisce ottimi risultati in presenza di muri dalla natura e dallo spessore conosciuti ma non in casi in cui sia anche un rumore gaussiano di fondo nell'ambiente in osservazione.[2]

MultiWall: IndoorMultiWallPLModel Modello che aggiunge un fattore di assorbimento relativo per ogni singola parete attraversata e altri elementi strutturali come ascensori e finestre di vetro.

$$PL = PL_0 + 10\beta \log_{10}(d) + \eta_d + \eta_e + \eta_g + \sum_{i=1}^M PL_i \quad (6)$$

Dove η_d e η_e sono i fattori di perdita per muri a secco e ascensori, M indica il numero totale di muri di cemento attraverso i quali si propaga il segnale, PL_i indica la perdita dovuta al muro di cemento i -esimo e presenta valori diversi a seconda dello spessore del muro, in fine, η_g indica il fattore di riflessione del segnale dalle pareti di vetro: ha un valore negativo che implica che la perdita del percorso è in qualche modo compensata dalle pareti di vetro vicine.

Basato sulla misurazione raccolta a 1,93 GHz, il percorso esponente di perdita β è scelto empiricamente come 2.52.

η_d	η_e	η_g
2.5 dB	6.4 dB	-1.3 dB

Table 3: Fattori di attenuazione e riflessione

Inoltre il fattore di attenuazione dovuto allo spessore del muro i -esimo viene calcolato secondo:

$$\eta_{ci} = \begin{cases} 7.8 \text{ dB} & T_{ci} < 68 \text{ cm} \\ 9 \text{ dB} & 68 \text{ cm} < T_{ci} < 133 \text{ cm} \\ 11 \text{ dB} & T_{ci} > 133 \text{ cm} \end{cases} \quad (7)$$

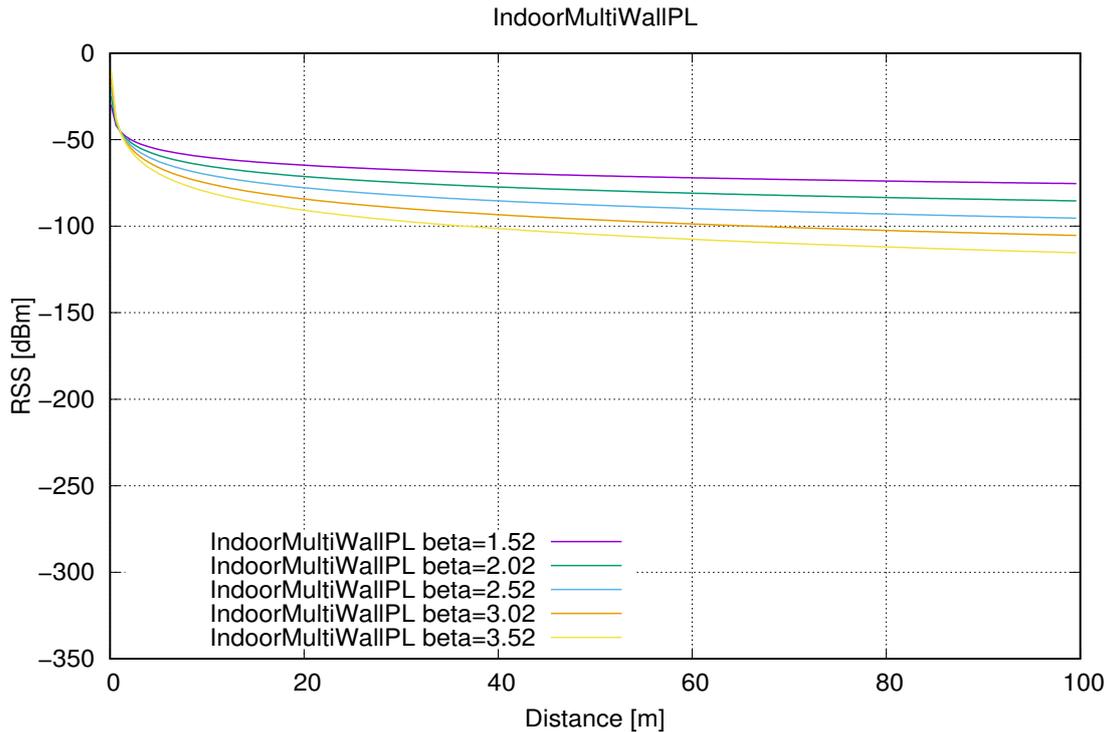


Figure 6: Grafico di IndoorMultiWallPL al variare di β

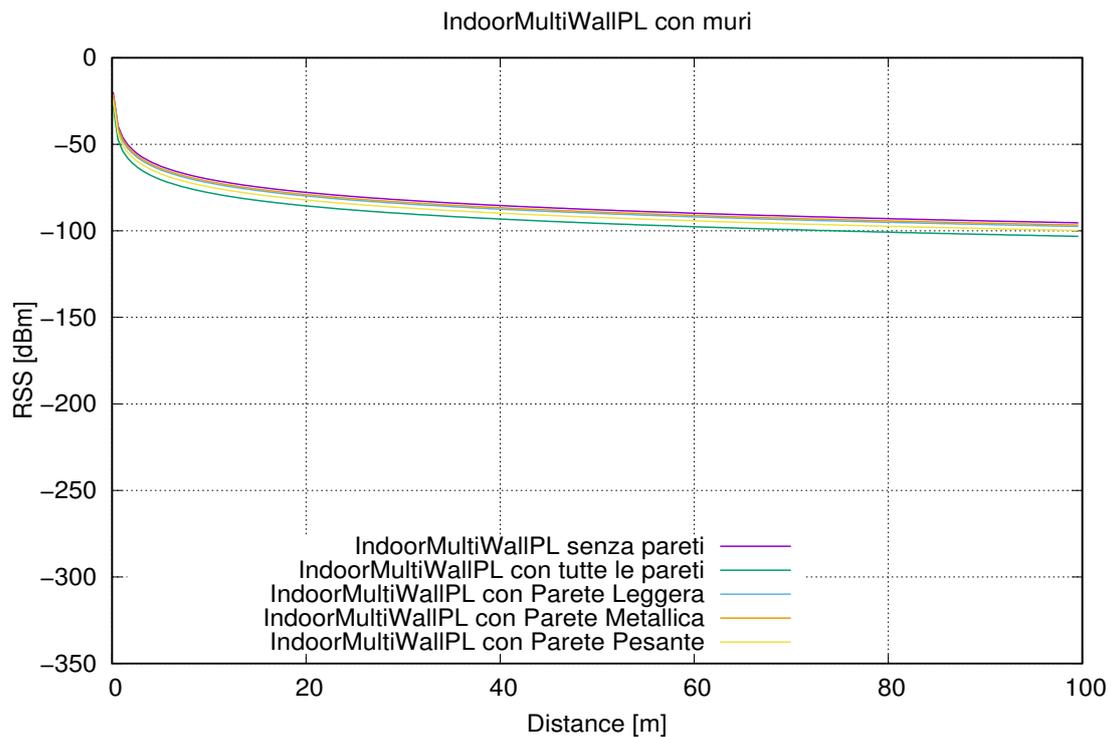


Figure 7: Grafico di IndoorMultiWallPL al variare dello spessore dei muri e con $\beta = 2.52$. I valori d'attenuazione delle pareti sono da ritenersi uguali a quelli del COST231

All'interno del paper di riferimento, grazie ad un confronto diretto con il modello COST231, questo modello garantisce ottimi risultati in presenza di un rumore gaussiano di fondo nell'ambiente in osservazione.[2]

Standard: ITUModel Modello che utilizza l'ambiente circostante (fattori di penetrazione della parete dipendenti dalla frequenza).

$$PL_{ITU} = 20\log_{10}(f) + \beta 10\log_{10}(d) - 28 \quad (8)$$

dove f è la frequenza di trasmissione e l'esponente di perdita del percorso empirico β è uguale a 3 a 1,9 GHz.

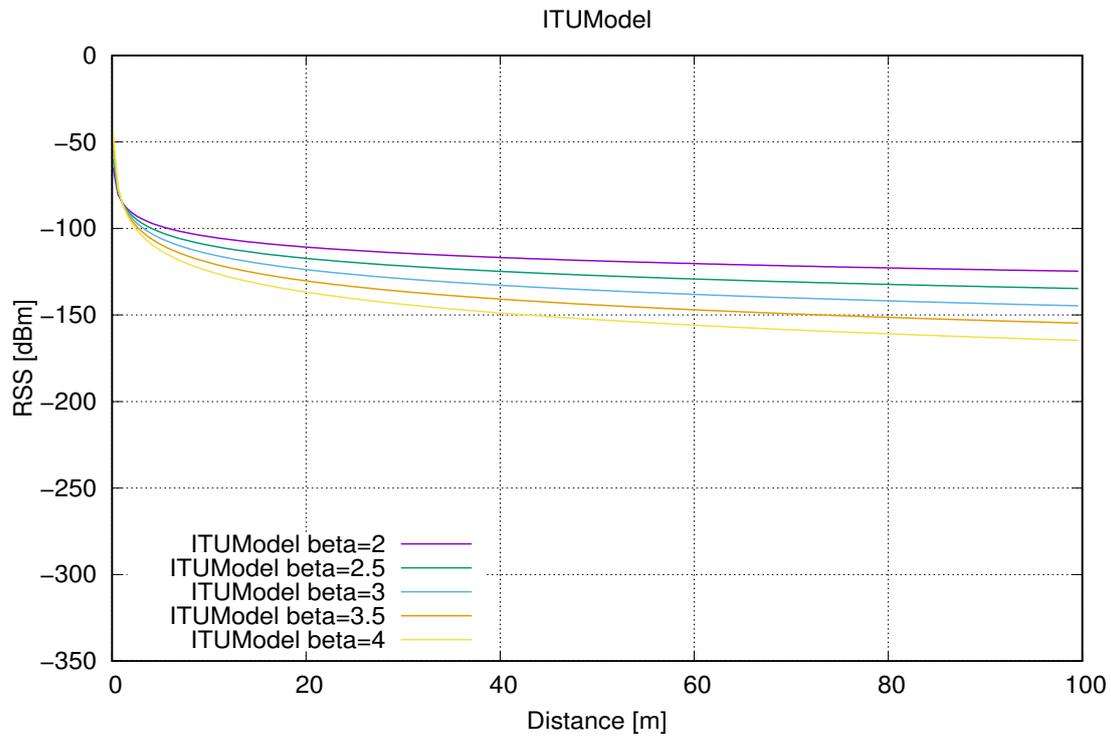


Figure 8: Grafico di ITUModel al variare di β

Standard: PartitionedModel Modello che ha solo ed esclusivamente la distanza come input e ne differenzia l'utilizzo nella formula.

$$PL_{PM} = PL_0 + \begin{cases} 20\log_{10}(d) & 1m < d < 10m \\ 20 + 30\log_{10}(\frac{d}{10}) & 10m < d < 20m \\ 29 + 60\log_{10}(\frac{d}{20}) & 20m < d < 40m \\ 47 + 120\log_{10}(\frac{d}{40}) & d > 40m \end{cases} \quad (9)$$

Il PartitionedModel è formulato da quattro diversi valori predefiniti di previsione della perdita del segnale basati su diversi intervalli di distanza.

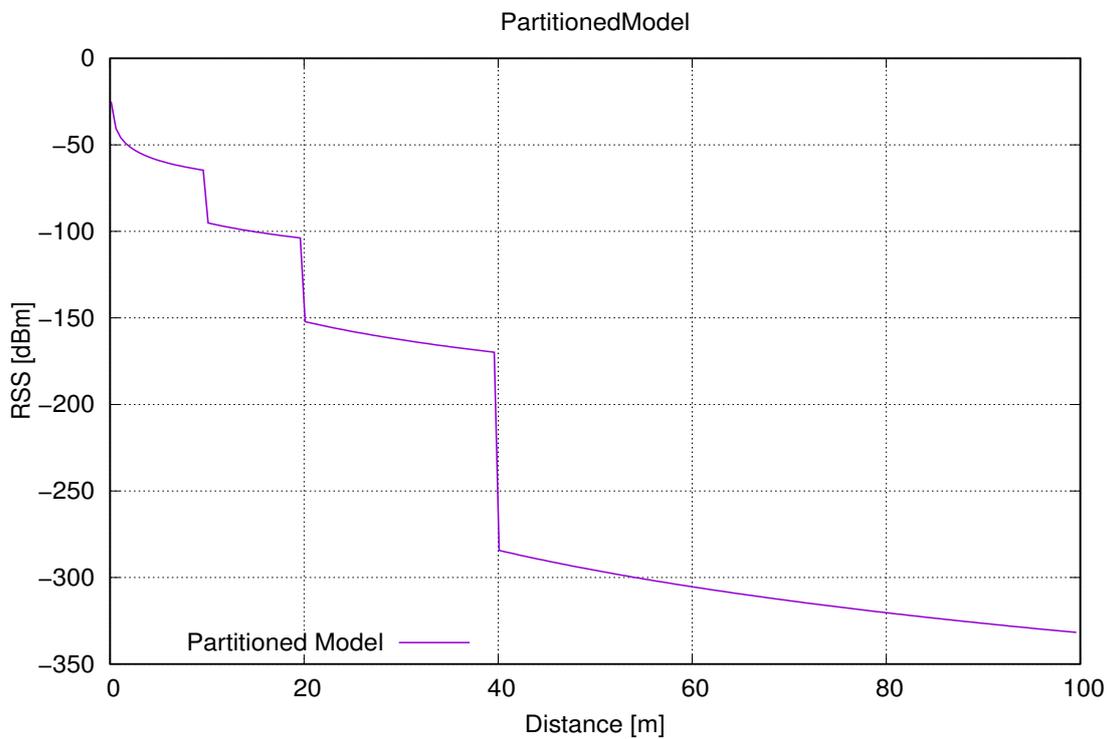


Figure 9: Grafico di PartizioneModel

Non avendo fattori moltiplicativi o altre variabili, questo modello non si presta ad una campagna di osservazione mirata all'ottenimento di parametri ottimizzati.

2.3 A Meaningful Indoor Path-Loss Formula[1]

Standard: PL Modello che utilizza l'ambiente circostante (dimensioni della stanza e fattori di penetrazione della parete).

$$PL = PL_0 + 10\alpha \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \gamma d \quad (10)$$

Ove γ è detto fattore moltiplicativo di stanza perché viene così calcolato:

$$\gamma = \frac{L_w(f)}{S} \quad (11)$$

Avendo come S la dimensione media delle stanze in osservazione e $L_w(f)$ l'attenuazione di un singolo muro.

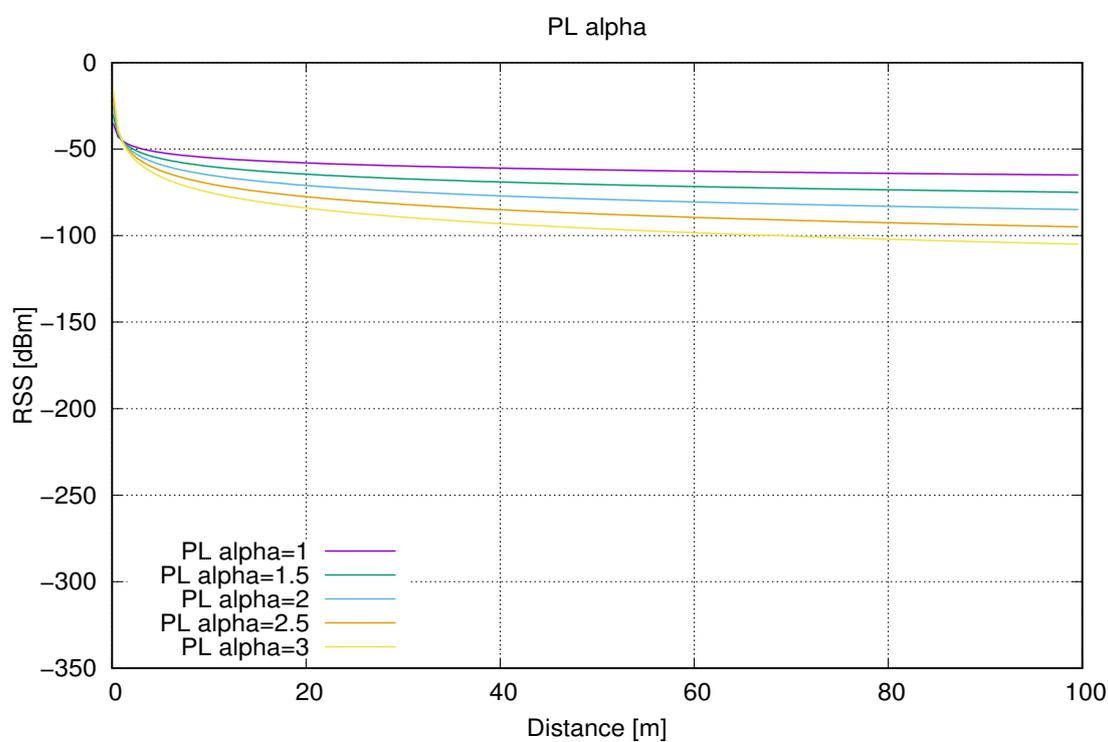


Figure 10: Grafico di PL al variare di α e mantenendo costante $\gamma = 0$

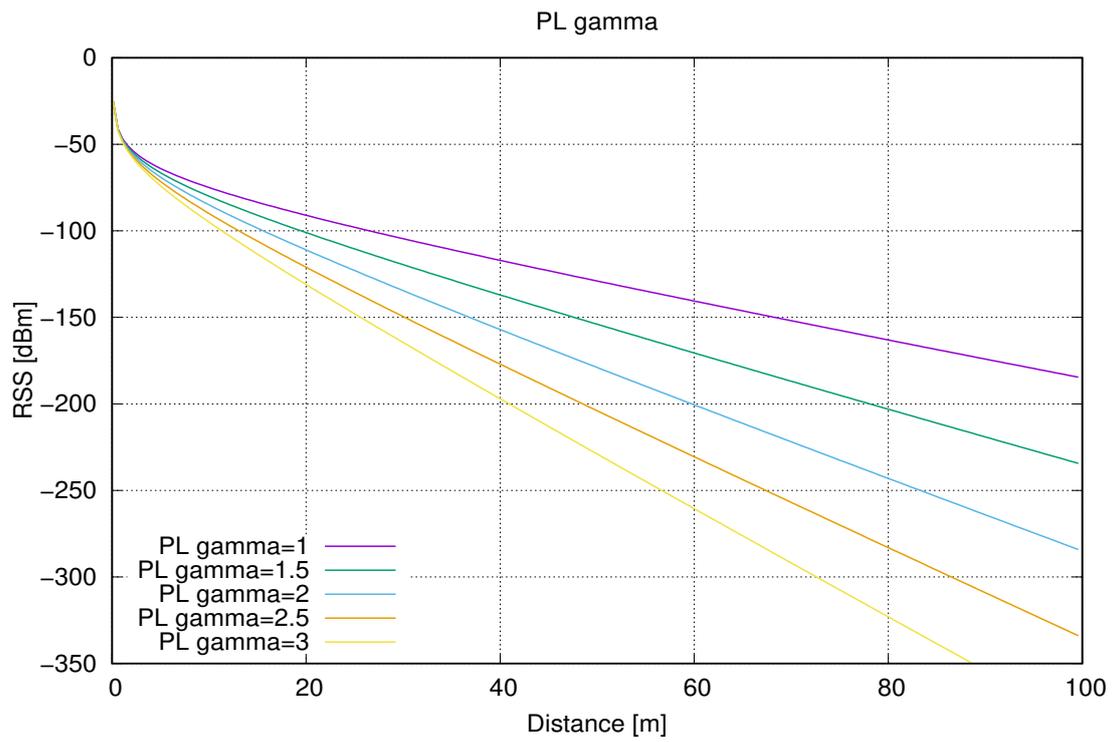


Figure 11: Grafico di PL al variare di γ e mantenendo costante $\alpha = 2$

2.4 Comparazione

I modelli possono essere suddivisi per tipologia di scenario in cui dover essere utilizzate:

1. Standard: PL[1], PartitionedModel, ITUModel[2]
2. MultiWall: COST231, IndoorMultiWallPL[2]

2.4.1 Standard

Lo scenario denominato “standard” si riferisce al caso in cui AP e target siano in LOS (Line Of Side) e quindi senza muri, vetrate o altre strutture che possano interferire con il segnale RSSI.

