

MODELLI DI PROPAGAZIONE OUTDOOR-INDOOR

Prof. G. A. Casula

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, University of Cagliari, Cagliari, Italy

Lo scopo della discussione è effettuare uno studio ed un confronto tra alcuni modelli di previsione dell'attenuazione empirici per l'attenuazione outdoor-indoor, che forniscono un mezzo per calcolare, durante il processo di cell-planning, il valore totale dell'attenuazione quando l'antenna trasmittente è posizionata all'esterno di un edificio ed il ricevitore è all'interno.

Questi modelli, in genere, prendono come input, per il calcolo dell'attenuazione subita dal segnale:

- parametri utilizzati anche nei modelli specificamente outdoor, come la distanza tra trasmettitore e ricevitore e la frequenza del segnale;
- parametri che servono a caratterizzare, nel caso particolare, la propagazione verso l'interno degli edifici, come ad esempio l'angolo di incidenza esterno e/o interno, il materiale che costituisce i muri esterni, il numero di muri interni attraversati dal segnale, il numero di aperture presenti sul muro perimetrale, il piano a cui si trova il ricevitore, l'area della stanza considerata.

Si valuteranno le diverse procedure seguite per ricavare ogni modello e le conseguenti differenze negli andamenti previsti.

Inoltre sarà interessante valutarne le caratteristiche comuni; in particolare, si vuole indagare il grado di comparabilità dei risultati ottenuti applicando alcuni dei modelli presenti in letteratura ad un'identica situazione, per valutare se essi possano ritenersi più o meno interscambiabili.

Ovviamente, i modelli analizzati per effettuare questo tipo di valutazione sono stati scelti tra quelli adatti per la tipologia di ambiente in esame.

La scelta di effettuare questo tipo di studio nasce dal fatto che esiste una vasta gamma di modelli per la previsione dell'attenuazione outdoor-indoor, i quali sono spesso ottimizzati per situazioni molto specifiche, in cui si conosce dettagliatamente la configurazione degli edifici sotto esame.

In genere questi modelli di previsione nascono da una campagna di misura in una situazione ben conosciuta e, sebbene siano stati ricavati per essere adatti ad una tipologia generica di ambiente (che quindi ha caratteristiche molto generali), in realtà non sempre ben si adattano ad ambienti diversi da quello oggetto della campagna di misura, seppur della stessa tipologia.

Il problema nasce quando si cerca di ottenere risultati validi anche in situazioni non del tutto analoghe a quelle da cui sono stati ricavati i diversi modelli, e per le quali il livello di dettaglio sulla configurazione degli edifici non è altrettanto preciso.

Le domande che ci poniamo sono quindi: quanto i modelli ottenuti da diversi studi siano in realtà applicabili a situazioni diverse; se tali modelli riescano ad essere adattati per fare previsioni di attenuazione in caso di configurazioni e materiali molto diversi; se, a parità di situazione sotto esame, utilizzando modelli diversi, si ottengano gli stessi risultati di previsione.

Almeno in teoria ci si aspetterebbe che, fissata la configurazione degli edifici sotto esame, e determinati i parametri dipendenti dai materiali che li costituiscono, i risultati di previsione ottenuti con modelli diversi abbiano un andamento abbastanza simile.

Il problema della propagazione outdoor-indoor è fortemente influenzato da questo genere di considerazioni in quanto, quando si va a progettare una rete che copra un certo ambiente, si deve essere certi di fare previsioni corrette, che permettano di ottenere una buona ricezione, sia all'esterno che all'interno degli edifici, su tutto l'ambiente considerato.

In aggiunta a questa necessità, si devono poi fare altre considerazioni di ordine prettamente pratico: il modello deve essere semplice, e la sua applicazione deve risultare facile e veloce; i risultati devono inoltre essere chiari e precisi e aderenti alla realtà.

Ovviamente l'ideale sarebbe poter condurre una campagna di misura per ogni situazione progettuale, al fine di verificare i risultati e riadattare i parametri di progetto alla situazione specifica.

Questa strada non è però quasi mai praticabile, essenzialmente per gli elevati costi che essa comporta, ed è per questo motivo che si richiedono modelli di previsione precisi, che permettano già in fase di progetto di avere un'idea chiara su quali saranno i risultati ottenuti.

Infine, anche la semplicità e la complessità computazionale del modello non sono da sottovalutare, perché permettono un risparmio dei tempi ed un contenimento dei costi già dalla fase di progettazione della copertura dell'area interessata.

In pratica, la stessa scelta del modello per prevedere l'attenuazione subita dal segnale nella propagazione da esterno ad interno deve concorrere all'ottimizzazione dell'intero progetto.

Un buon modello di propagazione deve fornire previsioni veritiere dell'attenuazione del segnale, e dovrebbe richiedere sia un basso carico computazionale che pochi dati di input (non eccessivamente dettagliati) per la sua applicazione.

Nel seguito si è scelto di concentrarsi su pochi modelli, descritti in ordine cronologico, che presentassero caratteristiche simili, appositamente ricavati per effettuare previsioni di attenuazione da outdoor a indoor in situazioni abbastanza analoghe.

La scelta di descrivere e valutare i diversi modelli, ordinandoli cronologicamente, è stata fatta per avere anche un'idea di quale è stato lo sviluppo dei modelli outdoor-indoor nel corso degli anni.

Per prima cosa si è scelto un modello da utilizzare come confronto, e successivamente sono stati selezionati gli altri modelli da confrontare.

Tutti i calcoli e le considerazioni relative agli altri modelli sono sempre stati fatti paragonandoli al modello di confronto.

La scelta dei modelli da esaminare è stata fatta tenendo conto delle similitudini tra l'ambiente in cui essi sono stati ricavati (densità degli edifici e materiale costitutivo dei muri degli stessi) e l'ambiente per cui è stato ricavato il modello di confronto.

Si è scelto un modello nel quale sono dettagliatamente descritti la geometria del problema e la procedura di misura, nonché tutti i parametri necessari a caratterizzare l'ambiente sotto esame.

Inoltre, nel documento che descrive tale modello, sono riportati con precisione i risultati della campagna di misura e quelli del modello proposto.

In questo modo si rendono “riproducibili” i risultati e la campagna di misura.

In linea di principio sarebbe necessario definire un proprio ambiente di studio ed effettuare un'attenta campagna di misura, comparando poi i risultati ottenuti con i diversi modelli.

In realtà ciò raramente è possibile a causa delle difficoltà di reperire la strumentazione di misura necessaria per tale campagna.

Data la scelta del modello effettuata, nel cui articolo di riferimento sono dettagliatamente descritti la geometria del problema , la procedura di misura, e tutti i parametri necessari a caratterizzare l'ambiente sotto esame, insieme al paragone fra i valori previsti dal modello ed i risultati della campagna di misura (che sono quindi facilmente “riproducibili”), non risulta necessario svolgere la campagna di misura, è sufficiente utilizzare le informazioni sull'ambiente sotto esame contenute nel modello di confronto e applicarle nello svolgimento dei calcoli per gli altri modelli.

Il numero totale di modelli confrontati è di cinque modelli, per la medesima posizione del trasmettitore.

Nel seguito verrà descritto per primo il modello che verrà nel seguito definito modello di confronto, e verrà descritta la procedura seguita durante la campagna di misura che ha portato all'ottenimento di tale modello.

Verranno indicati i parametri necessari alla descrizione dell'ambiente considerato ed il loro valore numerico, ed infine verranno riportati i risultati ottenuti, che saranno poi utilizzati come termine di paragone per i successivi modelli.

In seguito sarà nuovamente messo in evidenza il percorso seguito durante la campagna di misura, perché negli stessi punti verranno effettuati i calcoli per gli altri modelli sotto esame, ed i risultati dei diversi confronti tra modelli verranno graficati in questi punti.

Si procederà alla descrizione di ogni singolo modello, evidenziando gli eventuali cambiamenti apportati ai parametri d'ambiente o del modello in relazione alle esigenze di studio, si descriverà la procedura di calcolo per ogni modello, in relazione alla geometria del problema e ai parametri d'ambiente, e si riporteranno i risultati ottenuti e le considerazioni finali.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Descrizione del Modello

Il modello assunto come modello di confronto ha lo scopo di predire la attenuazione di tratta (propagation loss) che il segnale subisce quando, provenendo dall'esterno, si propaga all'interno di un generico edificio (da outdoor a indoor).