I tre modelli che calzano all'interno di questo scenario sono:

1. PL avente come parametri quelli descritti come ottimali dal paper di riferimento[1].
2. PartitionedModel[2]
3. ITUModel avente, anch'esso, come parametri quelli descritti come ottimali dal paper di riferimento[2]

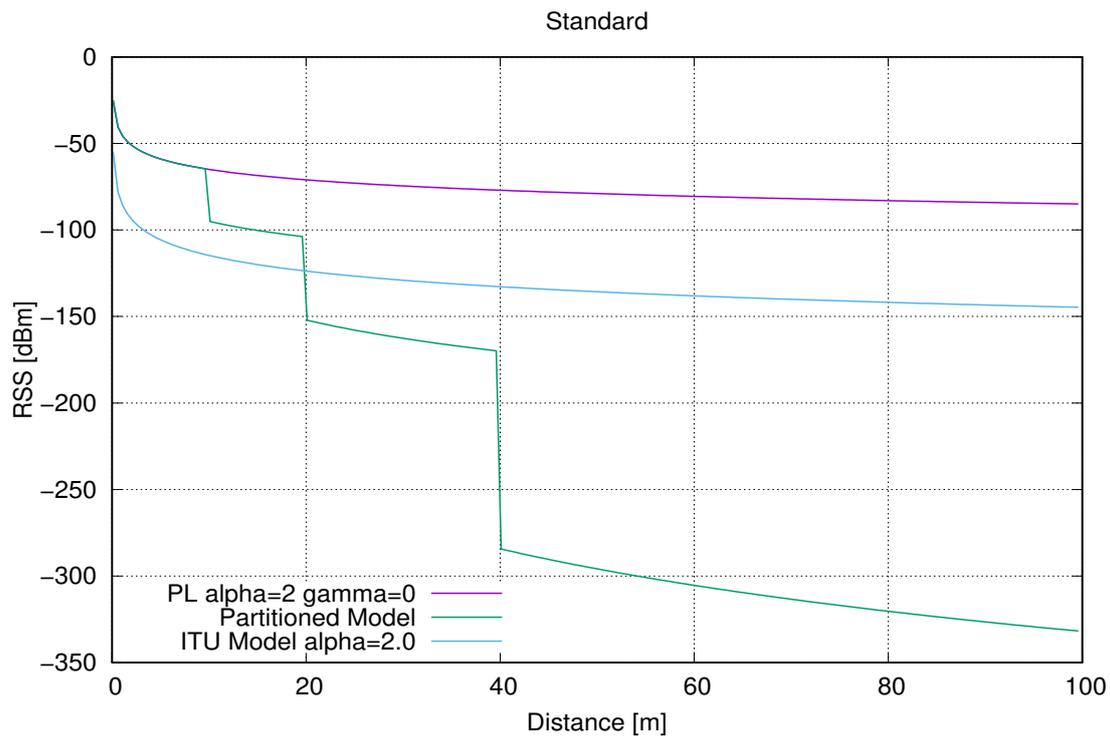


Figure 12: Grafico contenente i metodi utilizzati in scenari standard

Come è possibile notare a colpo d'occhio PartitioneModel presenta un grafico totalmente diverso sia in andamento che per valore ottenuti, rispetto agli altri due modelli che invece hanno due curve molto simili tra loro e valori diversi (ITUModel prevede tra i 25 dBm e i 50 dBm in meno rispetto al PL).

2.4.2 MultiWall

Lo scenario denominato “MultiWall” si riferisce al caso in cui AP e target siano in NLOS (Not Line Of Side) e quindi in presenza di muri, vetrate o altre strutture che possono interferire con il segnale RSSI.

I due modelli che calzano all'interno di questo scenario sono:

1. IndoorMultiWallPL avente come parametri quelli descritti come ottimali dal paper di riferimento[2]
2. COST231 avente, anch'esso, come parametri quelli descritti come ottimali dal paper di riferimento[2]

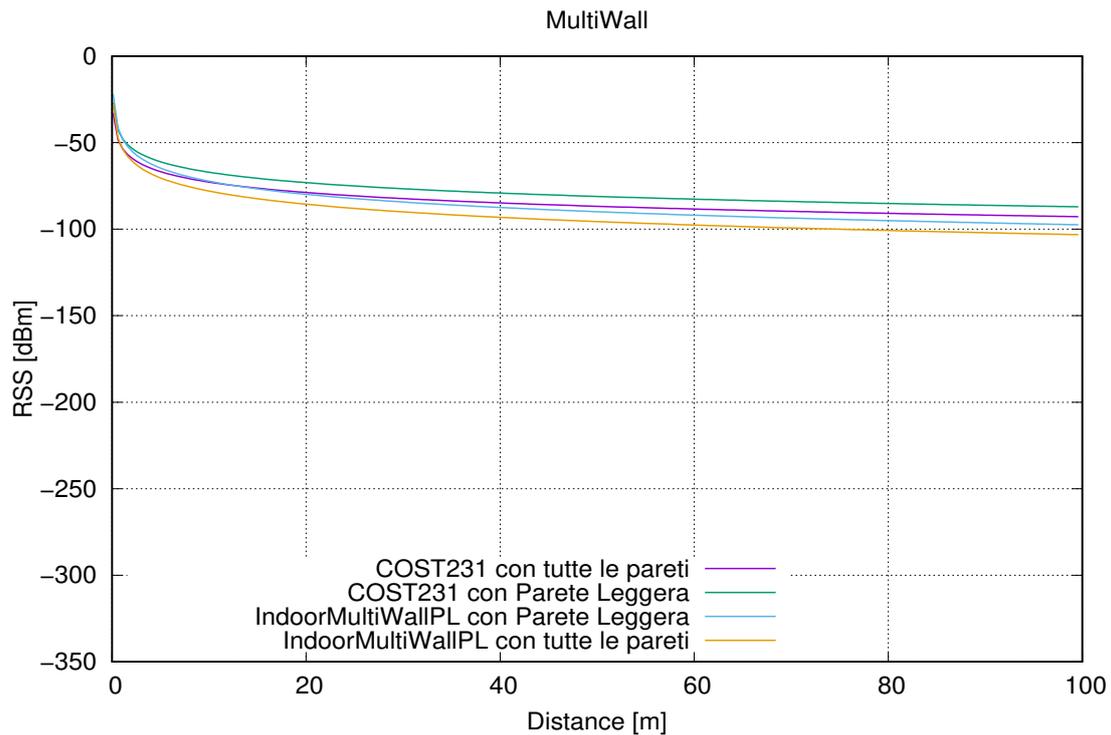


Figure 13: Grafico contenente i metodi utilizzati in scenari MultiWall

Nel grafico per parete leggera si intende una parete avente una capacità di attenuazione di circa 2.1 dBm e con tutte le pareti invece l'attenuazione sale a 7.8 dBm (è da intendersi come la somma di tre differenti capacità di attenuazione di diversi tipi di pareti: leggera 2.1 dBm , pesante 4.4 dBm e metallica 1.3 dBm)[2]

3 Validazione sperimentale

3.1 Scenario



Figure 14: Foto Povo1

N. Piano	Nome	Map ID	Numero APs
0	Piano Terra	10000	15
1	Primo Piano	10100	15
2	Piano DISI	10200	4

Table 4: Piani Povo con relativo codice identificativo e numero AP

Piano	#AP	BaseMAC	ID DISPOSITIVO	NOME	X	Y
0	1	B0:00:B4:9B:78:B0	193517076576432	Povo1-AP-P0-AulaMagna1	12.5	3.39
0	2	54:75:D0:3F:1D:F0	92864981704176	Povo1-AP-P0-AulaMagna2	3.27	19.16
0	3	6C:99:89:09:51:70	119406684885360	Povo1-AP-P0-AD16	3.5	31.17
0	4	B0:00:B4:9B:B5:B0	193517076592048	Povo1-AP-P0-CorridoioNord	18.00	25.67
0	5	54:75:D0:3F:1C:A0	92864981703840	Povo1-AP-P0-Manutenzione	7.33	37.20
0	6	54:75:D0:3F:25:70	92864981706096	Povo1-AP-P0-AtrioIngresso	56.55	38.89
0	7	70:81:05:45:65:20	123699441526048	Povo1-AP-P0-AD04	70.61	13.21
0	8	D0:D0:FD:69:08:F0	229596023294192	Povo1-AP-P0-A106	70.28	1.83
0	9	B0:00:B4:9B:92:40	193517076582976	Povo1-AP-P0-AD17	58.83	25.81
0	10	B0:00:B4:9B:77:10	193517076576016	Povo1-AP-P0-SalaStudioOvest2	47.61	11.71
0	11	B0:00:B4:9B:7E:30	193517076577840	Povo1-AP-P0-SalaStudioOvest1	37.16	11.71
0	12	C0:7B:BC:2E:2A:D0	211637670652624	Povo1-AP-P0-AD03	80.05	25.11
0	13	B0:00:B4:9B:90:D0	193517076582608	Povo1-AP-P0-AD02-1	70.74	44.00
0	14	C0:7B:BC:2E:2B:10	211637670652688	Povo1-AP-P0-AD02-2	80.05	36.61
1	1	64:00:F1:87:0B:90	109955214936976	Povo1-AP-P1-AD27X	34.44	12.39
1	2	1C:1D:86:D7:EE:10	30913141927440	Povo1-AP-P1-AulaPC2 X	10.61	28.61
1	3	54:75:D0:3F:5F:A0	92864981720992	Povo1-AP-P1-AD09X	72.33	38.54
1	4	54:75:D0:3F:4D:20	92864981716256	Povo1-AP-P1-AD22X	30.94	35.11
1	5	6C:99:89:09:6E:B0	119406684892848	Povo1-AP-P1-LabMeccanicaX	14.83	21.05
1	6	88:43:E1:13:72:60	149825120334432	Povo1-AP-P1-AD32X	41.83	40.22
1	7	B0:00:B4:9B:84:20	193517076579360	Povo1-AP-P1-AD33X	40.28	6.55
1	8	B0:00:B4:9B:91:30	193517076582704	Povo1-AP-P1-AD15X	75.10	39.72
1	9	B0:00:B4:9B:97:30	193517076584240	Povo1-AP-P1-CorridoioSudX	48.83	35.06
1	10	C0:7B:BC:2E:10:40	211637670645824	Povo1-AP-P1-AD08X	79.10	3.09
1	11	00:23:EB:07:FC:D0	154267024592	Povo1-AP-P1-AD29X	50.50	12.12
1	12	C0:7B:BC:2E:8C:E0	211637670677728	Povo1-AP-P1-AD207X	79.50	16.72
1	13	6C:99:89:09:60:00	119406684889088	Povo1-AP-P1-AD10X	71.28	28.22
1	14	54:75:D0:3F:58:50	92864981719120	Povo1-AP-P1-AulaPC1X	6.88	38.21
1	15	6C:99:89:09:6E:B0	109955214936784	Povo1-AP-P1-AD14X	6.88	39.54
2	1	54:75:D0:3F:4D:00	92864981716224	Povo1-AP-P2-Ovest	41.44	9.22
2	2	54:75:D0:3F:51:50	92864981717328	Povo1-AP-P2-Sud	65.06	23.3
2	3	54:75:D0:3F:53:60	92864981717856	Povo1-AP-P2-NordEst	14.44	39.66
2	4	54:75:D0:3F:56:10	92864981718544	Povo1-AP-P2-Nord	12.38	26.27
2	5	54:75:D0:3F:56:E0	92864981718752	Povo1-AP-P2-NordOvest	14.88	11.12
2	6	54:75:D0:3F:5A:B0	92864981719728	Povo1-AP-P2-Est	41.38	38.24
2	7	54:75:D0:3F:5F:90	92864981720976	Povo1-AP-P2-SudOvest	71.72	5.81

Table 5: Lista AP

Il device ID è la trasformazione dell'indirizzo MAC in un indirizzo più semplice da leggere per il computer, invece il nome è la trasformazione dell'indirizzo MAC in un nome di più facile lettura per le persone.