In particolare si assume che la propagazione avvenga attraverso le aperture presenti nell'edificio considerato (porte e finestre), e che quindi l'attenuazione del segnale dall'esterno all'interno sia dipendente dall'angolo di incidenza esterno θ_{inc} (dal trasmettitore alla parete) ed interno φ (dall'apertura al ricevitore).

Si veda la figura 1 per individuare gli angoli di incidenza esterna ed interna.

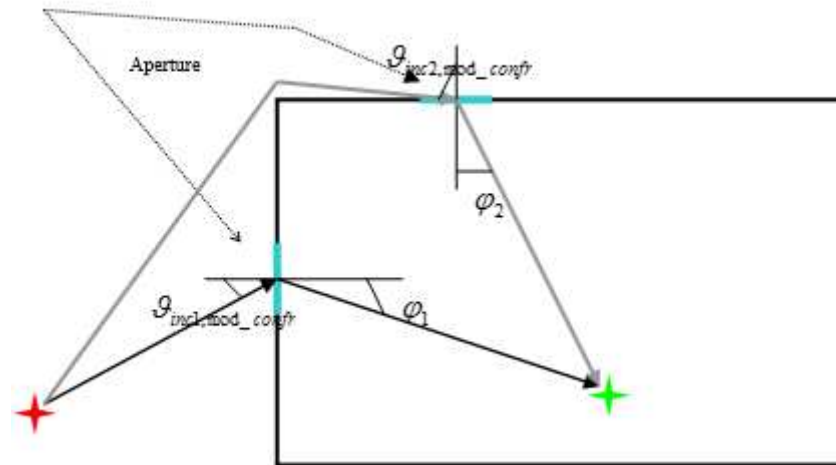


Figura 1.: Geometria degli angoli di incidenza esterno ed interno per il modello di confronto, sin noti che il segnale penetra solo attraverso le aperture.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Descrizione del Modello

Il modello di confronto analizza l'attenuazione outdoor-indoor suddividendola in tre termini.

Innanzitutto la propagazione del segnale avviene all'esterno dell'edificio considerato, dal trasmettitore al muro esterno dell'edificio.

Si parte quindi dal presupposto che l'attenuazione totale sia scomponibile in termini tra loro indipendenti e calcolabili separatamente.

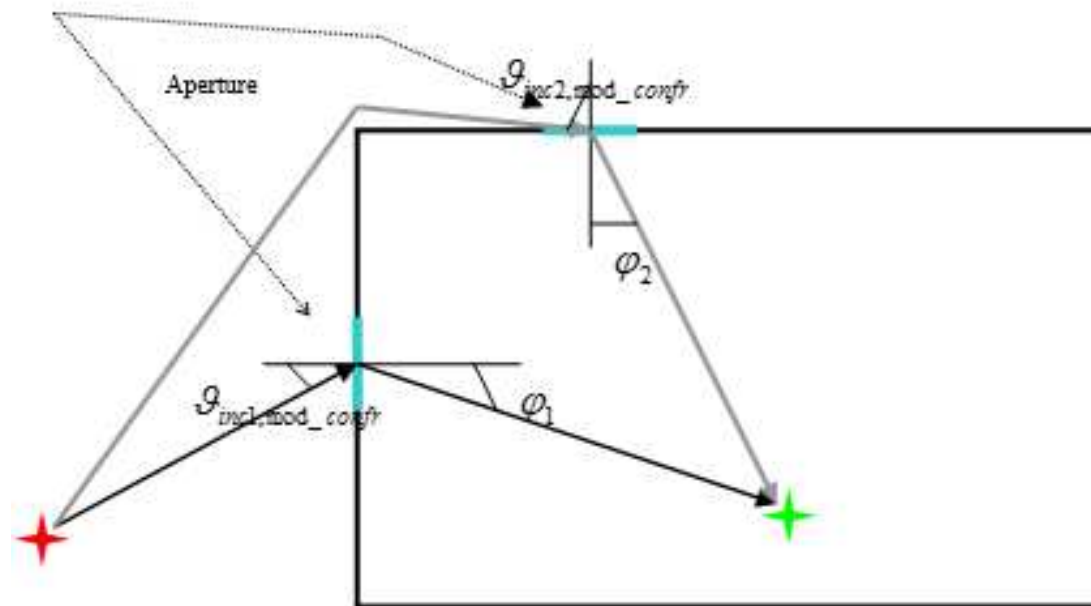


Figura 1.: Geometria degli angoli di incidenza esterno ed interno per il modello di confronto, sin noti che il segnale penetra solo attraverso le aperture.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Descrizione del Modello

- La propagazione all'esterno rappresenta il primo termine di attenuazione, nel seguito indicato con L_{out} .
- Il secondo termine di attenuazione si presenta quando il segnale penetra attraverso le pareti esterne dell'edificio (di qualunque tipologia esse siano, muri o porte/finestre, e di qualunque materiale). Questo termine è denominato attenuazione da penetrazione e sarà nel seguito indicato con L_{pen} . Mentre nel modello di confronto si assume che la penetrazione del segnale possa avvenire solo attraverso le aperture dell'edificio (porte in vetro, nel nostro caso), in altri modelli (ad esempio nel COST 231, che tratteremo più avanti) si assume che la penetrazione possa avvenire da qualunque punto della parete.
- Il terzo ed ultimo termine, è costituito dall'attenuazione che il segnale subisce nel propagarsi all'interno dell'edificio, fino al punto in cui è situato il ricevitore. La valutazione di questo termine può risultare piuttosto complicata, e anche ricavarne un'espressione analitica che ne descriva adeguatamente l'andamento può non essere semplice. Nel nostro caso è stata scelta un'espressione molto facile; semplicemente si è scelto di considerare l'attenuazione indoor mediante un coefficiente α (misurato in dB/m), che descrive un'attenuazione interna uniforme in funzione della distanza. L'attenuazione interna verrà nel seguito indicata con L_{in} .

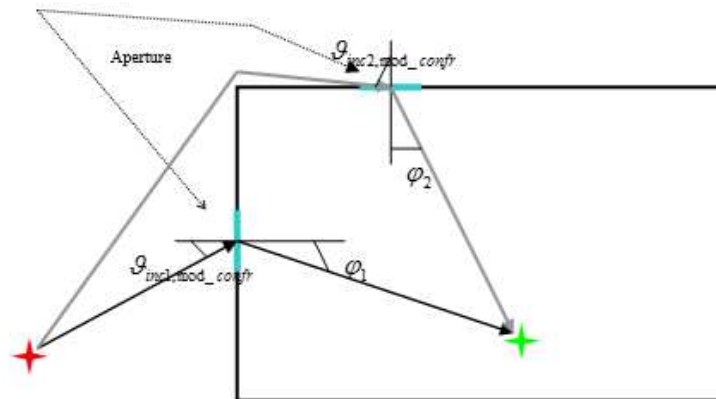


Figura 1.: Geometria degli angoli di incidenza esterno ed interno per il modello di confronto, sin noti che il segnale penetra solo attraverso le aperture.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Descrizione del Modello

L'espressione finale dell'attenuazione totale è data dalla somma dei tre termini sopra descritti:

$$L = L_{out} + L_{pen} + L_{in}$$

Ciascuno di questi tre termini deve essere quindi opportunamente caratterizzato e se ne deve fornire una formulazione analitica, adatta per il tipo di situazione in esame.

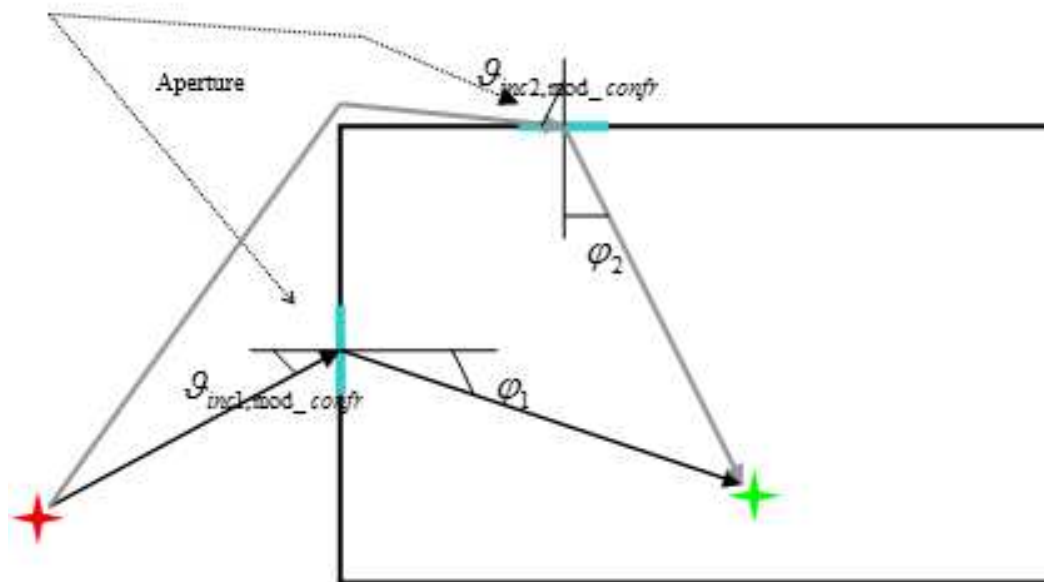


Figura 1.: Geometria degli angoli di incidenza esterno ed interno per il modello di confronto, sin noti che il segnale penetra solo attraverso le aperture.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Calcolo L_{out}

Per quanto riguarda l'attenuazione dovuta alla propagazione esterna, essa dipende dalla configurazione degli edifici circostanti e dal tipo di cella sotto esame.