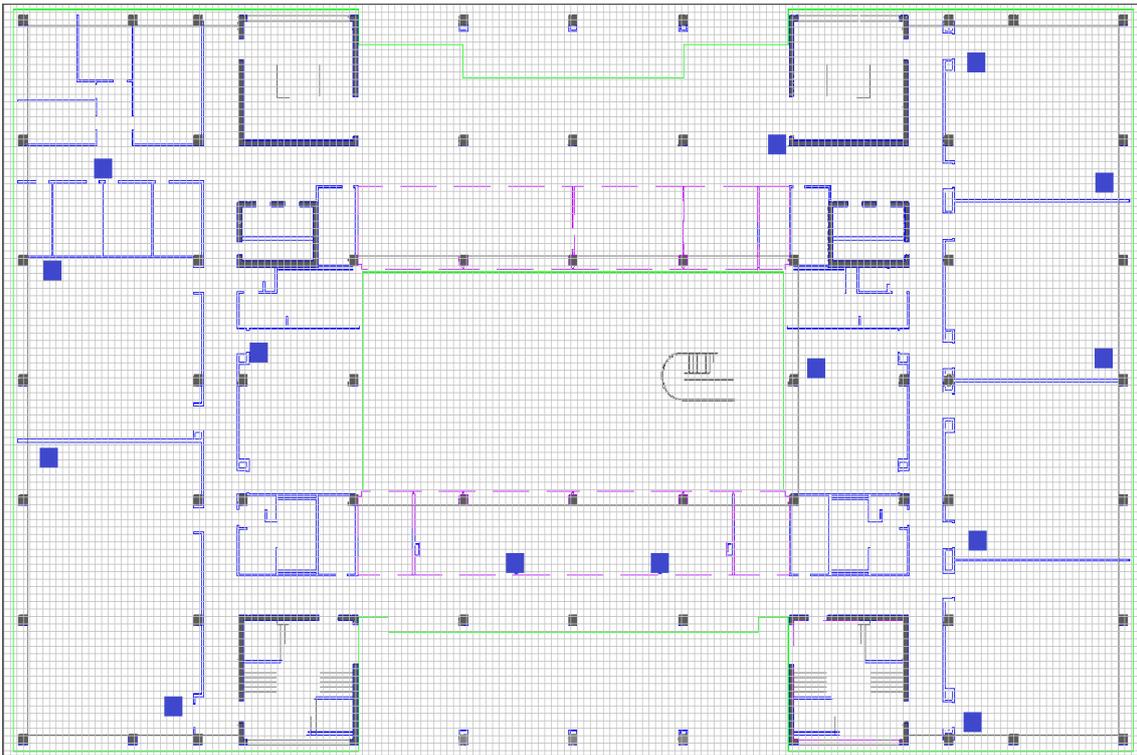


Figure 15: Povo1 - Piano 0

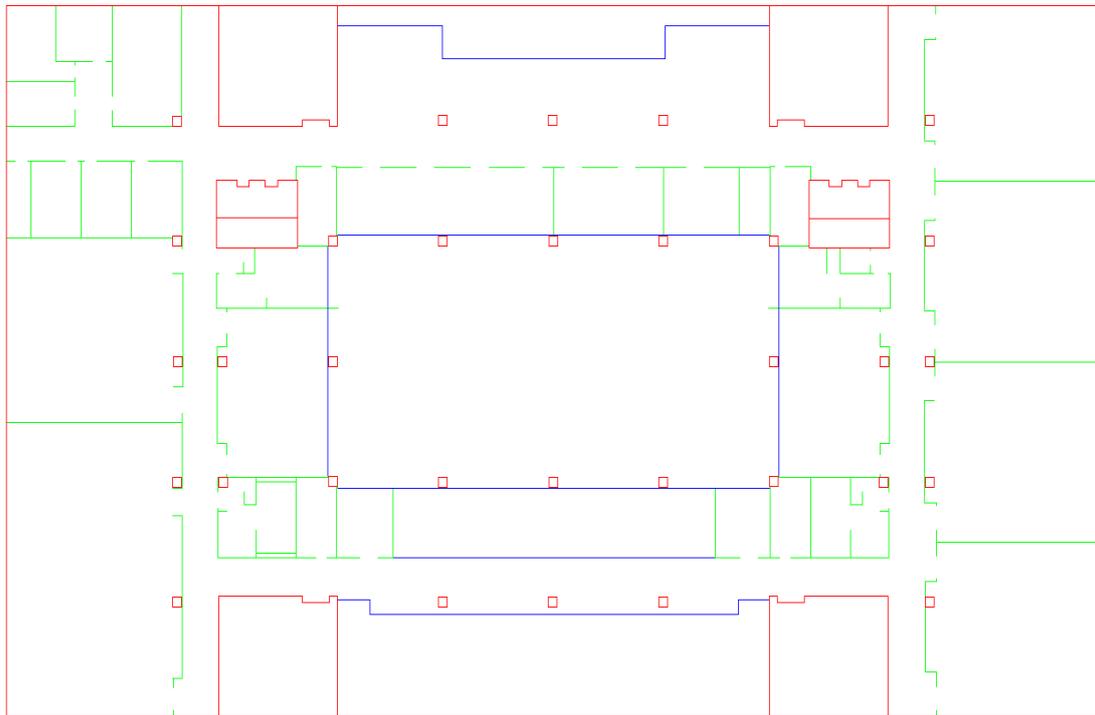


Figure 16: Povo1 - Piano 0 - Muri

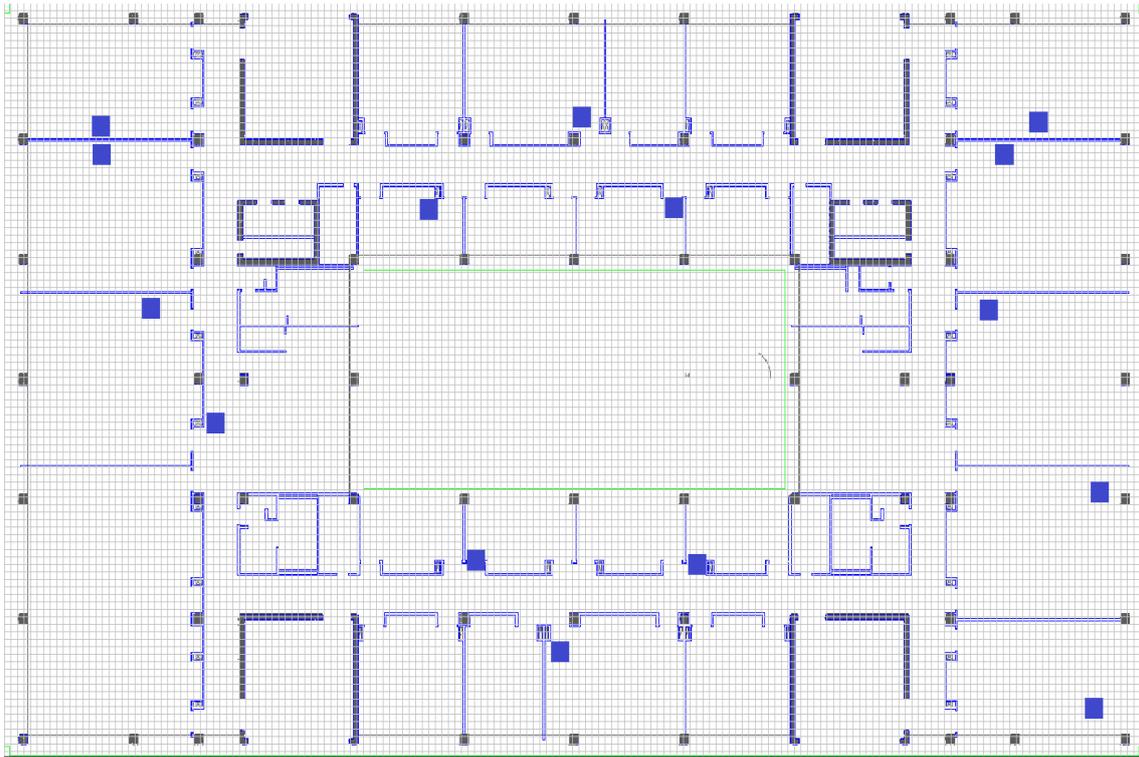


Figure 17: Povo1 - Piano 1

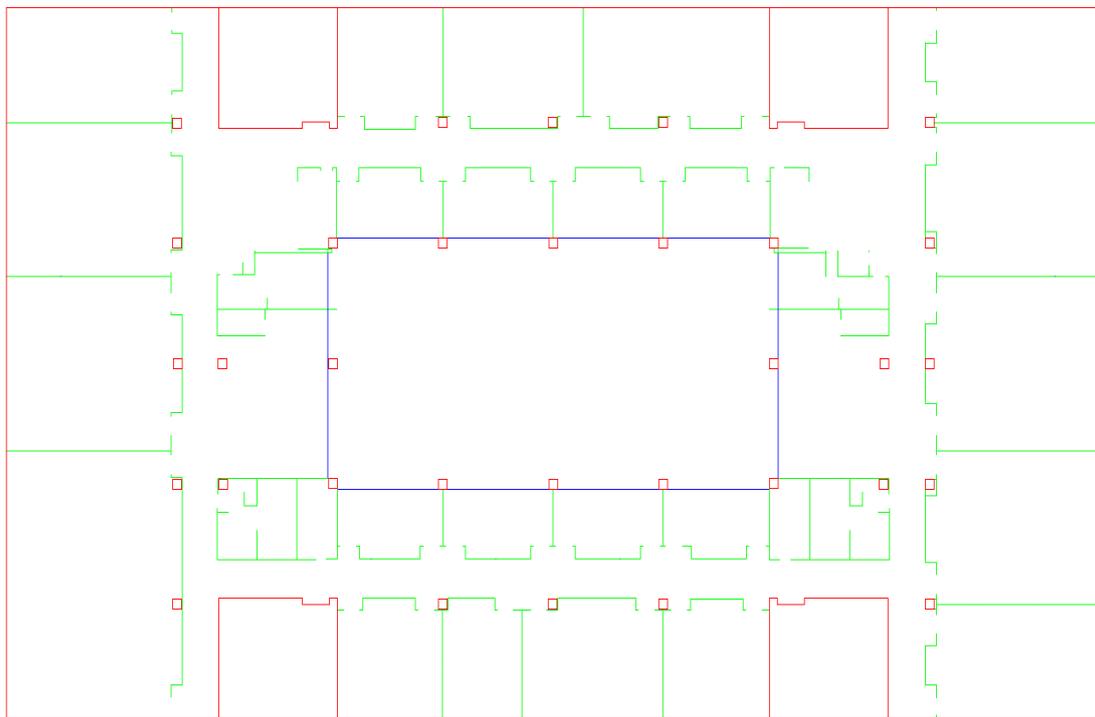


Figure 18: Povo1 - Piano 1 - Muri

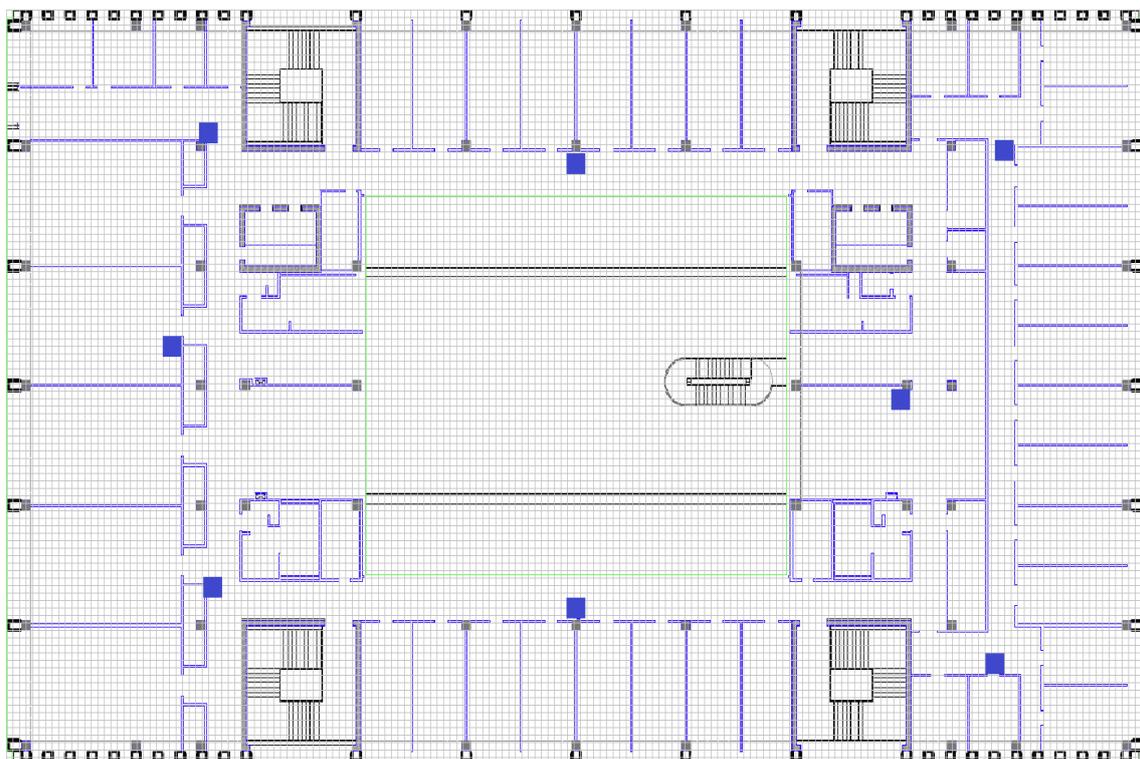


Figure 19: Povol - Piano DISI

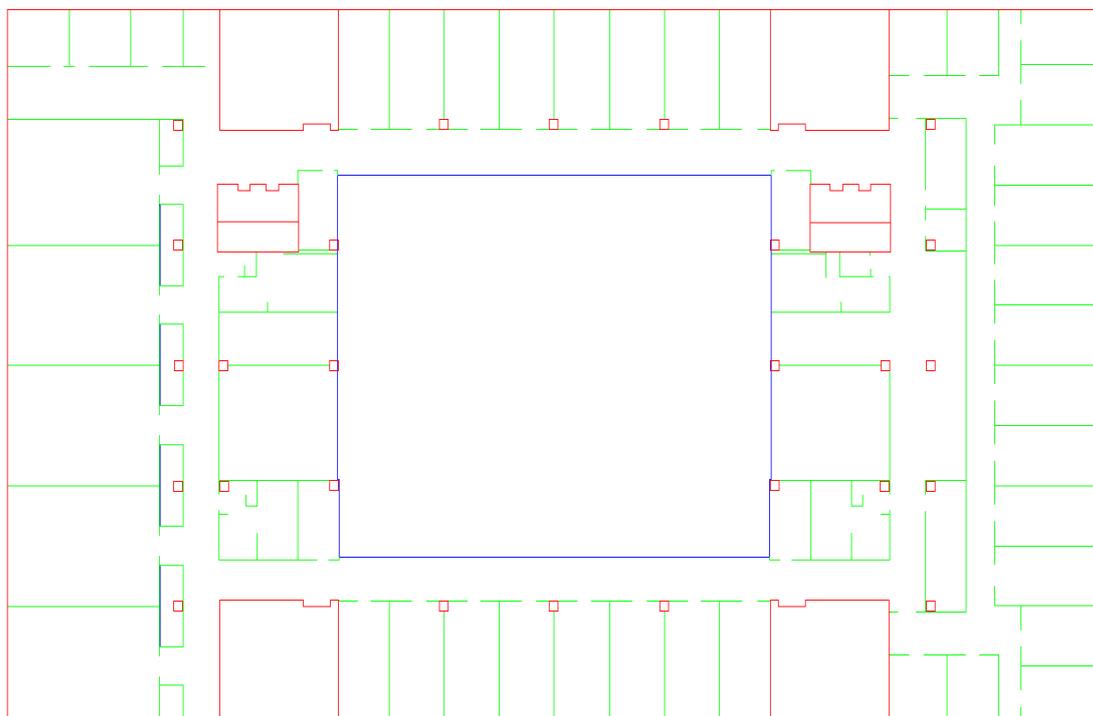


Figure 20: Povol - Piano DISI - Muri

Le figure 15, 17 e 19 rappresentano i piani con gli AP rispettivamente del piano 0, piano 1 e del piano 2 (DISI) di POVO 1. Le figure 16, 18 e 20 rappresentano i piani con i muri enfatizzati graficamente rispettivamente del piano 0, piano 1 e del piano 2 (DISI) di POVO 1.

3.2 Posizione dei Test

Successivamente sono stati eseguiti dei test, attraverso l'applicazione mobile Walk, per raccogliere i dati che poi utilizzeremo per testare i diversi metodi scelti, ovviamente ad ogni test è stata salvata la posizione per verificare la precisione dei diversi algoritmi. Nella figura 21 si possono vedere le posizioni dei test nel piano 0, nella figura 22 le posizioni dei test nel piano 1 e nella figura 23 le posizioni dei test nel piano 2.

N. Piano	Test ID	POSIZIONE [X]	POSIZIONE [Y]
0	1	79.99	2.53
0	2	67.09	2.40
0	3	48.71	14.72
0	4	23.67	10.05
0	5	15.85	2.75
0	6	15.68	30.26
0	7	8.03	40.01
0	8	15.85	44.73
0	9	27.65	36.57
0	10	48.80	44.48
0	11	55.33	10.75
0	12	16.20	10.82
0	13	67.89	12.19
0	14	79.65	25.42
0	15	78.66	45.12
0	16	41.26	36.70
0	17	16.10	35.42
0	18	12.31	20.55
0	19	32.43	8.04
0	20	55.07	15.70
0	21	65.63	36.66
0	22	67.13	44.86
0	23	66.96	26.27
0	24	60.04	25.24
0	25	70.94	2.36
0	26	49.44	10.05
0	27	41.28	10.05
0	28	28.03	10.05
0	29	15.90	17.34
0	30	21.11	37.43
0	31	38.93	41.77
0	32	49.44	37.31
0	33	57.13	37.35
0	34	56.96	40.48

Table 6: Posizione dei Test Piano 0

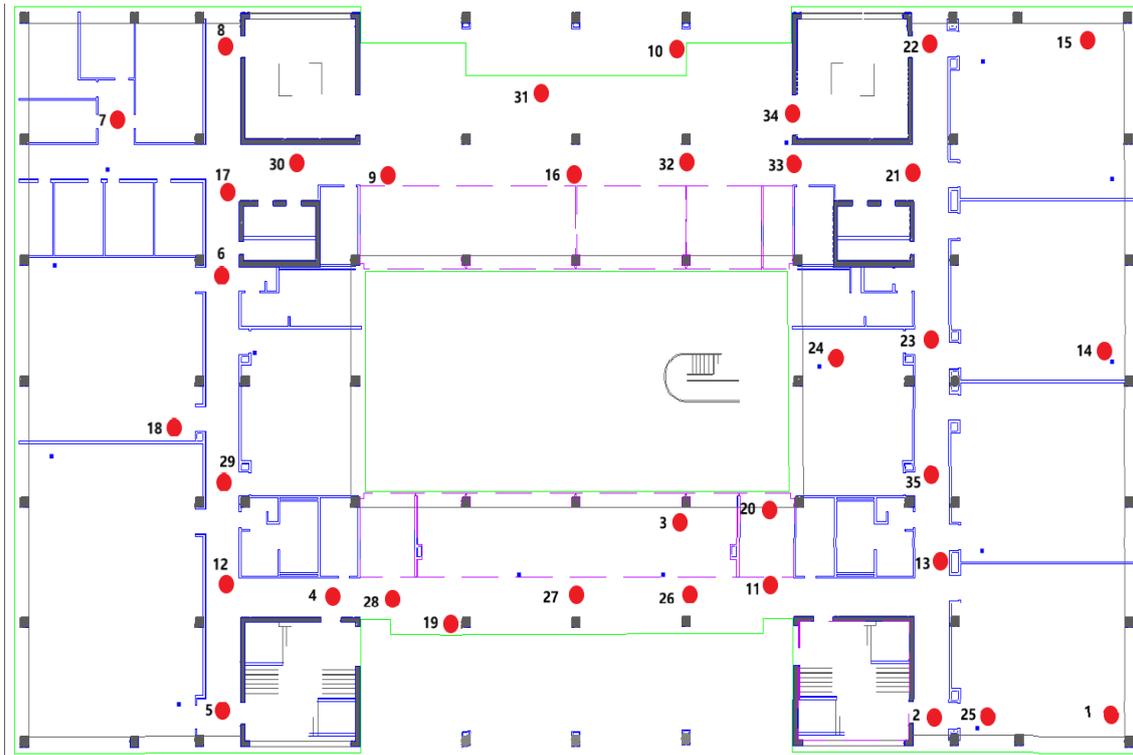


Figure 21: Test - Povo1 - Piano 0

N. Piano	Test ID	POSIZIONE [X]	POSIZIONE [Y]
1	1	2.14	23.79
1	2	16.85	9.04
1	3	36.86	7.50
1	4	69.51	10.88
1	5	65.63	20.40
1	6	56.58	38.66
1	7	43.65	38.79
1	8	27.01	36.33
1	9	15.73	45.96
1	10	16.81	23.74
1	11	73.66	6.90
1	12	58.50	9.99
1	13	43.25	12.94
1	14	33.35	10.48
1	15	17.21	10.17
1	16	12.11	21.12
1	17	15.90	37.04
1	18	2.85	32.51
1	19	33.38	37.18
1	20	50.86	33.11
1	21	62.89	37.23
1	22	75.23	31.52
1	23	67.03	26.68
1	24	60.65	20.98
1	25	80.92	20.88
1	26	72.96	27.67
1	27	67.06	2.02
1	28	48.43	10.17
1	29	39.77	15.55
1	30	26.49	10.03
1	31	15.75	2.10
1	32	24.47	22.71
1	33	12.21	30.25
1	34	11.74	44.96

Table 7: Posizione dei Test Piano 1

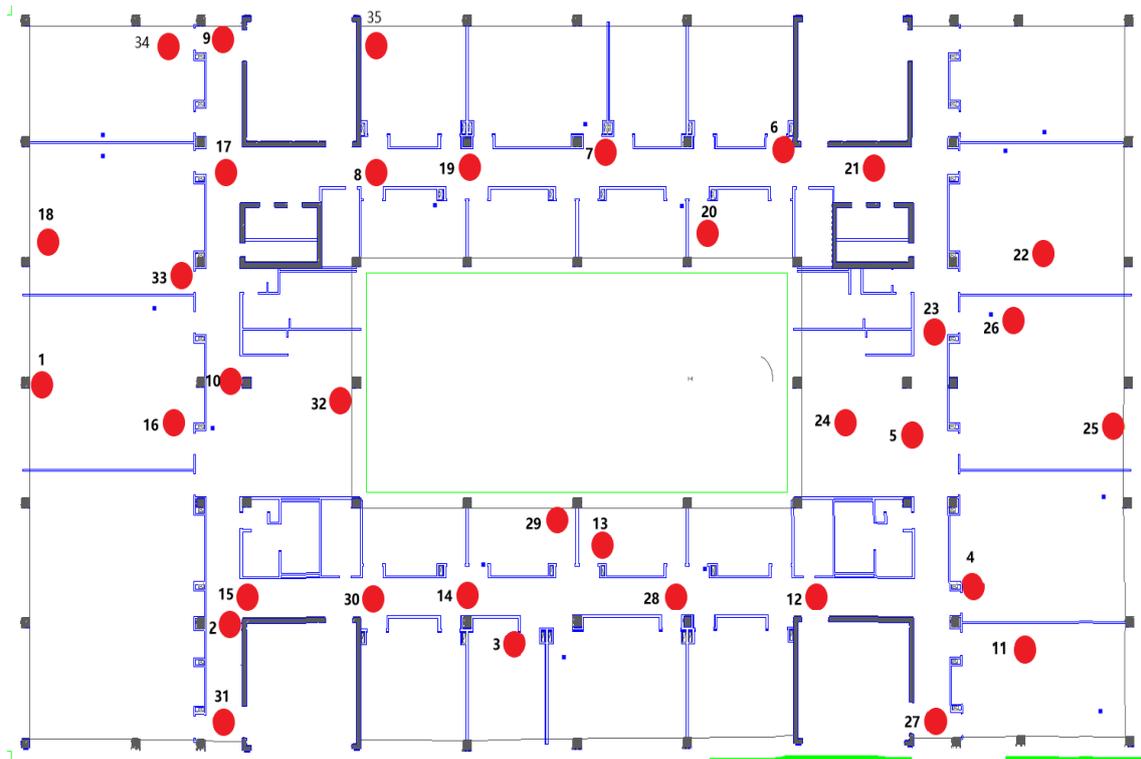


Figure 22: Test - Povo1 - Piano 1

N. Piano	Test ID	POSIZIONE [X]	POSIZIONE [Y]
2	1	66.22	41.55
2	2	71.66	39.61
2	3	72.83	35.22
2	4	71.56	31.10
2	5	72.39	23.89
2	6	72.38	16.22
2	7	72.05	7.56
2	8	67.72	10.05
2	9	58.89	25.55
2	10	67.61	30.44
2	11	63.89	35.78
2	12	65.72	17.31
2	13	57.62	10.25
2	14	46.62	10.10
2	15	41.38	11.16
2	16	37.27	9.16
2	17	29.44	9.14
2	18	25.50	11.12
2	19	22.06	9.55
2	20	16.61	8.56
2	21	14.61	4.50
2	22	14.11	12.42
2	23	15.61	20.11
2	24	17.05	25.22
2	25	14.52	27.56
2	26	17.72	30.33
2	27	15.11	34.83
2	28	14.61	40.35
2	29	69.39	23.77
2	30	3.05	40.94
2	31	25.72	37.61
2	32	40.28	36.54
2	33	51.72	37.33
2	34	74.39	45.67
2	35	74.44	1.78