Si dovrà scegliere l'espressione adeguata a seconda che ci si trovi in condizione di macrocella o microcella e/o anche in funzione dell'altezza dell'antenna in trasmissione ed in ricezione.

Nel seguito, saranno effettuate diverse serie di calcoli, considerando diversi modelli di propagazione per la condizione outdoor.

Vengono pertanto riportate qui di seguito le espressioni di quelli che poi si sono utilizzati nei calcoli.

Nel caso in cui la propagazione si possa considerare in spazio libero (free space), si è utilizzato il modello proposto dal COST 231 per il free space.

Esso tiene conto della distanza tra il trasmettitore ed il punto di misura, della frequenza del segnale e di un parametro aggiuntivo che racchiude in sé il contributo di diversi altri meccanismi di perdita.

C'è da puntualizzare il fatto che, in caso di propagazione completamente outdoor, la distanza considerata dovrebbe essere quella tra trasmettitore e ricevitore, mentre, nel caso della propagazione outdoor-indoor, deve invece essere utilizzata la distanza tra il trasmettitore ed il punto in cui il segnale incontra la superficie esterna dell'edificio.

Bisognerà inoltre definire questa distanza in funzione del modello in esame: in particolare, nel caso del modello di confronto, la distanza è quella dal trasmettitore al punto centrale di un'apertura, mentre nel caso del COST 231, la distanza esterna è quella dal trasmettitore al punto sul muro dell'edificio più vicino al ricevitore. Si vedano le figure 2 e 3 per individuare i due diversi esempi di distanza esterna.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Calcolo L_{out}

Le figure 2 e 3 mostrano due diversi esempi di distanza esterna.

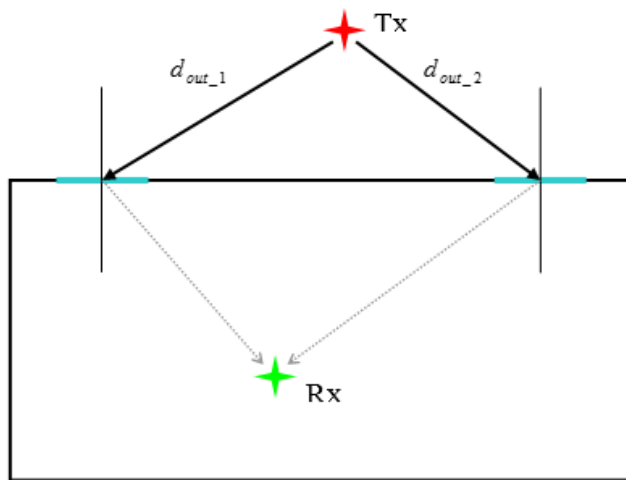


Figura 2.: distanza esterna nel modello di confronto
(in azzurro due delle aperture dell'edificio considerato, quelle in visibilità del trasmettitore)

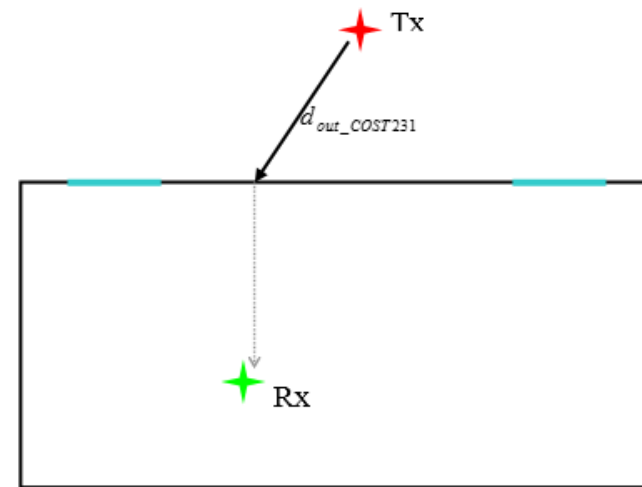


Figura 3.: distanza esterna nel modello COST 231.

La formula per l'attenuazione in free space, fornita dal modello COST 231, è data da:

$$L_{fs} = 32.4 + 20 \log d_{out} + 20 \log f$$

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Calcolo L_{out}

L'attenuazione ottenuta è in dB, la distanza è espressa in Km e la frequenza in MHz; i logaritmi sono in base 10.

Nel caso in cui, invece ci si trovi in condizioni di MicroCella e vi sia una condizione LOS (tra l'antenna trasmittente e l'edificio considerato) si può usare una differente espressione per l'attenuazione outdoor.

La formula viene fornita ancora una volta dal COST 231, in condizione di Microcella LOS, purché la distanza tra trasmettitore ed edificio sia superiore ai 20m:

$$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d_{out} + 20 \log f \quad \text{con } d_{out} \geq 20m$$

Anche in questo caso la distanza è in Km, la frequenza in MHz ed i logaritmi sono in base 10.

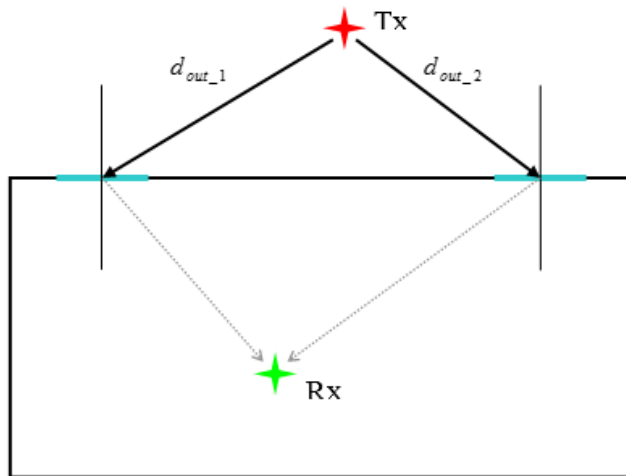


Figura 2.: distanza esterna nel modello di confronto
(in azzurro due delle aperture dell'edificio considerato, quelle in visibilità del trasmettitore)

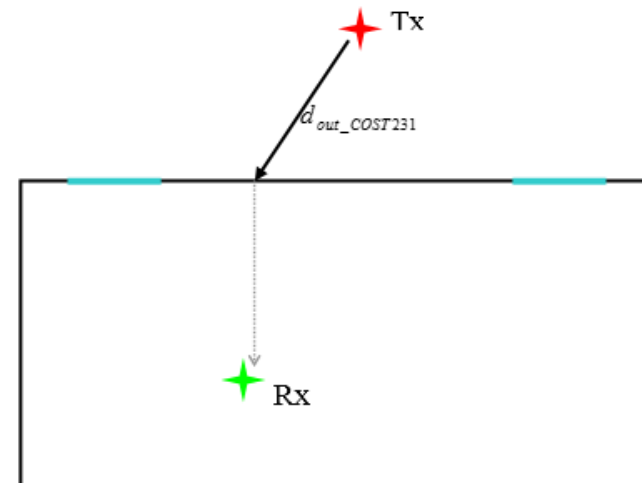


Figura 3.: distanza esterna nel modello COST 231.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Calcolo L_{out}

Infine due ulteriori modelli per la propagazione outdoor, utilizzabile per i nostri scopi, possono essere quelli proposti da Kitao e Ichitsubo, sebbene il range di altezze delle antenne e delle distanze nel nostro caso sia leggermente diverso:

$$L_{K\&I(1)} = 40 \log d_{out} - 30 \log h_{BS} + 21.7 \log f + 54 - 5 \log(h_m / 1.5)$$

$$L_{K\&I(2)} = 42.7 \log d_{out} - 32.7 \log h_{BS} + 20.7 \log f + 55.4$$

Ciascuno dei modelli outdoor introdotti può essere utile in casi diversi, a seconda della distanza tra trasmettitore ed edificio ed in funzione della configurazione degli edifici circostanti, relativamente alla posizione del trasmettitore.