Table 8: Posizione dei Test Piano 2

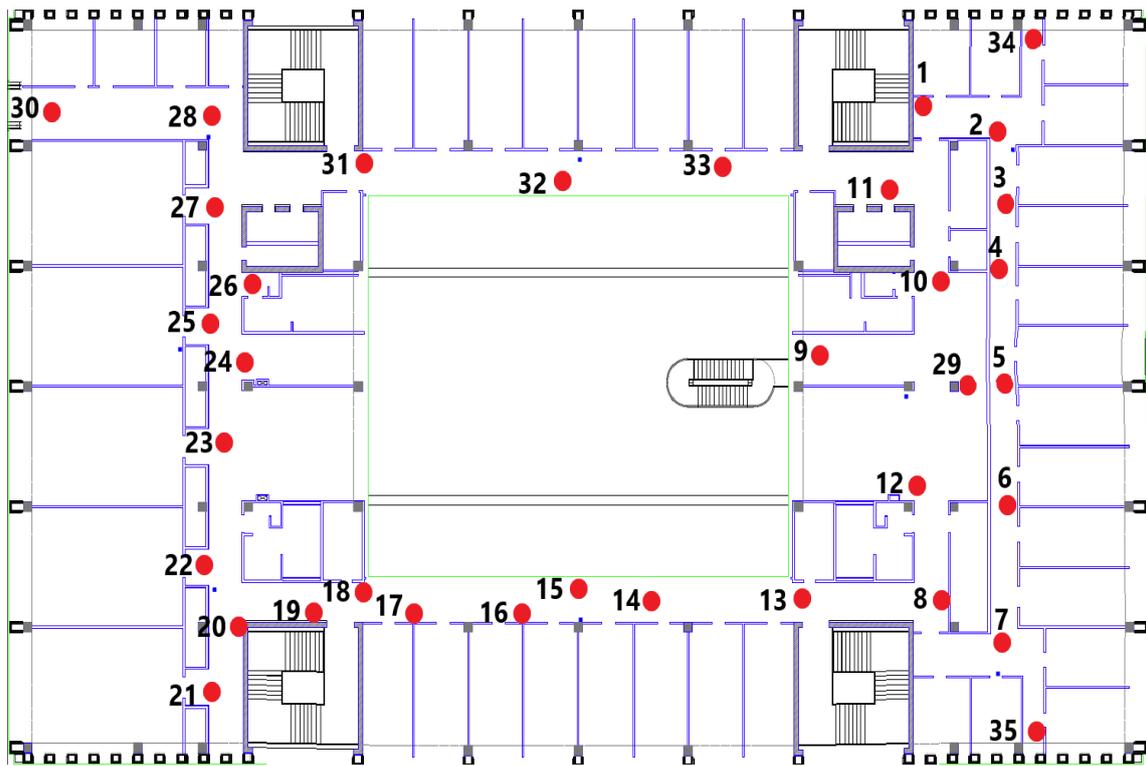


Figure 23: Test - Povo1 - Piano 2

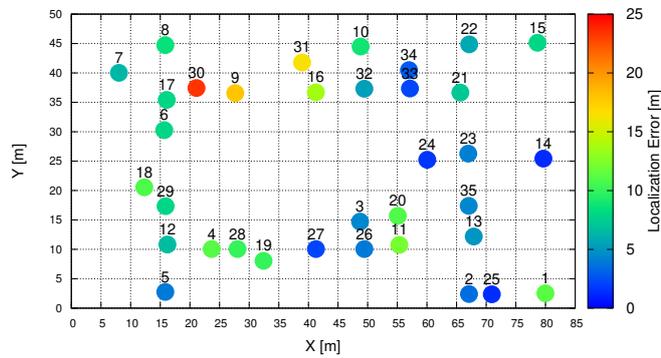
3.3 Simulazioni

Tutte le simulazioni che seguono sono state effettuate a Povo 1. I modelli Cost231 e IndoorMultiWallPL sono stati elaborati senza tenere conto dei muri nella prima osservazione, mentre nella seconda si.

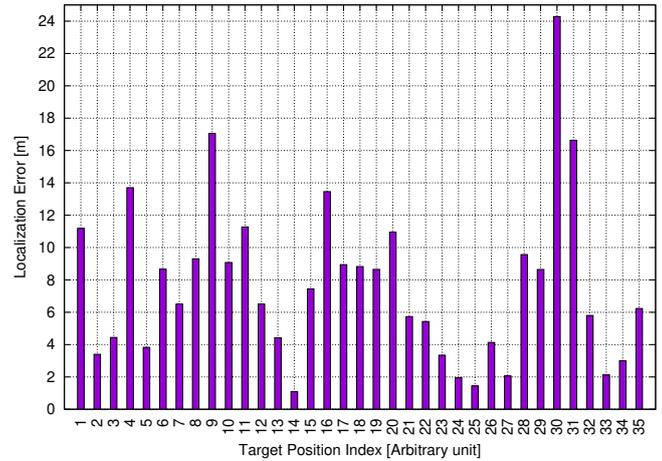
P_0 varia tra -44 e -48 dB e α tra 2.0 e 4.8 se la lettura è nella fascia dei 2 GHz, mentre P_0 varia tra -44 e -49 dB e α tra 1.8 e 3.6 se la lettura è nella fascia dei 5 GHz.

3.3.1 Piano terra senza muri

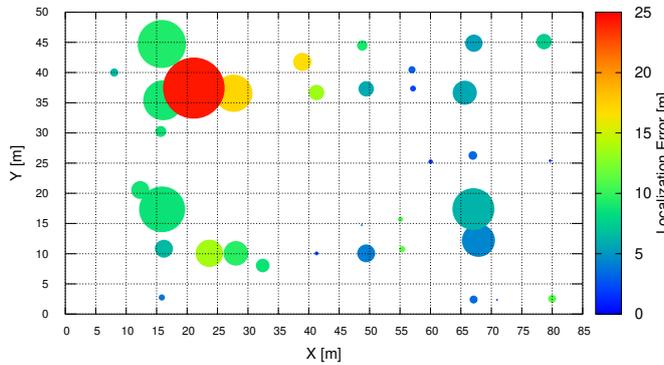
- Metodo COST231



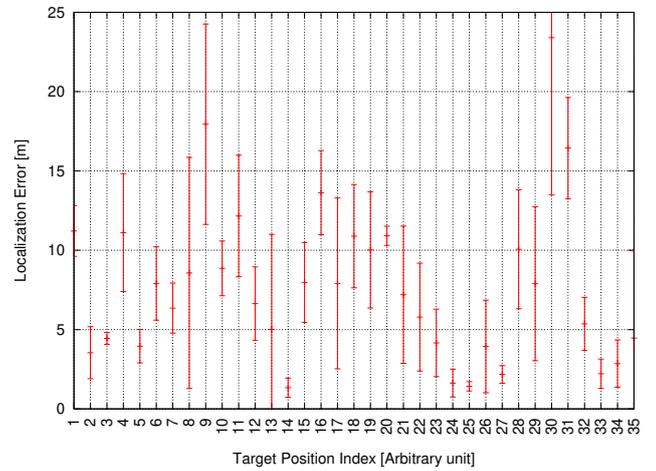
(a) Mapa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



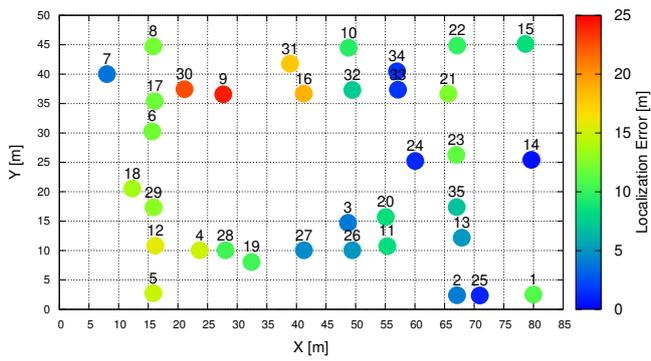
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



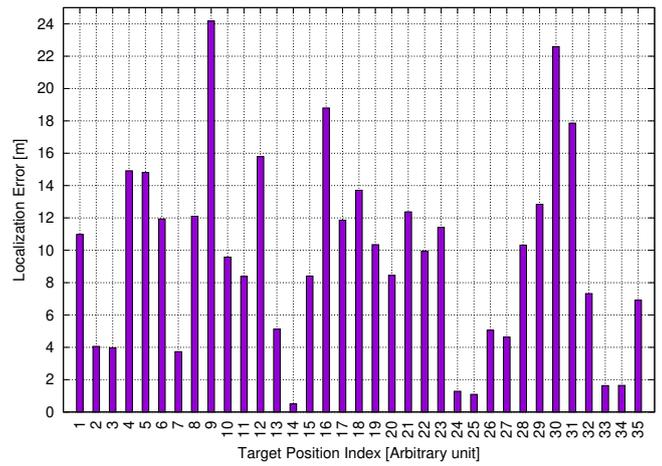
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 24: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione COST231

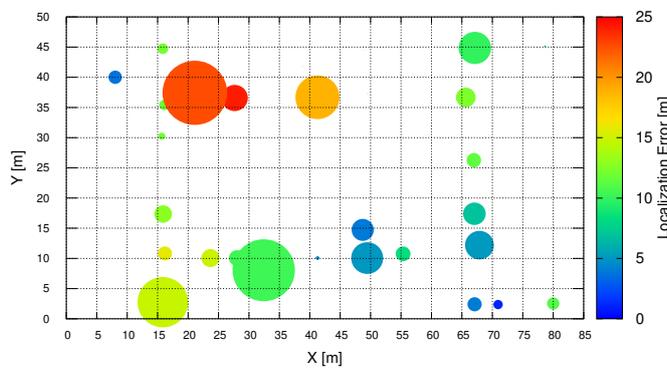
- Metodo ITUModel



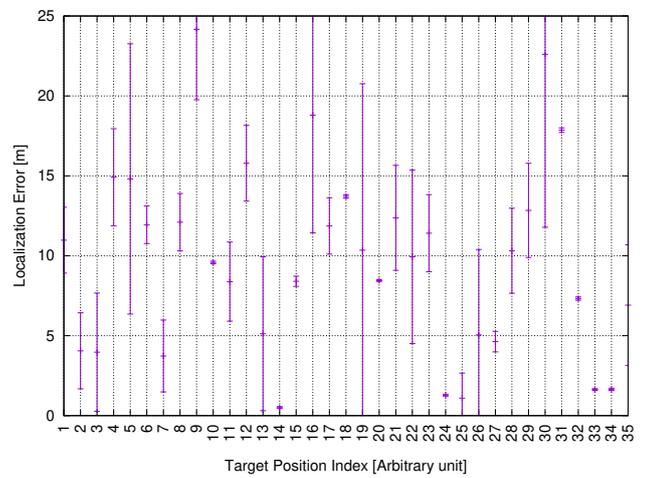
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



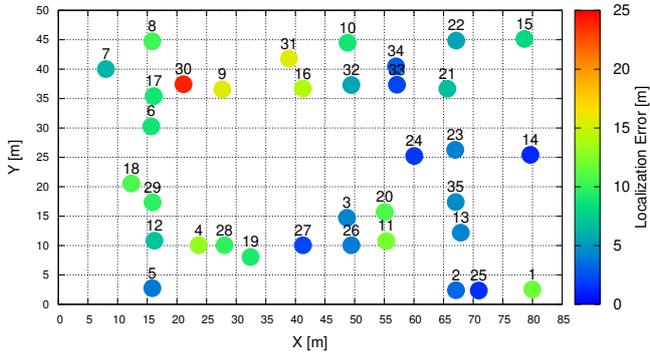
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



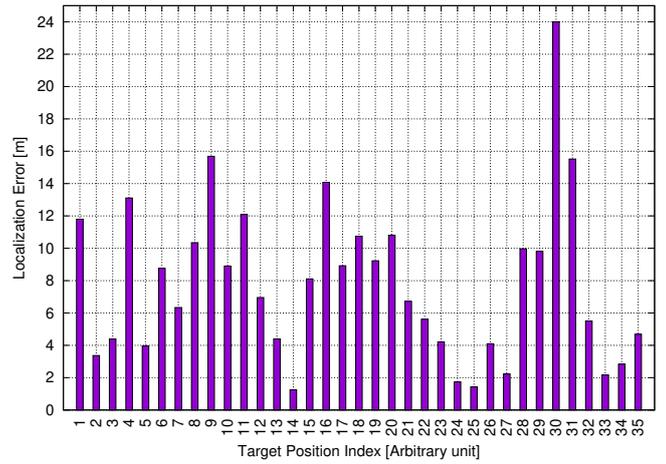
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 25: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione ITUModel

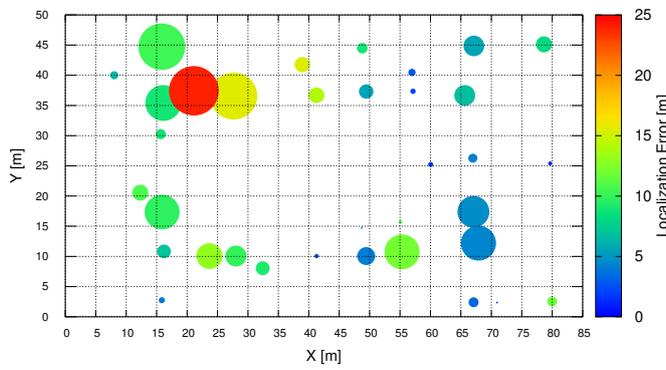
- Metodo IndoorMultiWallPL



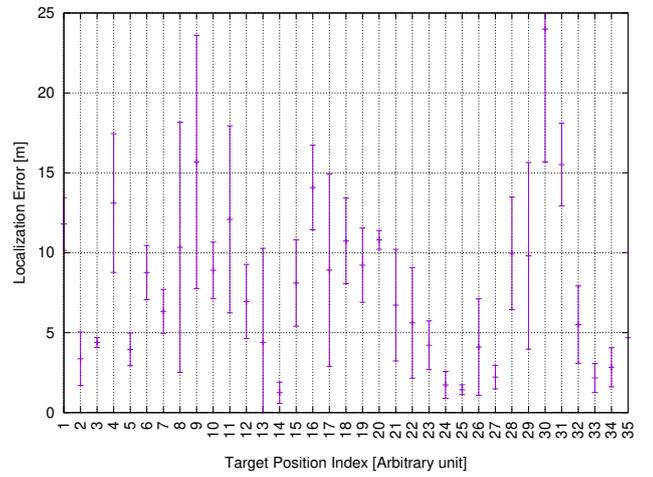
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



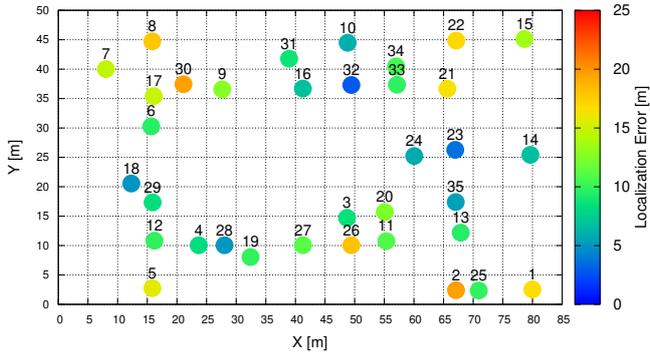
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



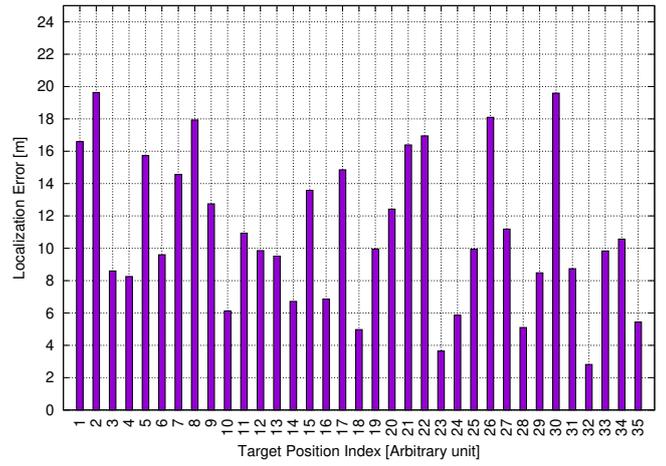
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 26: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

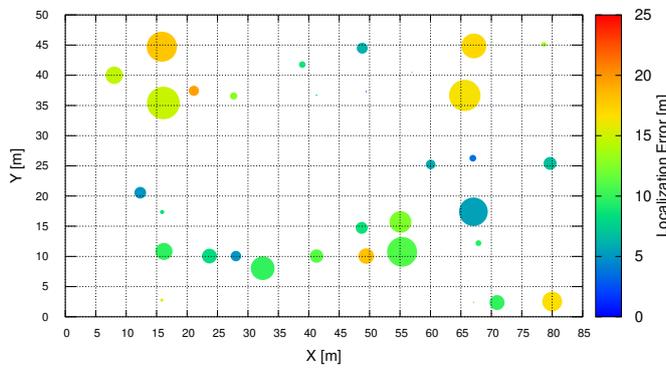
- Metodo PartitionedModel



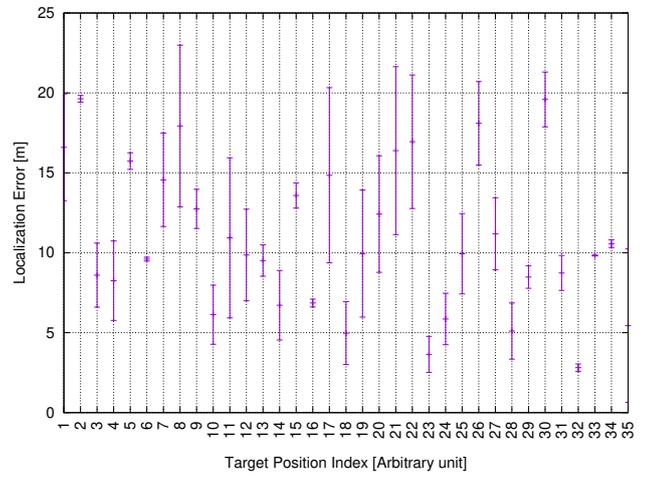
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