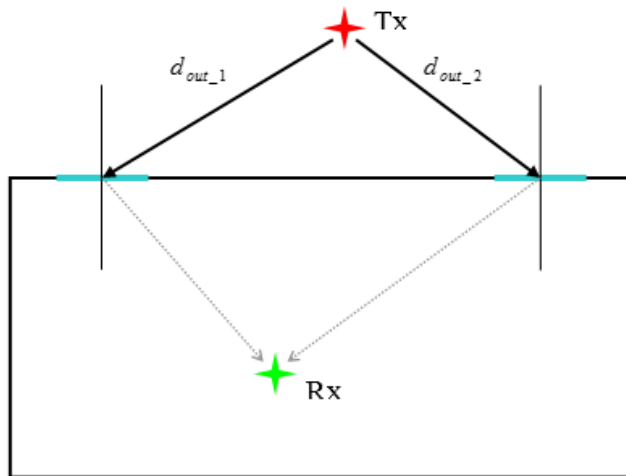


Figura 2.: distanza esterna nel modello di confronto
(in azzurro due delle aperture dell'edificio considerato, quelle in visibilità del trasmettitore)

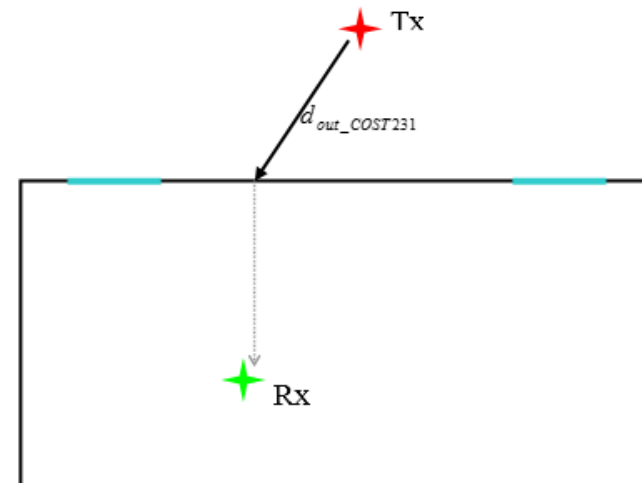


Figura 3.: distanza esterna nel modello COST 231.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Calcolo L_{in}

Come già accennato in precedenza, per valutare l'attenuazione all'interno dell'edificio considerato, viene utilizzato un modello ad attenuazione uniforme, in funzione della distanza.

Il fattore di attenuazione è indicato con α e si misura in dB/m.

Per la propagazione indoor esistono molti modelli di propagazione, che possono tener conto di molteplici caratteristiche interne degli edifici, tra cui: il numero di muri interni attraversati dal segnale, la tipologia di mobilia presente, il tipo di stanza considerata e il piano dell'edificio a cui si calcola l'attenuazione.

Nel nostro caso è sufficiente un modello semplice di attenuazione indoor, in quanto, come si vedrà dalla descrizione dell'ambiente sotto esame, non sono presenti muri interni e la stanza presa in considerazione è al piano terra dell'edificio.

L'espressione dell'attenuazione indoor è pertanto data da:

$$L_{in} = \alpha \cdot d_{in}$$

Con d_{in} si intende la distanza interna percorsa dal segnale a partire dal punto di incidenza sul muro fino al ricevitore.

Anche per quanto riguarda la distanza interna sono necessarie alcune considerazioni.

A seconda del modello utilizzato questa distanza interna viene valutata diversamente.

Nel modello di confronto essa è la distanza più breve dal punto centrale dell'apertura (porta o finestra) al ricevitore; in altri modelli questa distanza dovrà essere definita in maniera differente.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Calcolo L_{in}

Per esempio, nel caso del COST 231, che viene direttamente paragonato col modello di confronto, per distanza interna si intende la distanza perpendicolare, dal punto di penetrazione del segnale sulla parete dell'edificio, al ricevitore situato all'interno di esso.

Viene considerato come punto di penetrazione nell'edificio, il punto della parete più vicino al ricevitore.

Pertanto, nel caso di due diversi modelli, L_{in} può risultare anche molto diversa.

Si vedano le figure 4 e 5 per avere un'idea della distanza interna nel caso del modello di confronto e del COST 231.

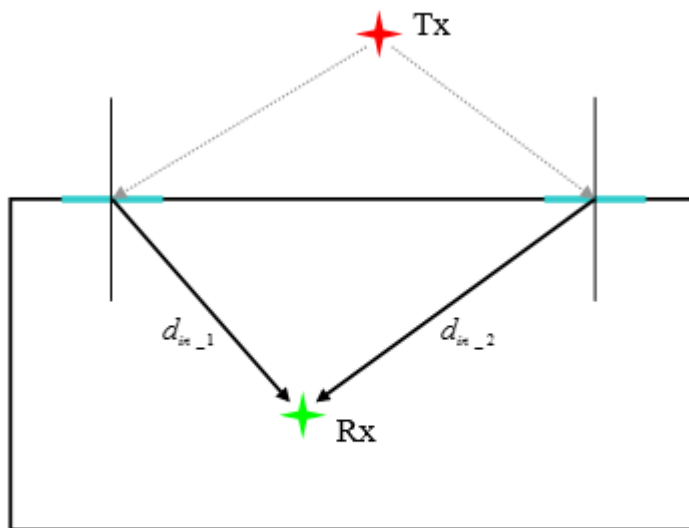


figura 4: distanza interna nel modello di confronto

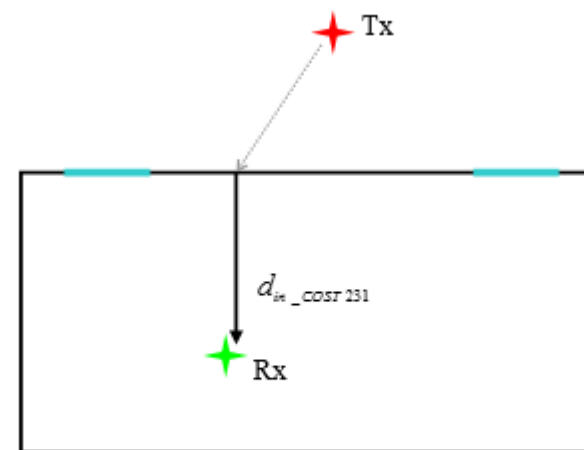


figura 5: distanza interna del COST 231

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Calcolo L_{pen}

Nel caso del nostro modello di confronto, questo termine è dato dalla seguente espressione:

$$L_{pen} = W_e + WG_e \cdot (1 - \cos \theta_{inc})^2 + f(\varphi)$$

Il primo termine (W_e) rappresenta l'attenuazione dovuta alla penetrazione perpendicolare attraverso l'apertura sulla parete.

Il secondo termine tiene invece conto di un ulteriore contributo di perdita dovuta alla incidenza esterna del segnale non perpendicolare sull'edificio.

Si tratta quindi di una dipendenza angolare, che dipende dal percorso esterno del segnale; infatti, come già detto in precedenza, e mostrato nella figura 1, θ_{inc} è l'angolo di incidenza esterna.

Alla costante WG_e viene assegnato lo stesso valore che essa assume già nel COST 231 (in quanto rappresenta esattamente la stessa grandezza): $WG_e=20$ dB.

Infine, il terzo ed ultimo termine ($f(\varphi)$) rappresenta la dipendenza angolare dell'attenuazione all'interno dell'edificio, ovvero dall'apertura al ricevitore, sempre relativamente al termine di penetrazione.

In poche parole potrebbe essere definita come l'attenuazione di penetrazione per un ricevitore che non si trovi esattamente davanti all'apertura, essendo φ l'angolo di incidenza interna.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Nel seguito si descriverà la procedura che ha permesso di ricavare l'espressione del modello di confronto e di ottenere i valori numerici per i parametri necessari.

Anzitutto, descriviamo l'edificio esaminato nel modello di confronto, che è un department store, con struttura in cemento armato, di forma rettangolare, con lati di lunghezza pari a 101.8m e 64.7m.

Al pian terreno, luogo dove sono state effettuate le misure, sono presenti 5 diverse aperture, dalle quali il modello di confronto prevede che si inoltri il segnale all'interno.

Il measurement course (percorso di misura) all'interno dell'edificio è anch'esso rettangolare, con lati di 38.7m e 75.8m e con distanza da ciascun muro perimetrale dell'edificio fissata a 13m.

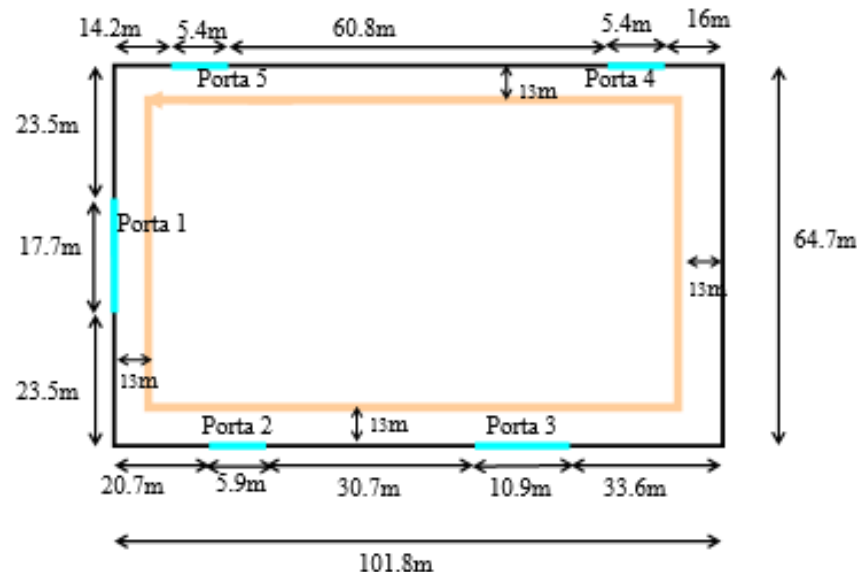


Figura 6.:piantina del pianterreno dell'edificio, con relative distanze e measurement course seguito nella campagna di misura

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Le aperture sono approssimativamente situate alle distanze del measurement course di 20m, 50m, 100m, 150m, 200m.

I due lati più lunghi dell'edificio hanno rispettivamente due porte che si affacciano sull'esterno, mentre, dei lati più corti, uno solo ha una porta, l'altro è invece privo di aperture.

Per una visualizzazione chiara dell'edificio sotto esame, si veda la pianta in figura 6, in cui sono dettagliate anche le dimensioni delle aperture ed il measurement course.

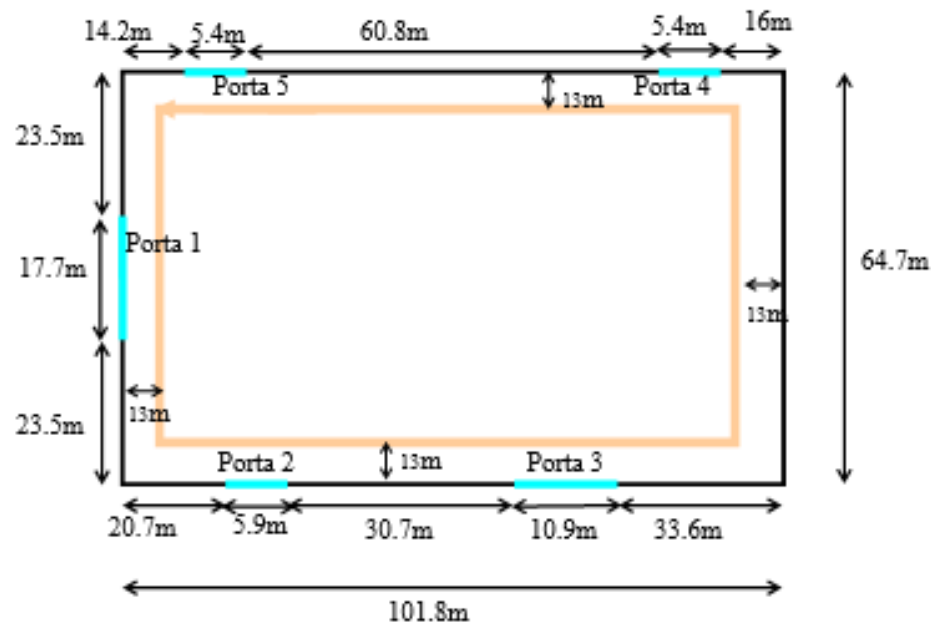


Figura 6.:piantina del pianterreno dell'edificio, con relative distanze e measurement course seguito nella campagna di misura

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Configurazione sperimentale per la misura dei parametri caratteristici dell'edificio

La frequenza dell'antenna in trasmissione, per le misure del coefficiente α (attenuazione interna) e di We (attenuazione perpendicolare attraverso i vetri delle aperture) è stata fissata a 8.45GHz, la potenza in trasmissione dell'antenna è di 40dBm, l'altezza dell'antenna in trasmissione è pari a 14m a quella dell'antenna in ricezione è pari a 0.3m.

Per quanto riguarda la dipendenza dei valori misurati dalla frequenza, questa non viene specificata in alcun modo, ma, anzi, già nel COST 231 si afferma che α e We sono grandezze caratteristiche dell'edificio in esame e che, in ogni caso, si tratta di valori medi, che varierebbero molto lentamente con la frequenza.

Ci limiteremo a considerare sia α che We costanti rispetto alla frequenza, salvo poi dimostrare, nel corso dei calcoli, che questo assunto è valido per i ragionamenti di nostro interesse.

Pertanto, l'unica dipendenza dalla frequenza che considereremo nel caso del modello di confronto è quella di L_{out} .

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura del coefficiente di attenuazione interno α

Le condizioni per la misura del coefficiente di attenuazione interno sono le seguenti: un trasmettitore è stato posizionato direttamente davanti ad una porta dell'edificio, ad una distanza di 10m da essa; la stessa antenna trasmittente è stata poi spostata ad una distanza di 300m dalla porta. La figura 7 mostra un'immagine schematica della procedura seguita.

Quindi la campagna di misura per determinare il fattore di attenuazione interna è stata eseguita due volte, una per ciascuna posizione dell'antenna trasmittente.

Il percorso di misura seguito ha una lunghezza di circa 38m, perpendicolarmente rispetto alla porta considerata.

I valori misurati sono stati presi ogni 0.2m lungo il measurement course.

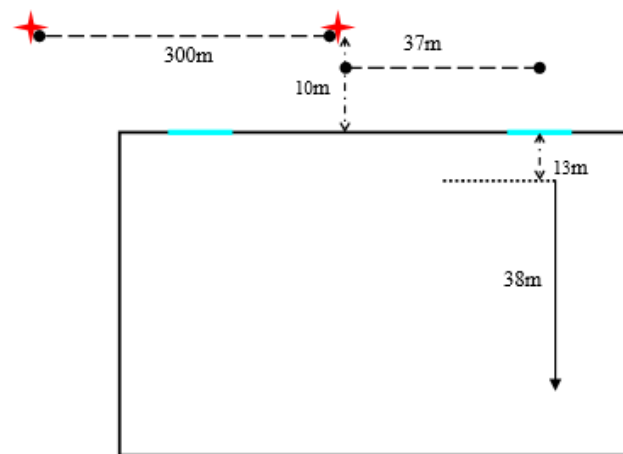


figura 7: percorso di misura seguito per la misurazione del coefficiente di attenuazione indoor

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura del coefficiente di attenuazione interno α

Il valore di α è stato calcolato attraverso una media dei valori su 1m del percorso di misura.

Si sono ricavati due valori dell'attenuazione interna, uno per ciascuna posizione del trasmettitore, la media dei due valori è pari a 0.348dB/m, ed è questo il valore che si utilizzerà nel seguito per caratterizzare l'attenuazione interna di questo specifico edificio.

Nel COST 231 il valore suggerito per il coefficiente di attenuazione interna, quando non si dispone di una campagna di misure ad hoc, è di circa 0.6dB/m.

Si deve inoltre sottolineare il fatto che il fattore di attenuazione interna, ottenuto con le misure precedentemente descritte, è frutto di misure effettuate perpendicolarmente all'apertura considerata e pertanto, in direzioni non perpendicolari rispetto all'apertura, potrebbe assumere valori più elevati.