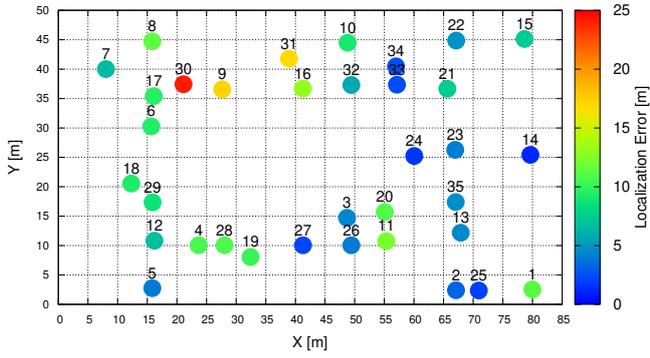
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



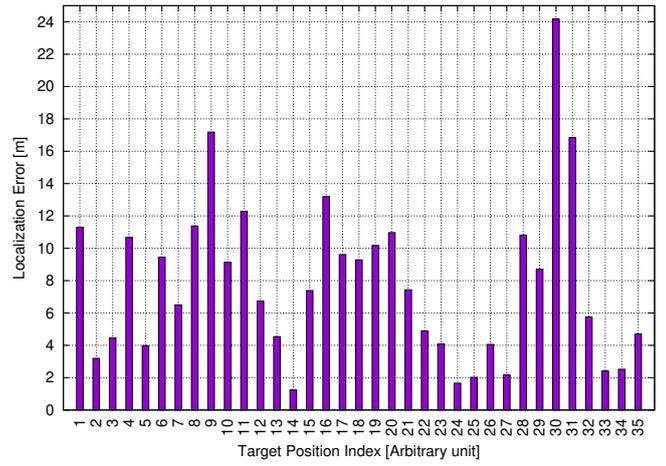
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 27: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione PartitionedModel

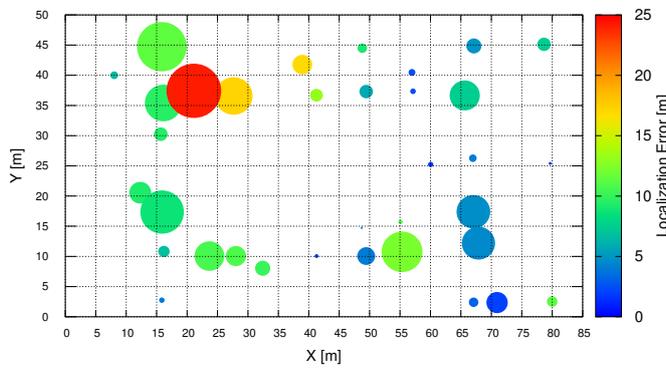
- Metodo PL



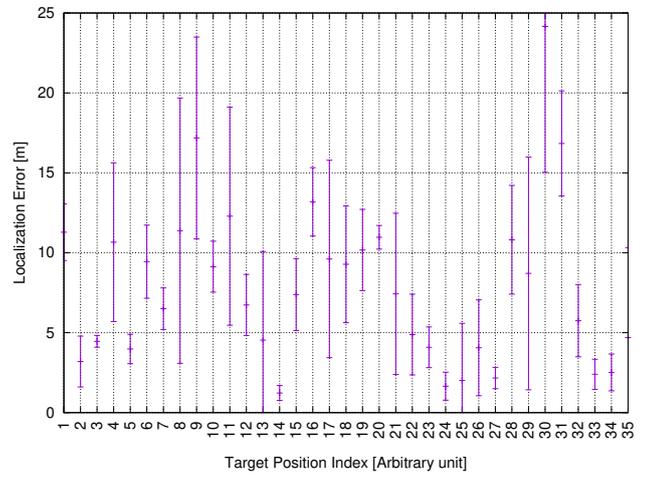
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore

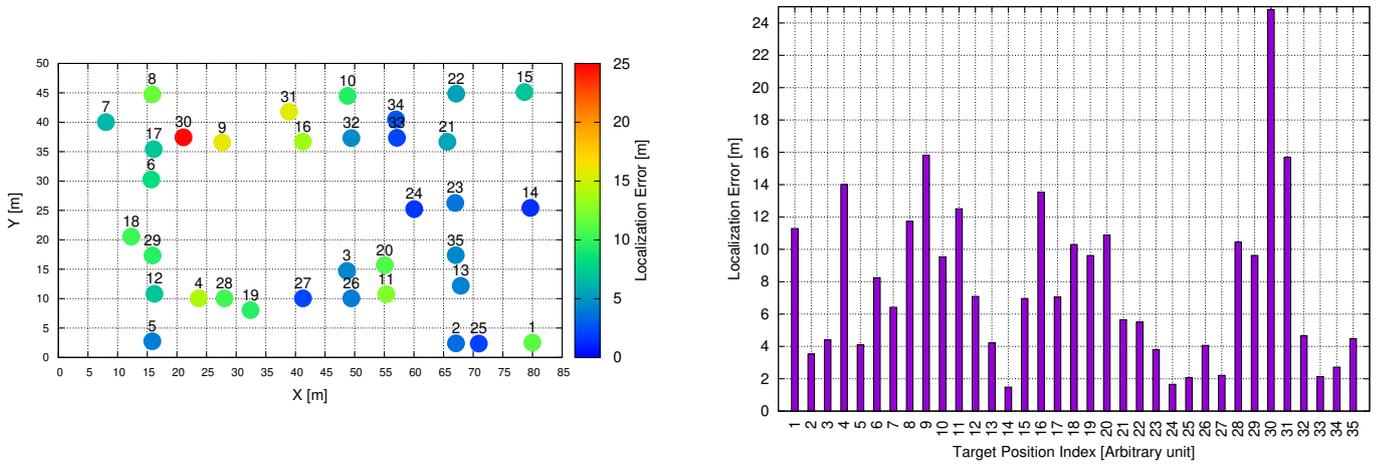


(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 28: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione PL

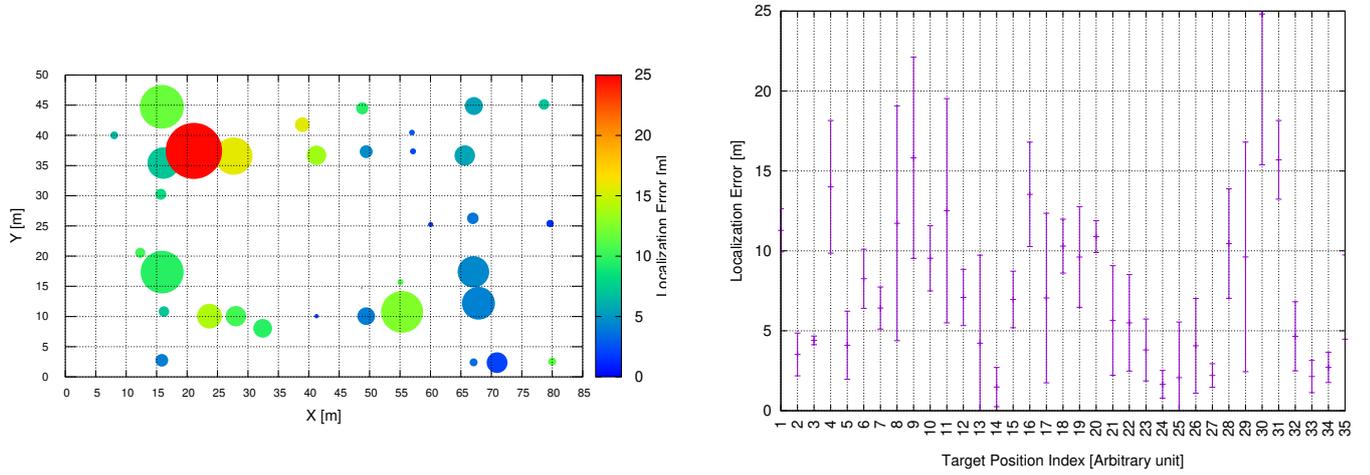
3.3.2 Piano terra con muri

- Metodo COST231



(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione

(b) Istogramma dell'errore medio per posizione

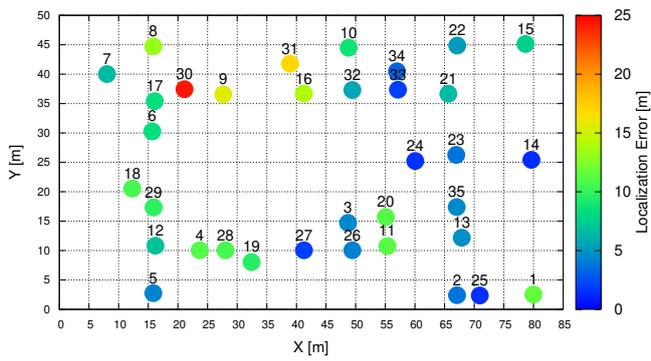


(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore

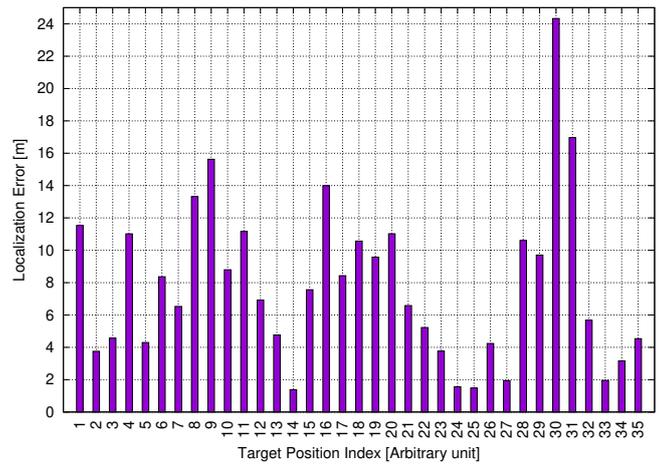
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 29: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

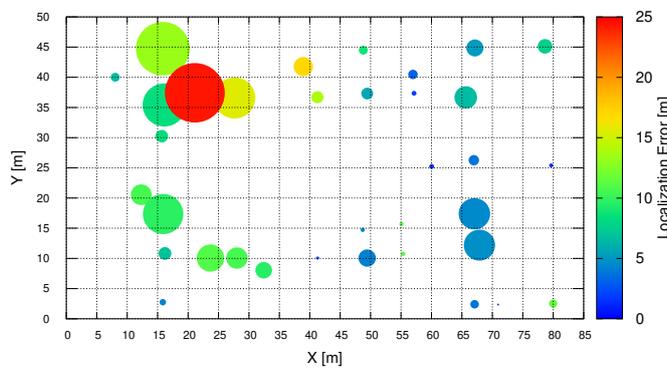
- Metodo IndoorMultiWallPL



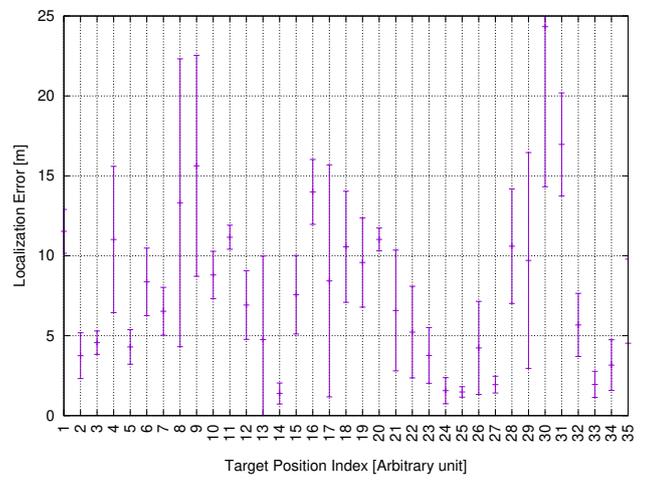
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore

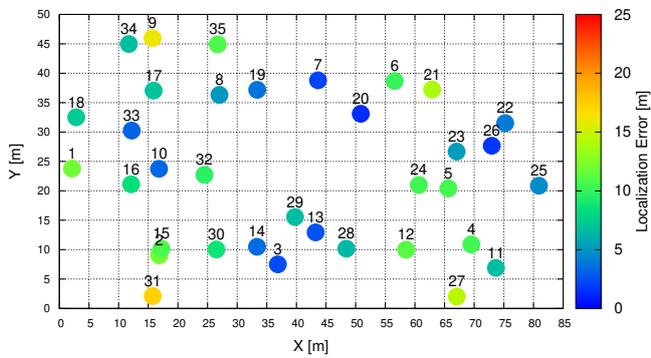


(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

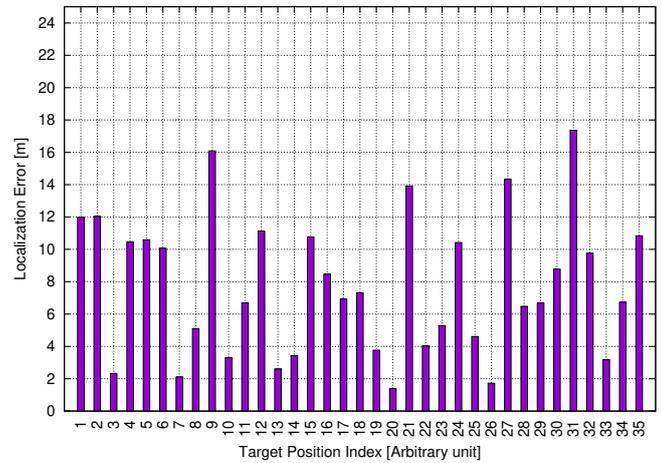
Figure 30: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

3.3.3 Primo piano senza muri

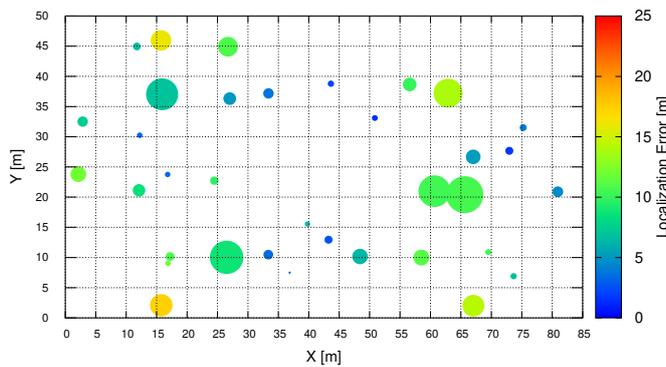
- Metodo COST231



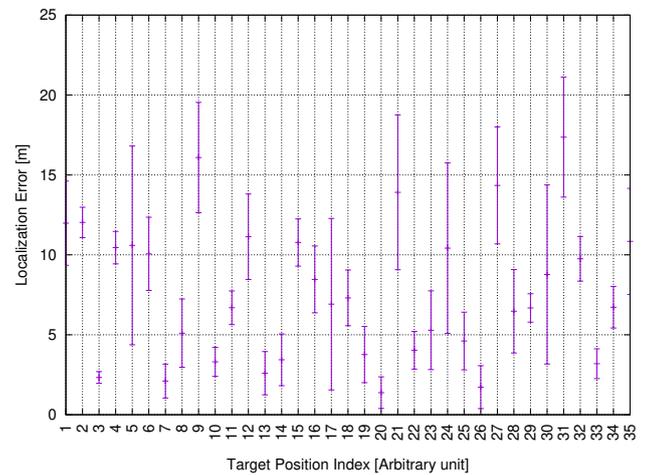
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



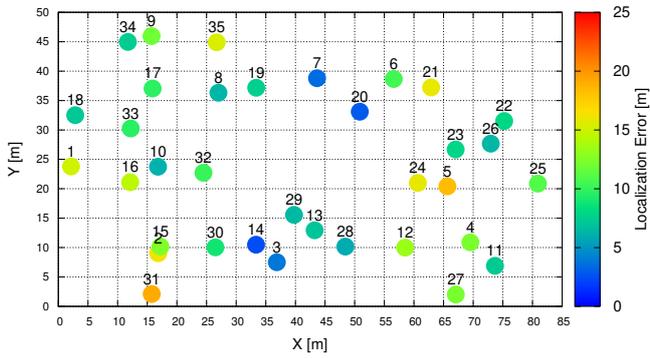
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



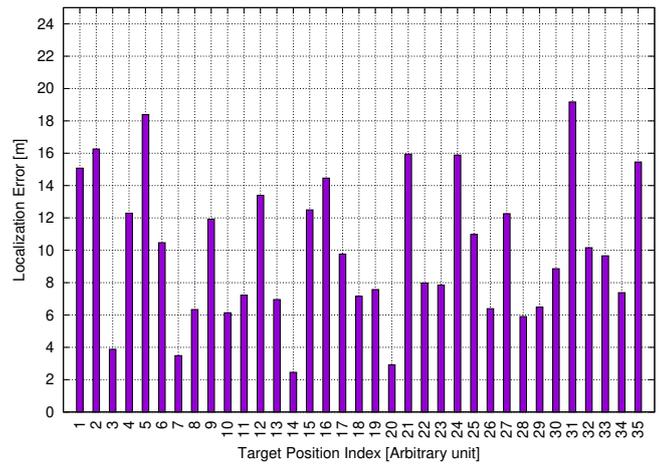
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 31: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione COST231

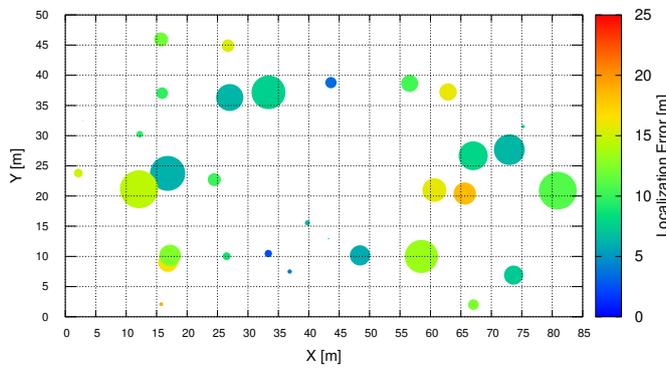
- Metodo ITUModel



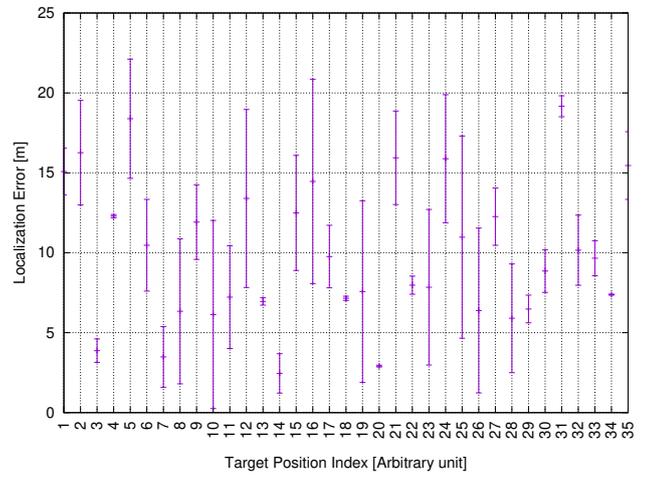
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



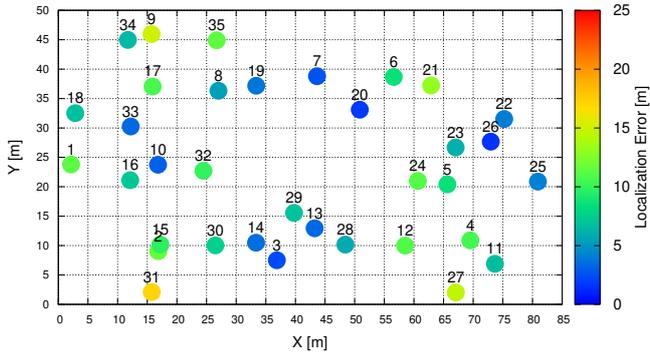
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