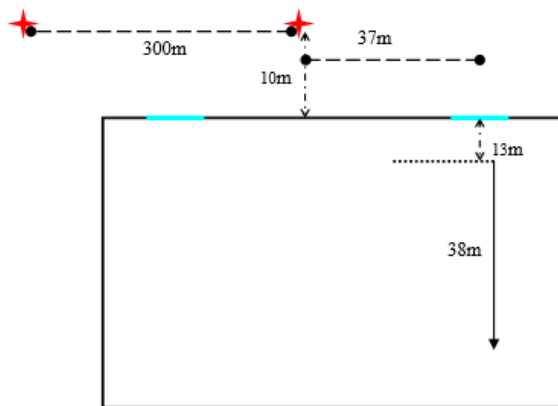


figura 7: percorso di misura seguito per la misurazione del coefficiente di attenuazione indoor

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura del fattore di penetrazione perpendicolare We

Per le misure di penetrazione perpendicolare, il trasmettitore è stato posizionato sulle tre strade su cui si affaccia l'edificio, su due circonferenze di raggi pari all'incirca a 150m e 300m.

Le medie sono state calcolate su distanze di 5m e le misure di propagation loss, sia all'esterno che all'interno dell'edificio, sono state prese davanti a quella che era la porta in LOS.

Fissate le posizioni del trasmettitore e del ricevitore, il termine We è stato ricavato come differenza tra i valori di propagation loss esterno ed interno, dopo aver sottratto da quest'ultimo termine l'attenuazione interna alla distanza di 13m.

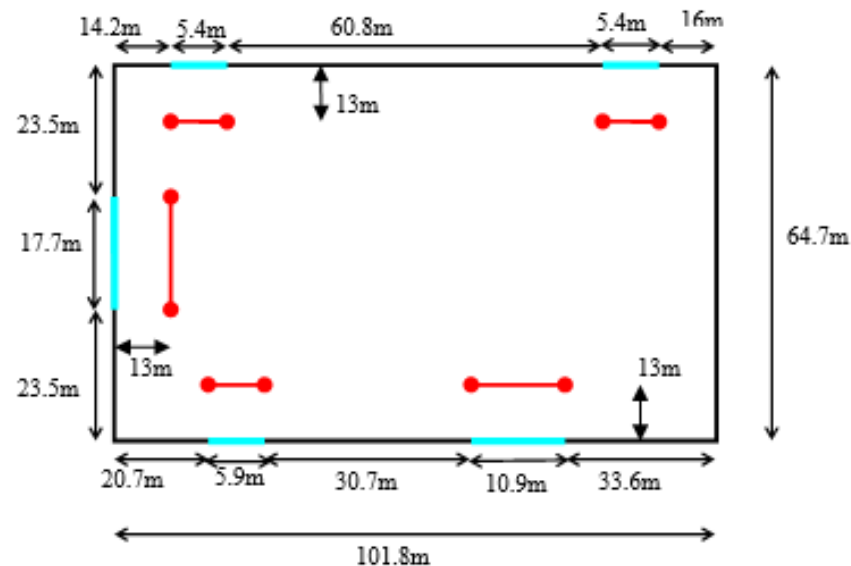


figura 8: in rosso le posizioni di misura per determinare il fattore di penetrazione perpendicolare We .

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura del fattore di penetrazione perpendicolare We

Si veda la figura 8 per avere un'idea della posizione del ricevitore davanti alle aperture durante le operazioni di misura.

Il ricevitore veniva spostato davanti alle aperture con passo pari a 0.2m. In rosso in figura compaiono i punti dove sono state fatte le misurazioni per la valutazione di We .

La media complessiva dei valori misurati, per il trasmettitore a distanza 150m dall'edificio e per il trasmettitore a distanza 300m dall'edificio, è pari a 17.2dB ed è questo il valore che nel seguito si utilizzerà per caratterizzare l'attenuazione perpendicolare per penetrazione dalle aperture.

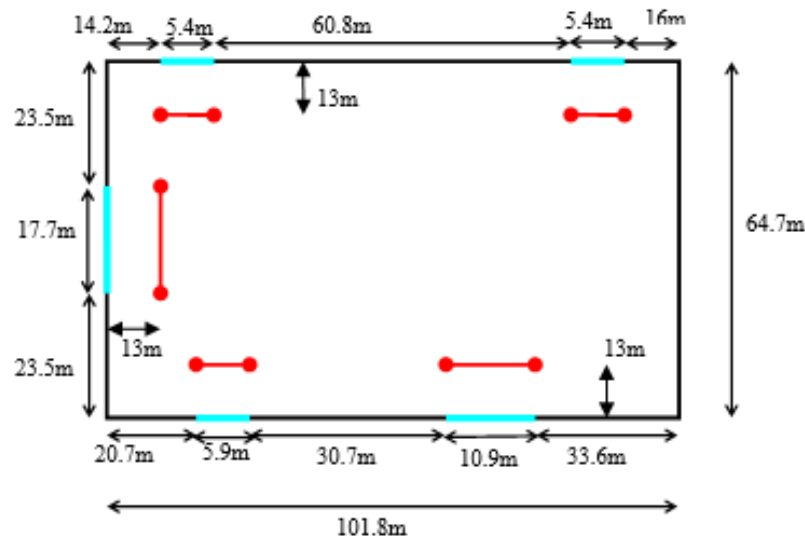


figura 8: in rosso le posizioni di misura per determinare il fattore di penetrazione perpendicolare We .

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura del fattore di penetrazione perpendicolare We

Nel modello del COST 231, per la penetrazione del segnale all'interno di edifici, i valori raccomandati per We sono compresi in un range tra i 4dB ed i 10dB, ma possono arrivare fino a 20dB.

Il valore più adatto da utilizzare va scelto in base al materiale che costituisce le pareti esterne e quindi in relazione allo specifico edificio considerato.

La differenza fondamentale tra il modello di confronto ed il COST 231 è che, nel caso del primo, si considera la penetrazione del segnale soltanto attraverso le aperture (porte/finestre), mentre nel caso del secondo si parte dal presupposto che il segnale penetri nell'edificio dal punto della parete più vicino al ricevitore.

Pertanto, il primo modello non prevede alcuna penetrazione del segnale attraverso il muro di cemento armato, mentre il COST 231 fornisce valori di We per diversi tipi di materiale, e soprattutto considera il muro omogeneo, includendo cemento e vetro in un valore medio che potrebbe in realtà arrivare fino a 20dB.

Si nota quindi che $We=17.2$ dB, pur essendo un valore piuttosto alto per l'attenuazione di penetrazione perpendicolare, rientra nell'ambito dei valori già proposti dal COST 231.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura della dipendenza angolare dell'attenuazione indoor ($f(\varphi)$)

Quando il ricevitore non è esattamente di fronte ad un'apertura, la potenza ricevuta risulta ridotta a causa della diffrazione del segnale incidente sui bordi dell'apertura.

La perdita dovuta alla diffrazione dipende dall'angolo di incidenza interno φ .

Per valutare l'andamento di $f(\varphi)$, il trasmettitore è stato piazzato inizialmente ad una distanza $d_1=10\text{ m}$ dall'apertura, e poi ad una distanza $d_2=300\text{ m}$.

Si veda la figura 9 per avere un'idea di come sono state condotte le misure.

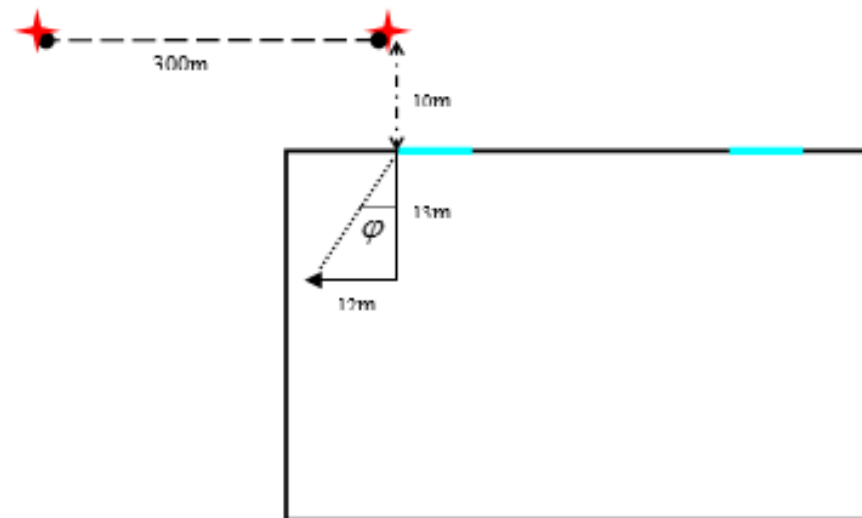


figura 9: misure per derivare la dipendenza dall'angolo interno

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura della dipendenza angolare dell'attenuazione indoor ($f(\varphi)$)

Il ricevitore è stato posizionato ad una distanza di 13m dal muro e veniva spostato con passo 0.2m sempre più lontano dall'apertura, a partire dal bordo della stessa, fino a coprire una distanza totale di 12m.

Dopo aver graficato i valori dell'attenuazione in funzione dell'angolo interno φ (angolo tra la normale all'apertura ed il punto di misura), sia per il trasmettitore in posizione 1 che per il trasmettitore in posizione 2, si è notato che la dipendenza angolare varia come

$$f(\varphi) = W_{\text{int}} \cdot \sin \varphi$$

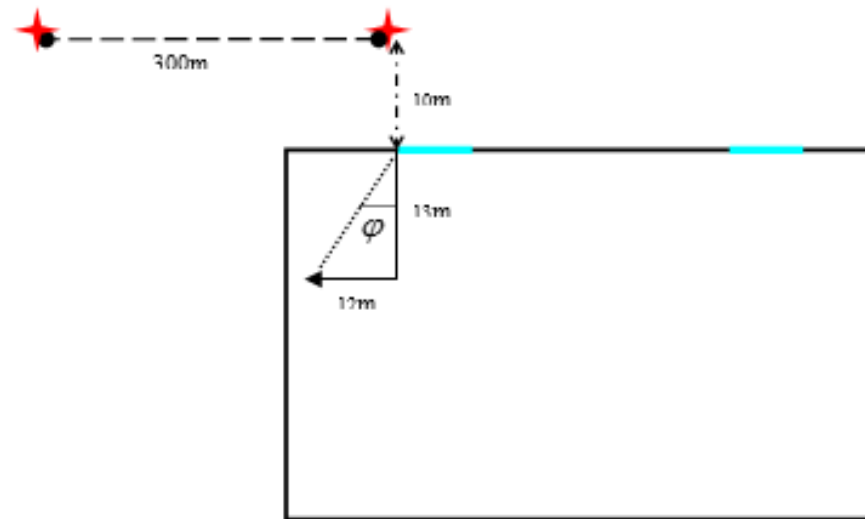


figura 9: misure per derivare la dipendenza dall'angolo interno

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Misura della dipendenza angolare dell'attenuazione indoor ($f(\varphi)$)

A questo punto si tratta solo di scegliere il valore della costante W_{int} .

Tale valore è stato scelto in accordo con quanto suggerito dal COST 231 per le perdite addizionali dovute al fatto che l'incidenza è radente: $W_{int}=20$ dB.

Si può quindi scrivere l'espressione completa dell'attenuazione di penetrazione, esplicitandone tutti i termini:

$$L_{pen} = W_e + WG_e(1 - \cos \vartheta_{inc})^2 + W_{int} \sin \varphi$$

con

$$W_e = 17.2dB; \quad WG_e = 20dB; \quad W_{int} = 20dB$$

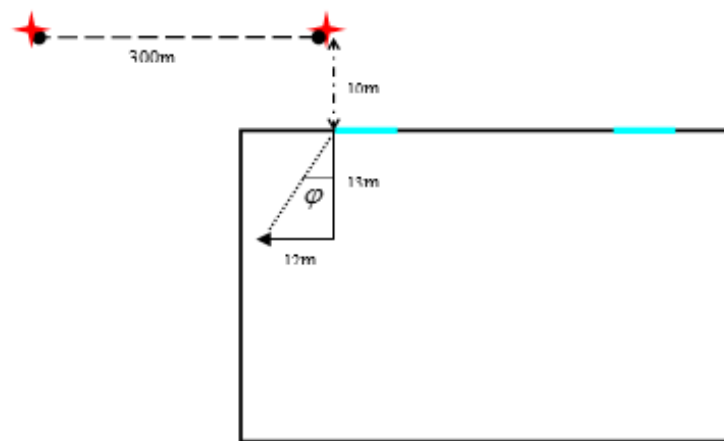


figura 9: misure per derivare la dipendenza dall'angolo interno

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

La campagna di misura per valutare l'andamento del modello di confronto è stata svolta nel seguente modo:

Per prima cosa si è posizionato il trasmettitore ad una distanza dall'edificio di 10m, e quindi alla distanza di 180m sul percorso di misura.

Il segnale è stato misurato poi ogni 0.2m sul measurement course, e in corrispondenza di queste misure sono stati calcolati i valori di attenuazione previsti dal modello di confronto.

L'attenuazione totale calcolata L_{tot} era data pertanto dalla somma dei tre termini L_{in} , L_{pen} ed L_{out} .

Infine, sono stati plottati su grafico gli andamenti dei valori misurati e dei valori di attenuazione predetti dal modello di confronto, in funzione della distanza sul measurement course.

I risultati ottenuti dal modello di confronto sono stati confrontati con gli altri modelli studiati con quest'ultimo, per valutare se i risultati predetti corrispondessero e avessero lo stesso andamento in tutti i casi.

Per prima cosa pertanto, si è riprodotto lo stesso grafico del modello di confronto con gli stessi parametri, e verificato che l'andamento ottenuto corrispondesse.

Il modello di confronto è stato graficato per diverse espressioni di L_{out} , per poter poi confrontare i risultati ottenuti con gli altri modelli.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

L'antenna trasmittente risultava essere davanti alla parete con le porte 4 e 5, pertanto, ai fini del calcolo dell'attenuazione totale, il contributo maggiore al segnale era dato dai raggi che penetravano attraverso tali porte.

Di conseguenza si è potuto trascurare il contributo proveniente dalle porte 1, 2, 3 in quanto, in quei casi, il segnale risulta comunque notevolmente attenuato, poiché deriva non da propagazione diretta, ma da contributi dovuti a riflessioni multiple e a diffrazione.

Infine si è riprodotto l'andamento dell'attenuazione totale del modello di confronto modificando la frequenza, e portandola a 1.8GHz, 2.3GHz e 0.9GHz.

Ciò è stato fatto perché, nel seguito, verrà analizzato un modello specificamente studiato per queste frequenze.

D'altronde il modello di confronto dipende esplicitamente dalla frequenza solo nel termine L_{out} , mentre, come già detto in precedenza, tutti gli altri termini possono essere considerati indipendenti da essa e pertanto costanti.

Per poter ottenere tutti i grafici seguenti, si è volta per volta studiata la geometria del problema e, in funzione delle caratteristiche del modello di volta in volta analizzato, si è riprodotto l'andamento di ciascun modello.

In tutti i grafici relativi all'attenuazione totale, per ogni modello analizzato, in grigio si sono riportati i tratti del percorso di misura in corrispondenza delle aperture.

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

Si riporta nel seguito l'andamento dell'attenuazione totale per il modello di confronto, ottenuta per le diverse espressioni di attenuazione esterna, già citate quando si è parlato del calcolo di L_{out} .

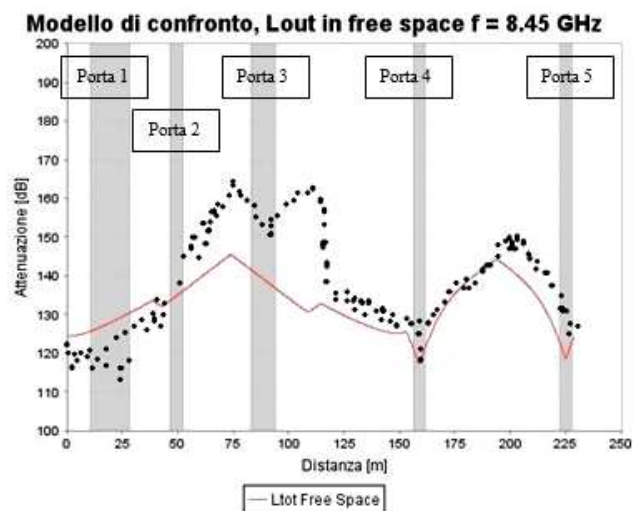


figura 10: attenuazione totale ottenuta per il modello di confronto considerando l'attenuazione esterna come in free space, si noti, in nero, l'andamento qualitativo dei valori misurati