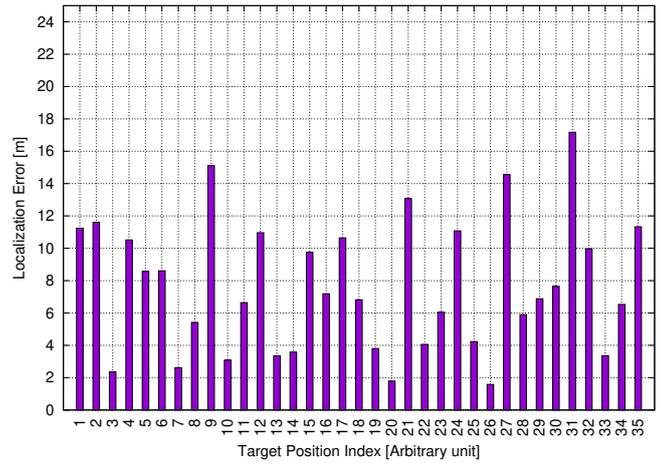
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 32: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione ITUModel

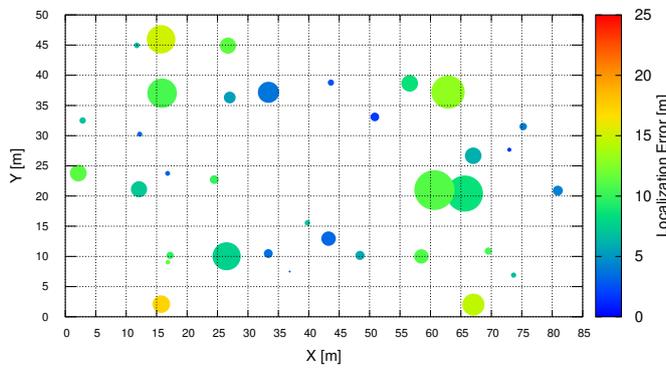
- Metodo IndoorMultiWallPL



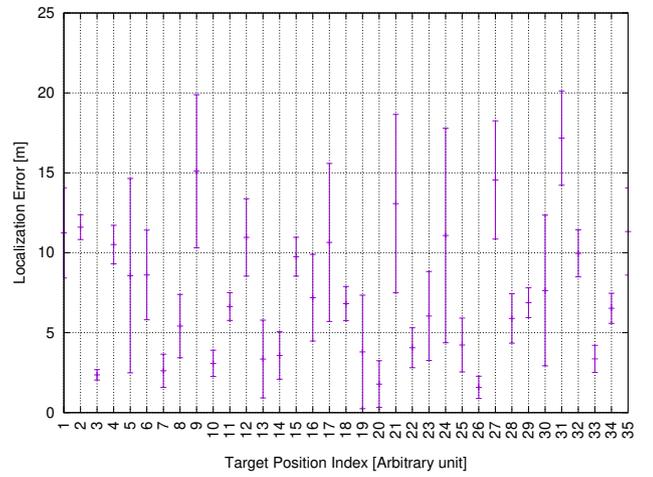
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



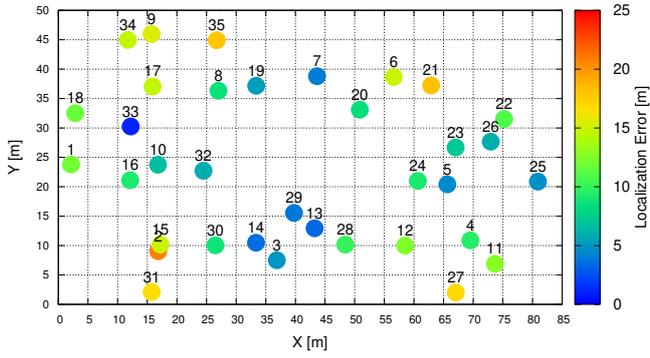
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



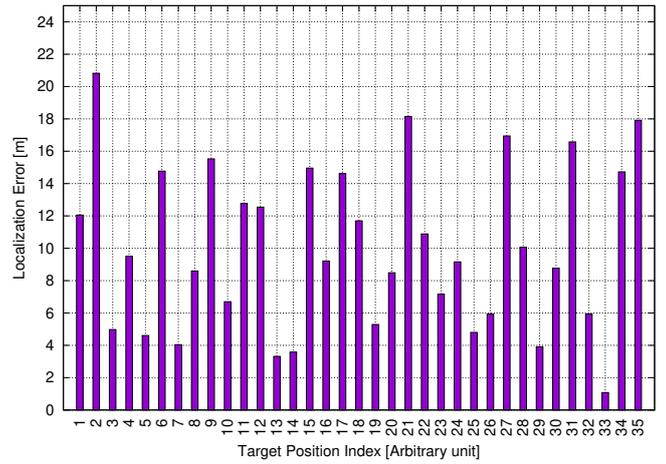
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 33: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

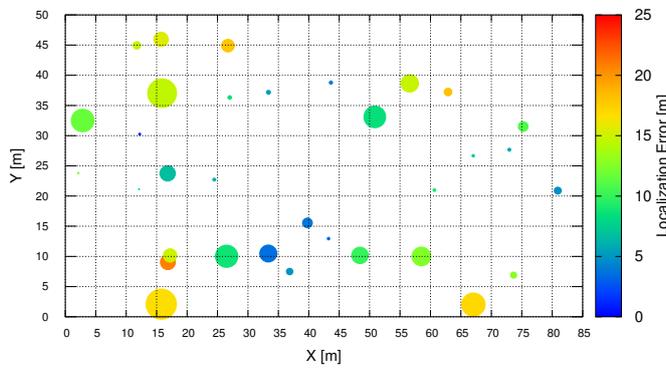
- Metodo PartitionedModel



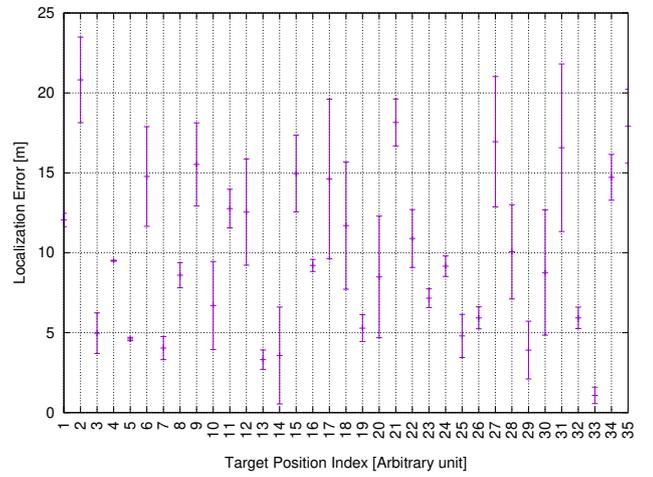
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



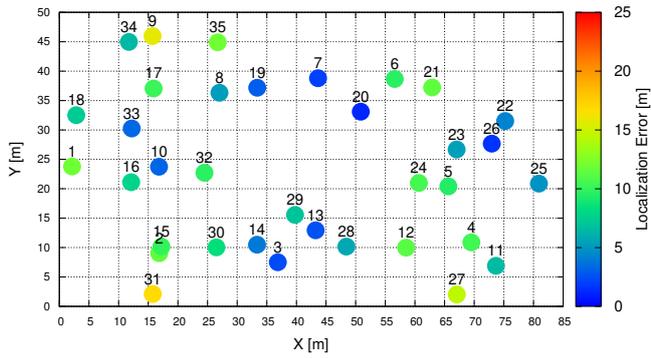
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



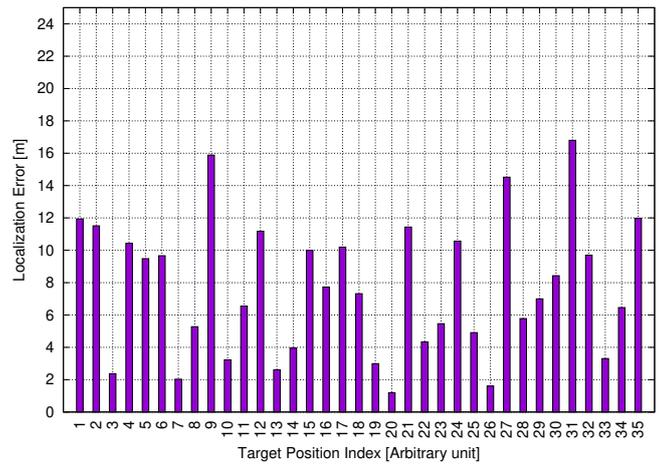
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 34: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione PartitionedModel

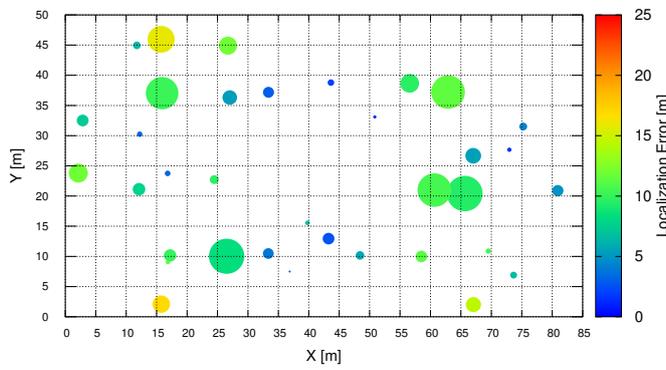
- Metodo PL



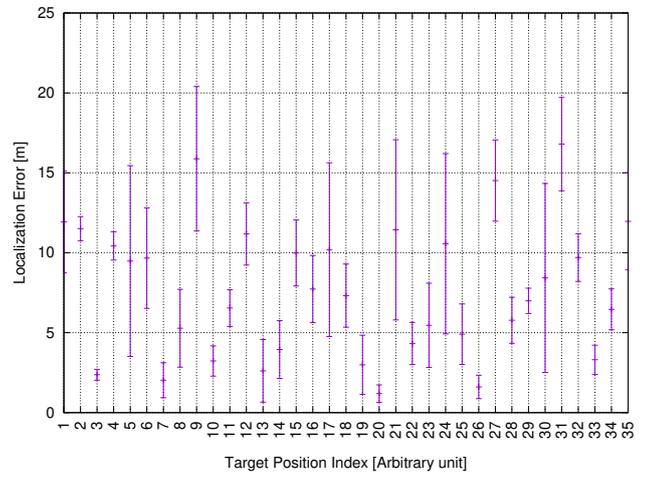
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore

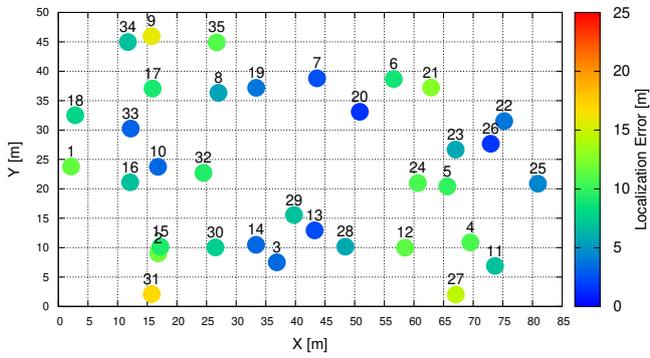


(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

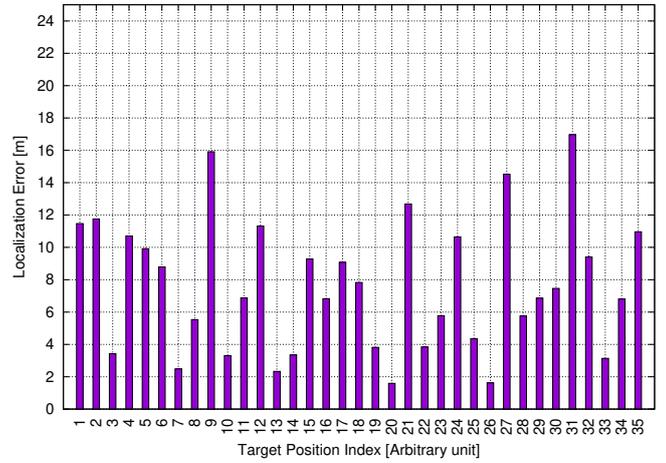
Figure 35: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione PL

3.3.4 Primo piano con muri

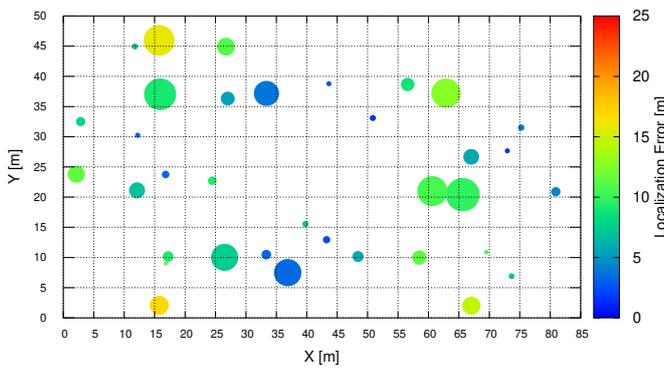
- Metodo COST231



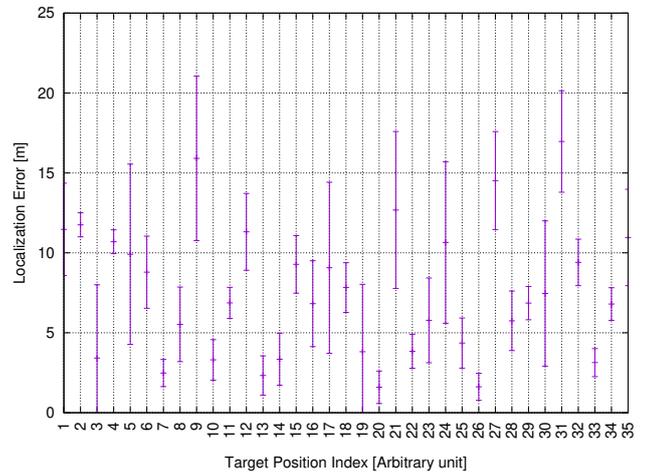
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



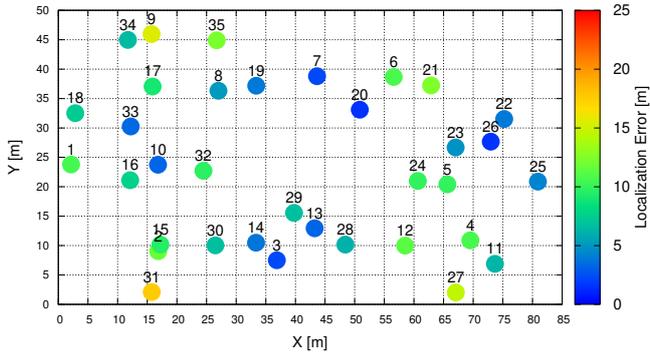
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



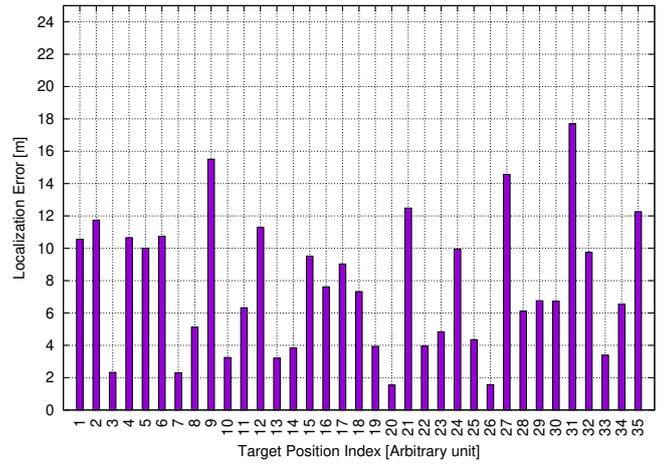
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 36: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

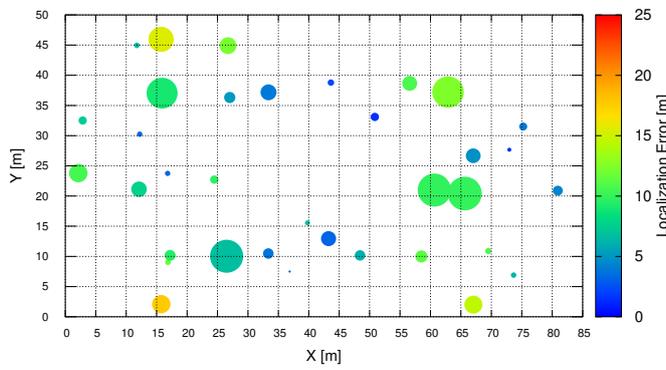
- Metodo IndoorMultiWallPL



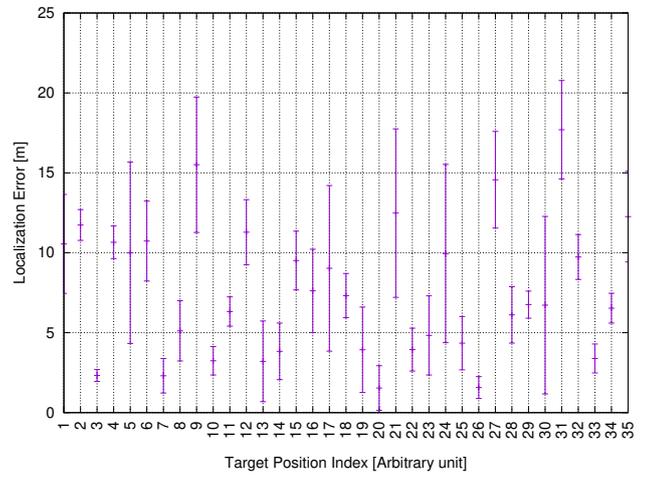
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore

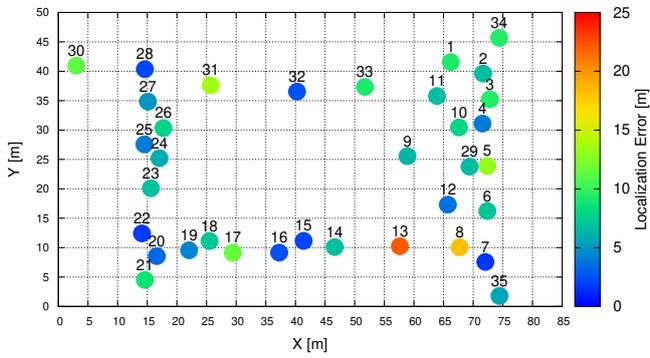


(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

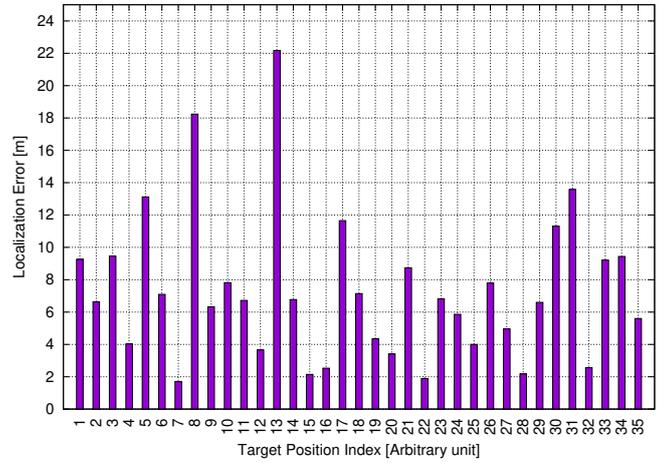
Figure 37: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

3.3.5 Secondo piano senza muri

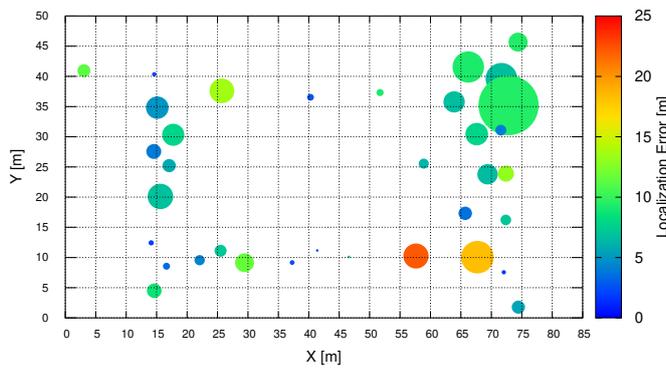
- Metodo COST231



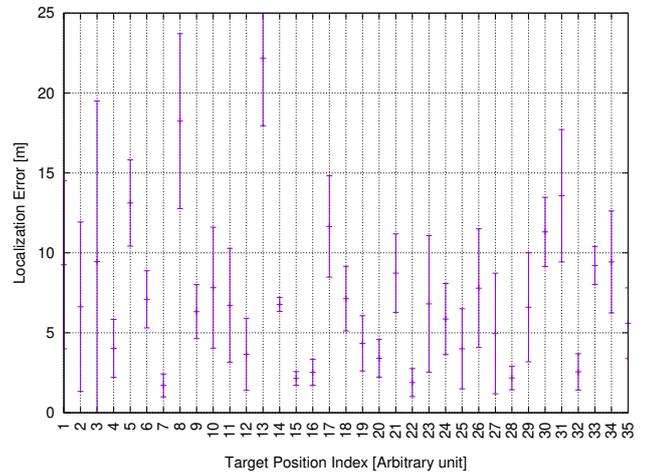
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



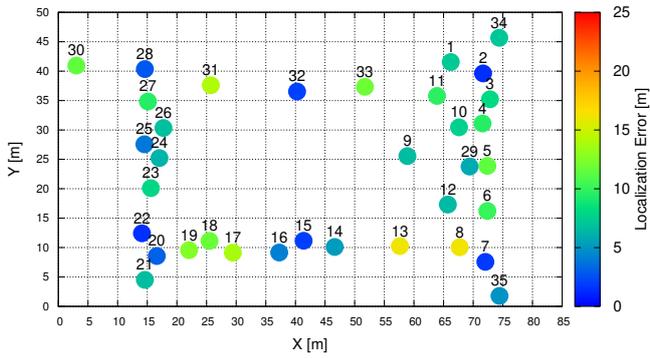
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



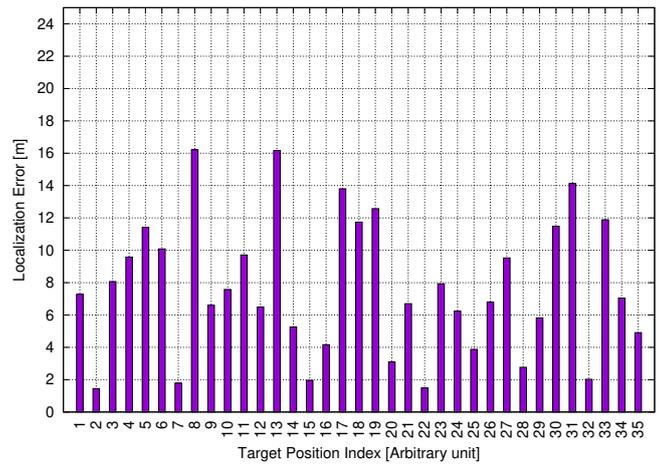
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 38: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione COST231

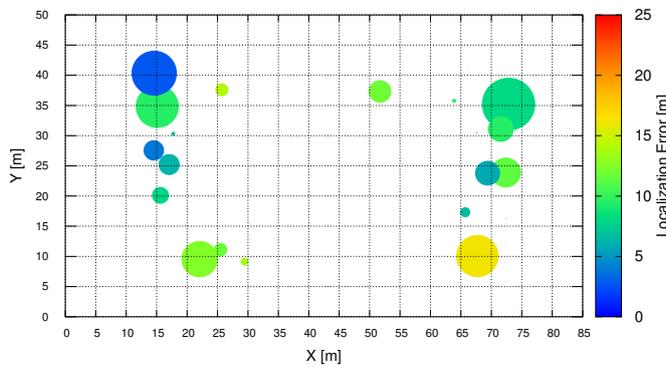
- Metodo ITUModel



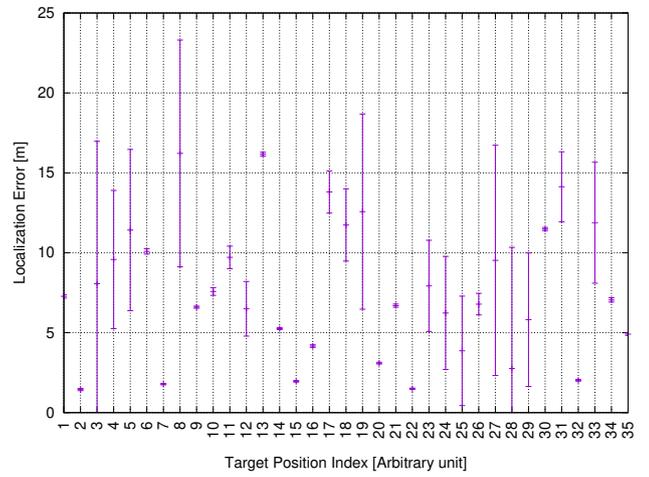
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



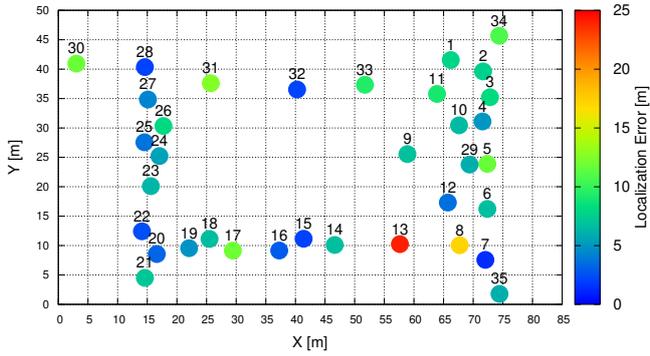
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



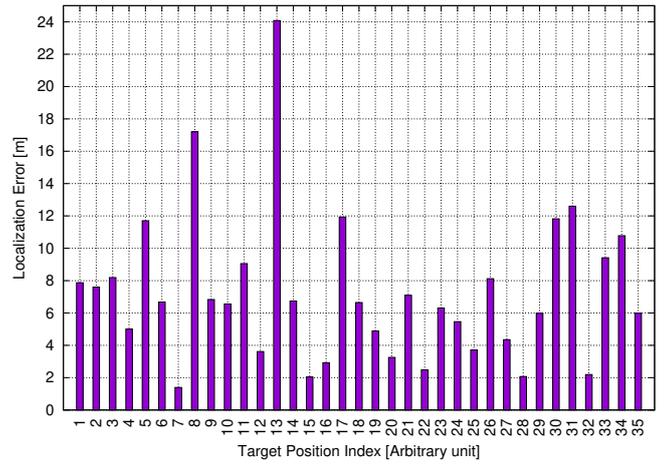
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 39: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione ITUModel

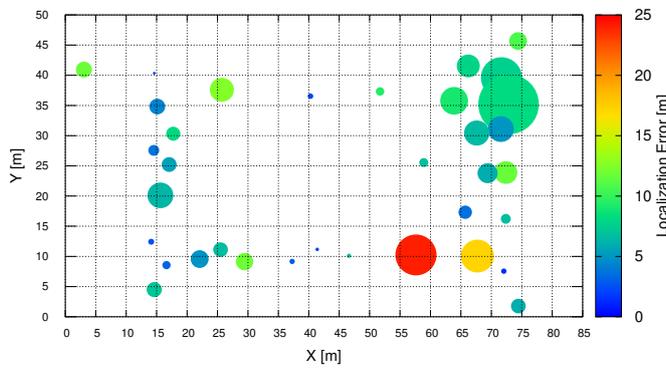
- Metodo IndoorMultiWallPL



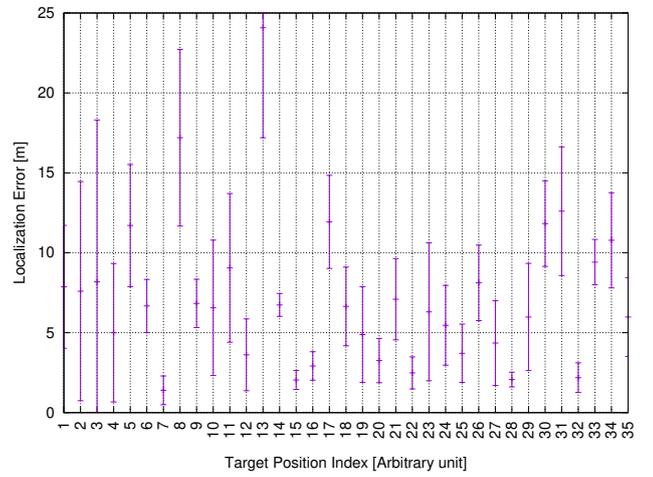
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



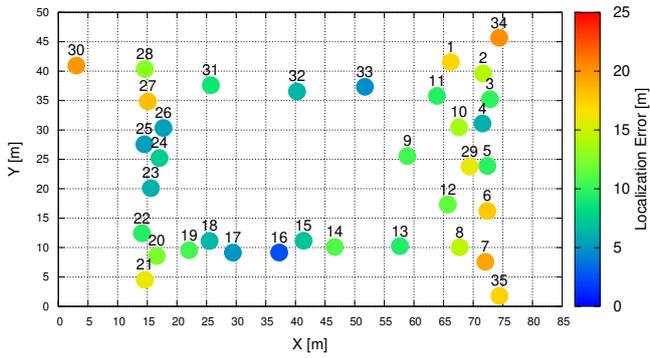
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



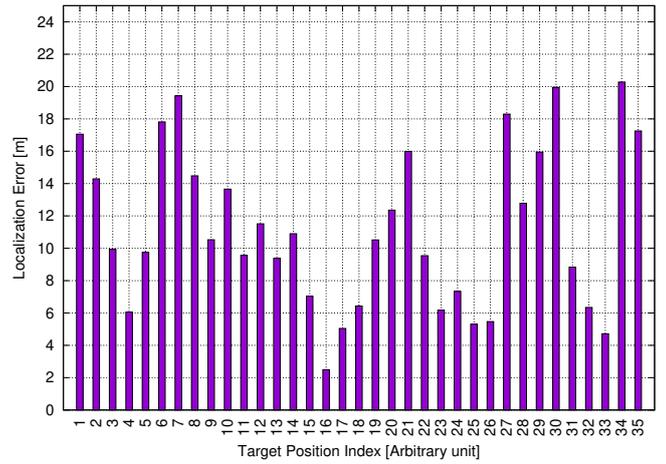
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 40: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

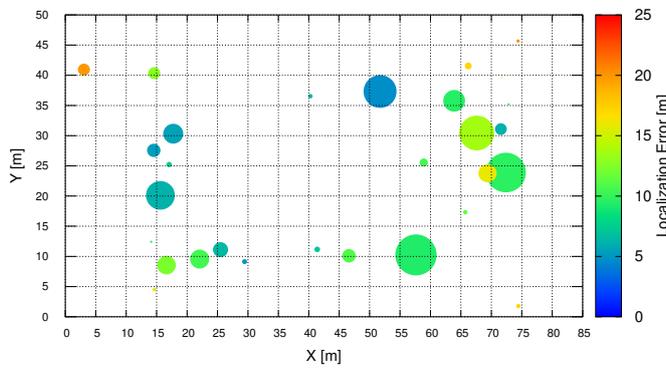
- Metodo PartitionedModel



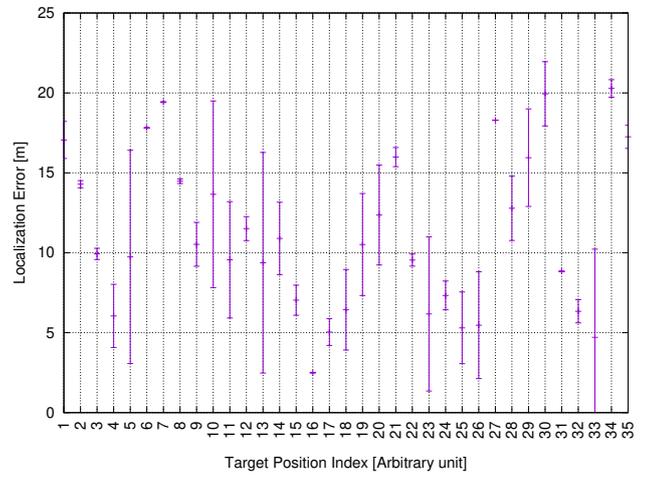
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



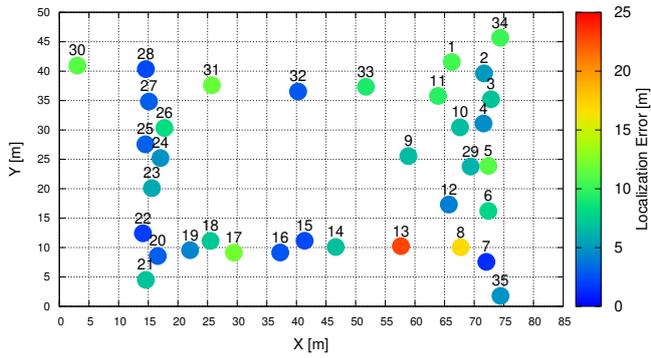
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



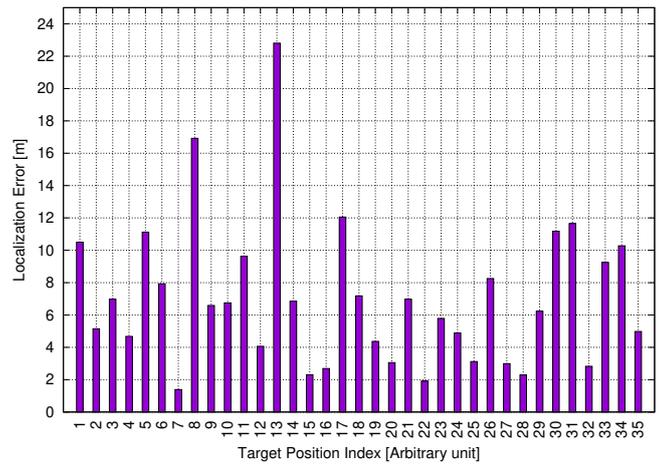
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 41: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione PartitionedModel

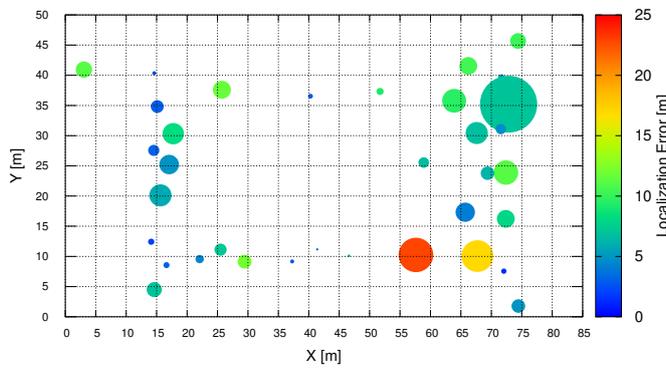
- Metodo PL



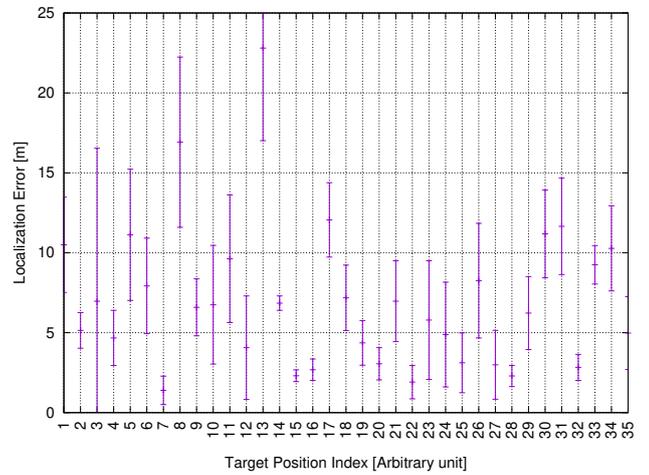
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore

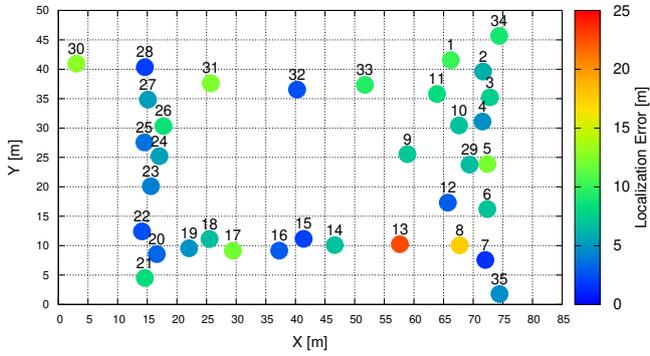


(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

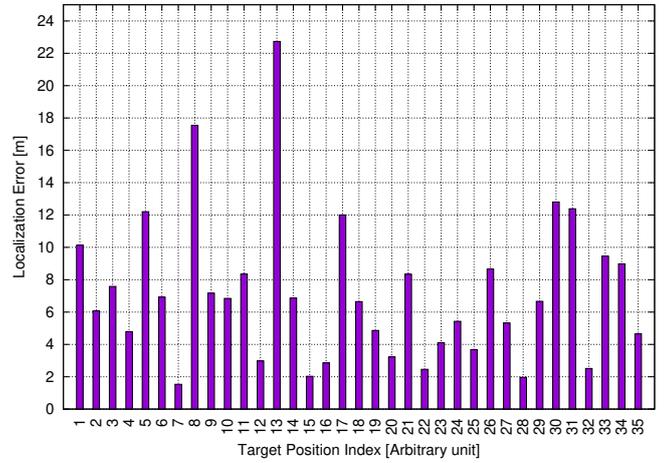
Figure 42: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione PL

3.3.6 Secondo piano con muri

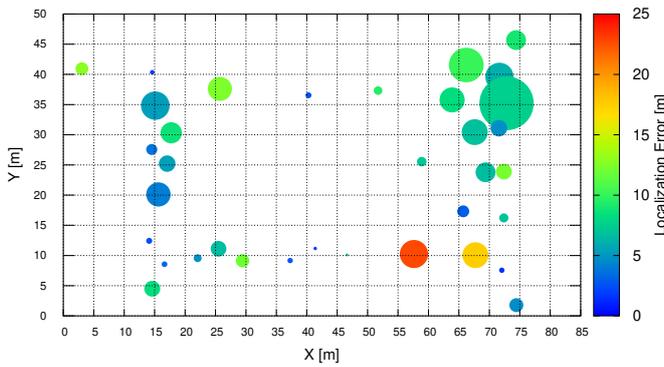
- Metodo COST231



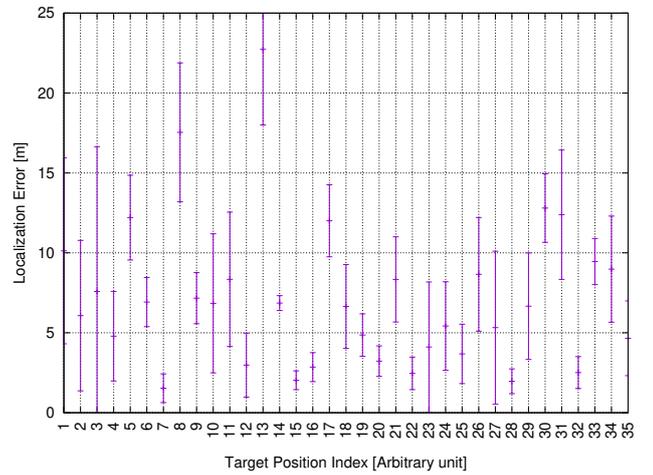
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



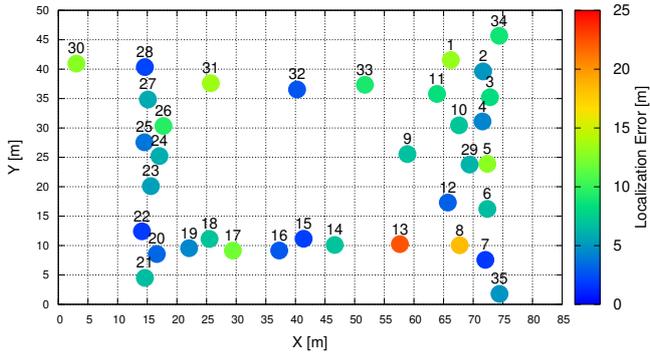
(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore



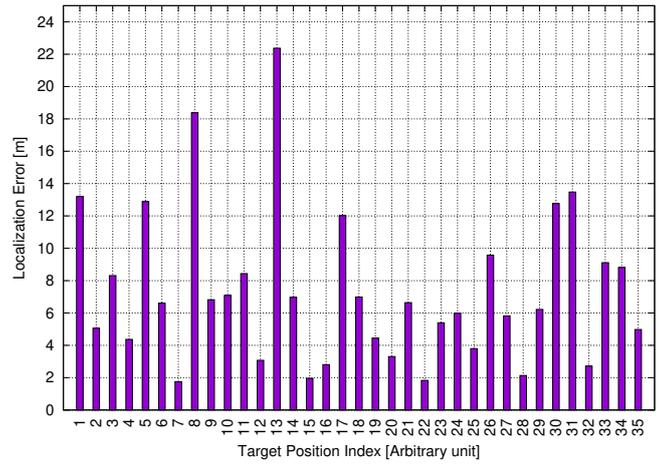
(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

Figure 43: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

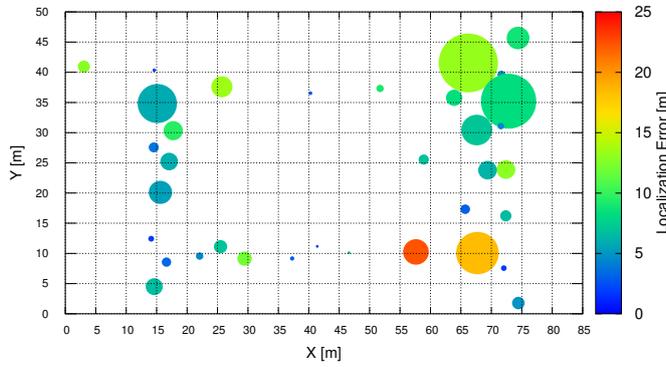
- Metodo IndoorMultiWallPL



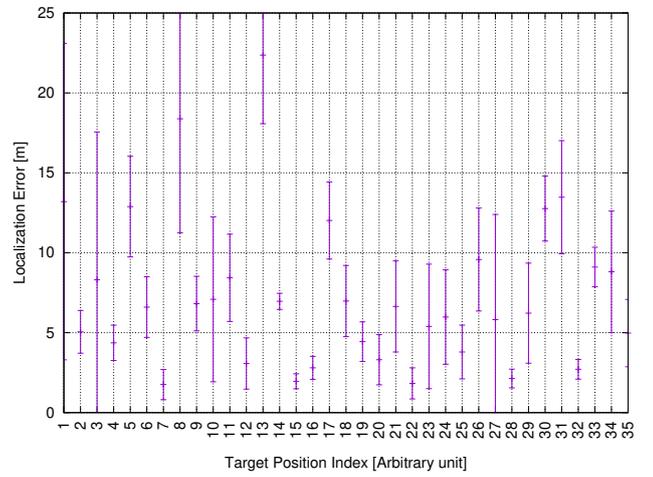
(a) Mappa 2D dell'errore medio per posizione



(b) Istogramma dell'errore medio per posizione



(c) Fig. (a) con raggio proporzionale all'errore

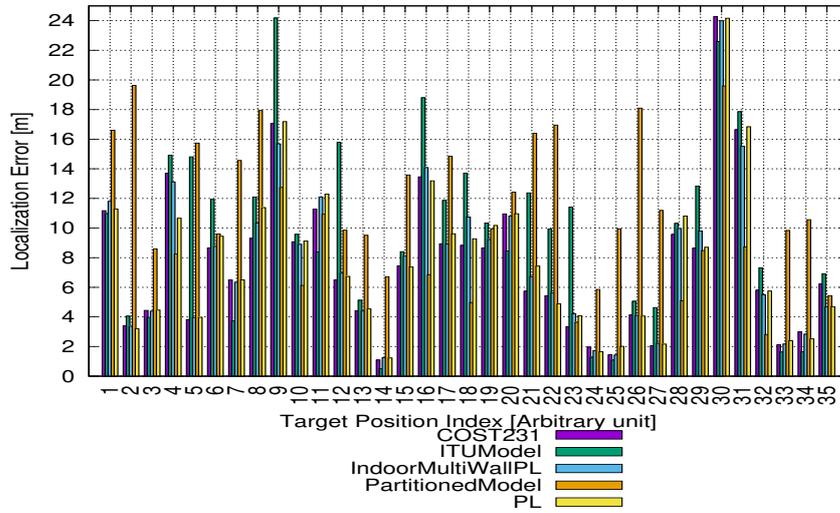


(d) Barre d'errore massimo, minimo e medio, per posizione

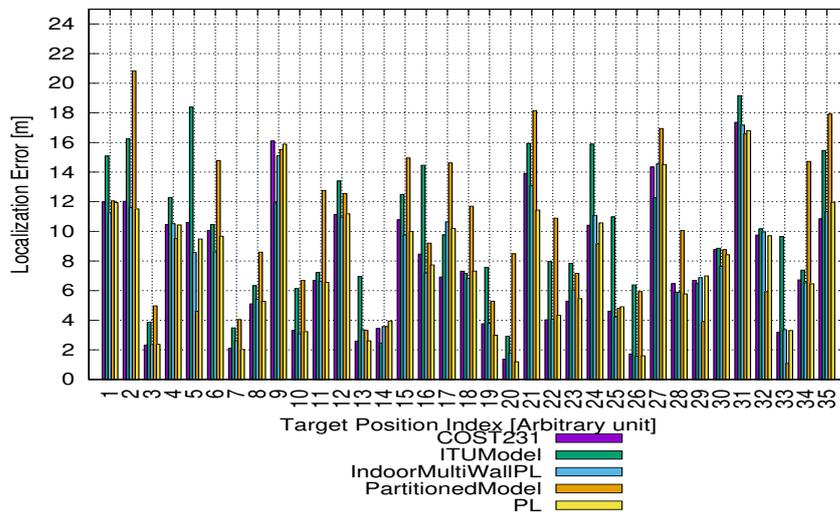
Figure 44: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione IndoorMultiWallPL

3.4 Confronto

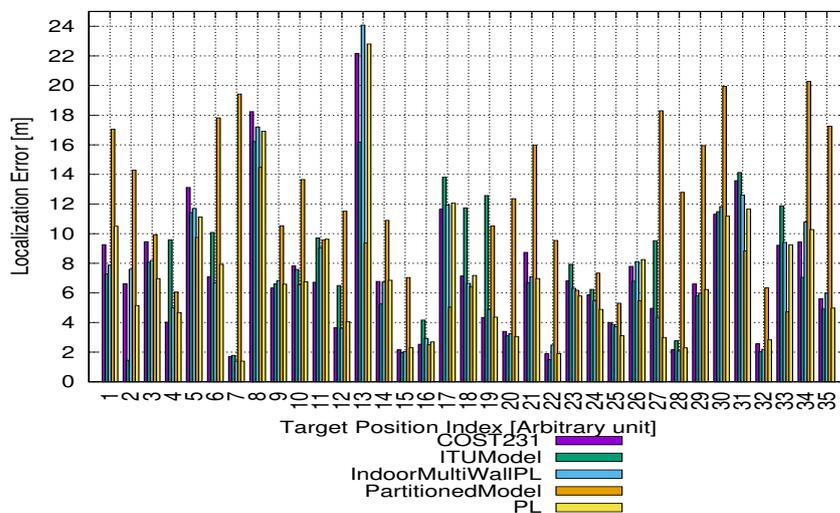
3.4.1 Senza muri



(a) Piano Terra



(b) Primo Piano



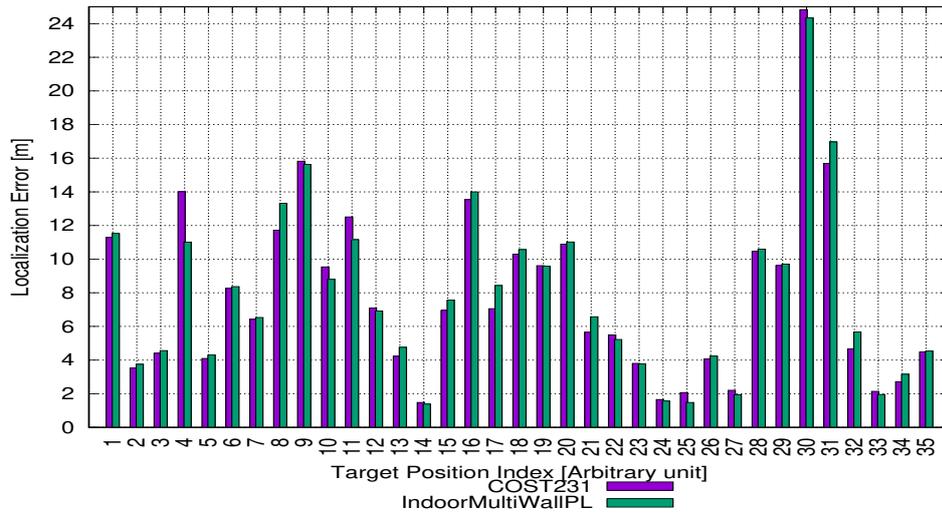
(c) Secondo Piano

Figure 45: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione dei vari modelli

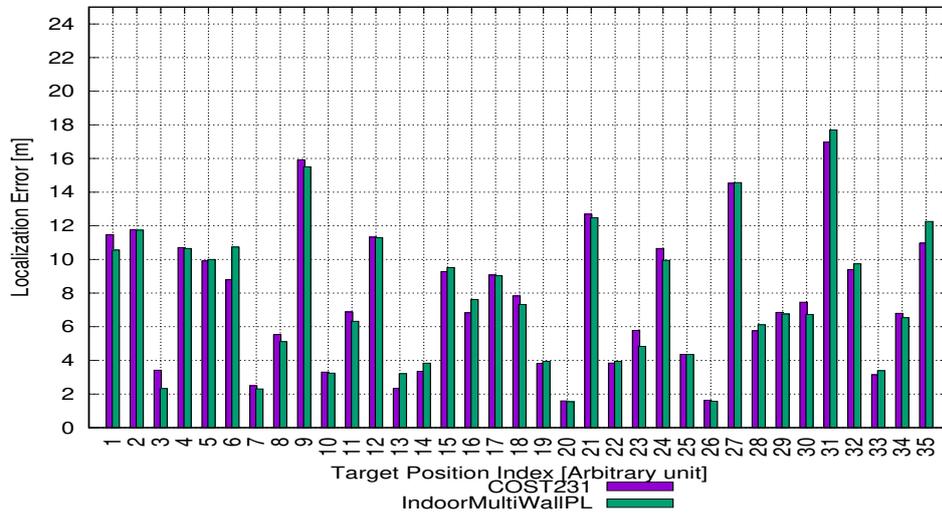
Configurazione	Piano	Errore Medio [m]	Deviazione Standard [m]	Minimo [m]	Massimo [m]
COST231	Terra	7.452	6.317	0.190	33.515
IndoorMultiWallPL	Terra	7.529	6.120	0.066	34.670
ITUModel	Terra	9.295	7.051	0.417	38.516
PartitionedModel	Terra	10.987	5.343	1.921	27.465
PL	Terra	7.610	6.350	0.194	38.230
COST231	Primo	7.715	5.145	0.050	32.370
IndoorMultiWallPL	Primo	7.654	5.087	0.154	34.577
ITUModel	Primo	9.932	5.304	1.663	26.591
PartitionedModel	Primo	10.000	5.675	0.434	27.012
PL	Primo	7.679	5.064	0.256	27.179
COST231	Secondo	7.323	5.554	0.126	34.254
IndoorMultiWallPL	Secondo	7.313	5.816	0.138	38.507
ITUModel	Secondo	7.649	5.258	0.657	29.413
PartitionedModel	Secondo	10.913	5.662	0.644	23.827
PL	Secondo	7.057	5.441	0.070	39.612

Table 9: Dati statistici calcolati durante le simulazioni

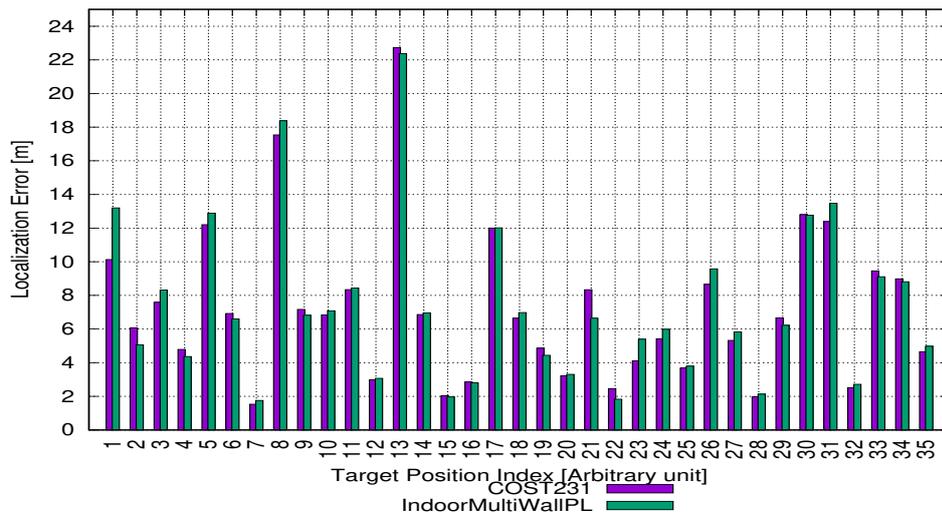
3.4.2 Con muri



(a) Piano Terra



(b) Primo Piano



(c) Secondo Piano

Figure 46: Grafici di quantizzazione dell'errore di localizzazione dei vari modelli

Configurazione	Piano	Errore Medio [m]	Deviazione Standard [m]	Minimo [m]	Massimo [m]
COST231	Terra	7.508	6.264	0.170	39.477
IndoorMultiWallPL	Terra	7.589	6.302	0.025	37.117
COST231	Primo	7.613	5.036	0.195	29.104
IndoorMultiWallPL	Primo	7.635	5.090	0.110	30.049
COST231	Secondo	7.191	5.554	0.176	38.301
IndoorMultiWallPL	Secondo	7.307	5.738	0.139	37.279

Table 10: Dati statistici calcolati durante le simulazioni

3.5 Conclusioni

Per poter avere una classifica che aiuti nella scelta e nella valutazione finale dei vari metodi, ho deciso di assegnare un determinato punteggio ad ogni singolo modello per ogni paramentro in ogni piano equivalente alla posizione che ricopre in una lista ordinata in modo crescente (minore è meglio).

3.5.1 Senza muri

Piano terra		Primo piano		Secondo piano	
Modello	Punteggio	Modello	Punteggio	Modello	Punteggio
COST231	8	PL	9	PL	9
IndoorMultiWallPL	8	IndoorMultiWallPL	10	COST231	11
PartitionedModel	12	COST231	11	ITUModel	12
PL	14	ITUModel	14	IndoorMultiWallPL	14
ITUModel	15	PartitionedModel	16	PartitionedModel	14

Table 11: “Classifica” dei modelli in assenza dei muri

Come è possibile notare dalle tabelle precedenti i migliori modelli secondo le nostre osservazioni sono:

- COST231 o IndoorMultiWallPL nel piano terra
- PL per gli altri due piani.

3.5.2 Con muri

Piano terra		Primo piano		Secondo piano	
Modello	Punteggio	Modello	Punteggio	Modello	Punteggio
COST231	6	COST231	5	IndoorMultiWallPL	6
IndoorMultiWallPL	6	IndoorMultiWallPL	7	COST231	6

Table 12: “Classifica” dei modelli in presenza dei muri

Dalle osservazioni effettuate si denota che non vi sono differenze sostanziali tra i due metodi e quindi possono essere ritenuti intercambiabili tra loro nelle varie situazioni osservate.

References

- [1] V. Degli-Esposti, G. Falciasecca, F. Fuschini and E. M. Vitucci, in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 872-875, 2013.
- [2] L. Li, Y. Ibdah, Y. Ding, H. Eghbali, S. H. Muhaidat and X. Ma, *MILCOM 2013 - 2013 IEEE Military Communications Conference*, San Diego, CA, 2013.
- [3] X. Zhao, S. Geng and B. M. Coulibaly, in *IEEE Antennas and Propagati Magazine*, vol. 55, no. 3, pp. 217-223, 2013.
- [4] Semantic wireless localization of WiFi terminals in smart buildings, H. Ahmadi, A. Polo, T. Moriyama, M. Salucci, and F. Viani