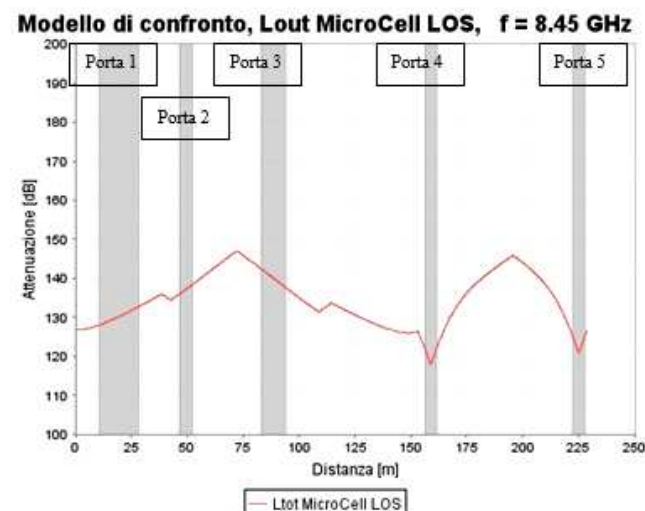


figura 11: attenuazione totale ottenuta per il modello di confronto considerando l'attenuazione esterna come in caso di MicroCell, in condizioni LOS

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

Si riporta nel seguito l'andamento dell'attenuazione totale per il modello di confronto, ottenuta per le diverse espressioni di attenuazione esterna, già citate quando si è parlato del calcolo di L_{out} .

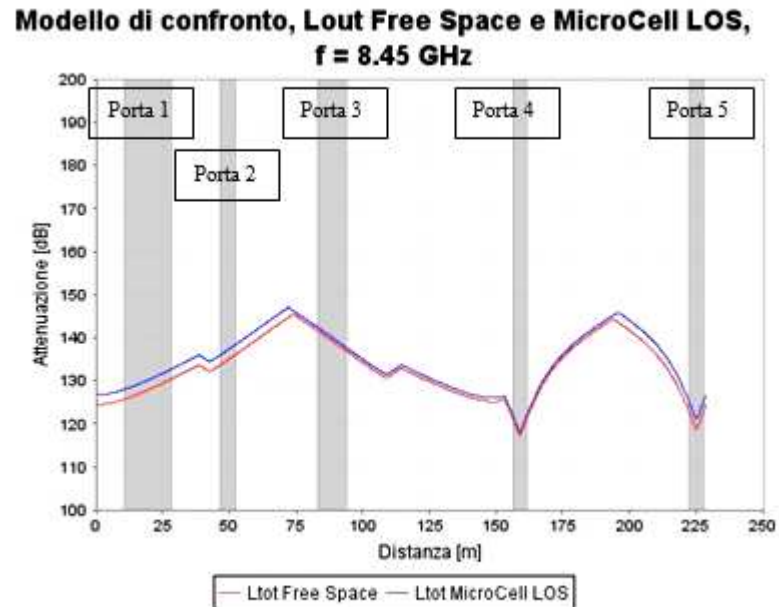


figura 12: confronto tra i valori di attenuazione totale, considerando L_{out} in free space e in caso di MicroCella in condizione LOS

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

Dalla figura 12 si nota che la differenza tra il considerare l'attenuazione esterna come nel caso Free Space o come in condizioni di MicroCella in Line of Sight è piuttosto piccola.

Per la maggior parte del measurement course le due curve si sovrappongono quasi del tutto.

I maggiori scostamenti si evidenziano nei tratti iniziale e finale del measurement course, quando il ricevitore è più vicino rispettivamente alle porte 4 e 5, ovvero quando, data la breve distanza tra trasmettitore e ricevitore, tendono a risultare accentuate le differenze sostanziali tra i due modelli.

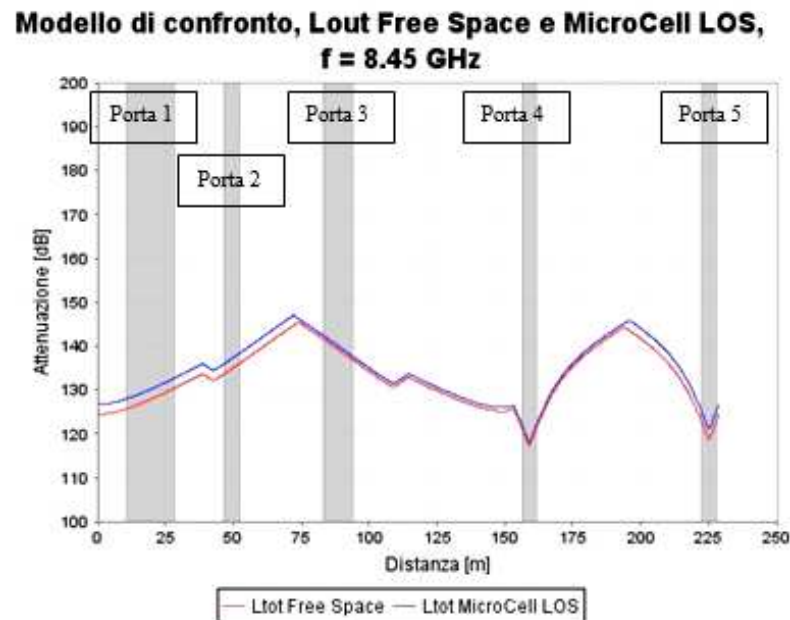


figura 12: confronto tra i valori di attenuazione totale, considerando L_{tot} in free space e in caso di MicroCella in condizione LOS

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

Nelle figure 13 e 14 vengono infine riportati gli andamenti dell'attenuazione totale, quando L_{out} viene calcolato mediante i due modelli di Kitao e Ichitsubo, e nella figura 15 viene riportato il confronto tra le due versioni di questo modello e il modello di confronto.

Modello di confronto, L_{out} da Kitao e Ichitsubo (1), $f = 8.45$ GHz

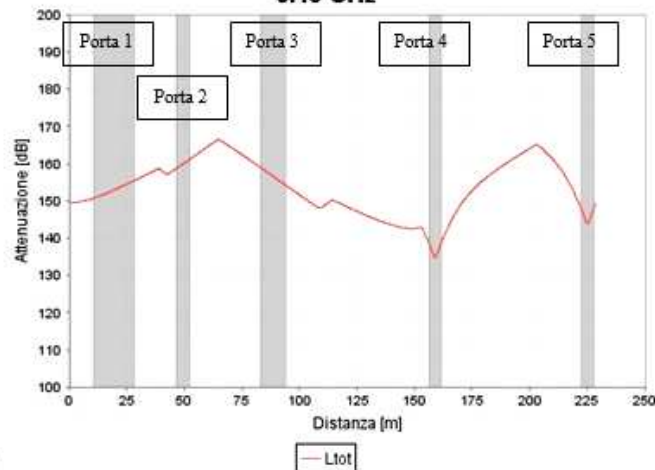


figura 13: modello di confronto in cui L_{out} è calcolata con la prima versione del modello Kitao e Ichitsubo

Modello di confronto, L_{out} Kitao e Ichitsubo (2), $f = 8.45$ GHz

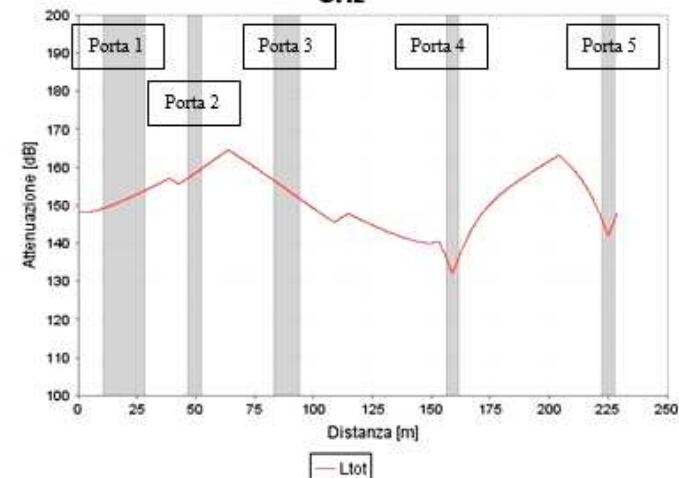


figura 14: modello di confronto in cui L_{out} è calcolata con la seconda versione del modello Kitao e Ichitsubo

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

Nelle figure 13 e 14 vengono infine riportati gli andamenti dell'attenuazione totale, quando L_{out} viene calcolato mediante i due modelli di Kitao e Ichitsubo, e nella figura 15 viene riportato il confronto tra le due versioni di questo modello e il modello di confronto.

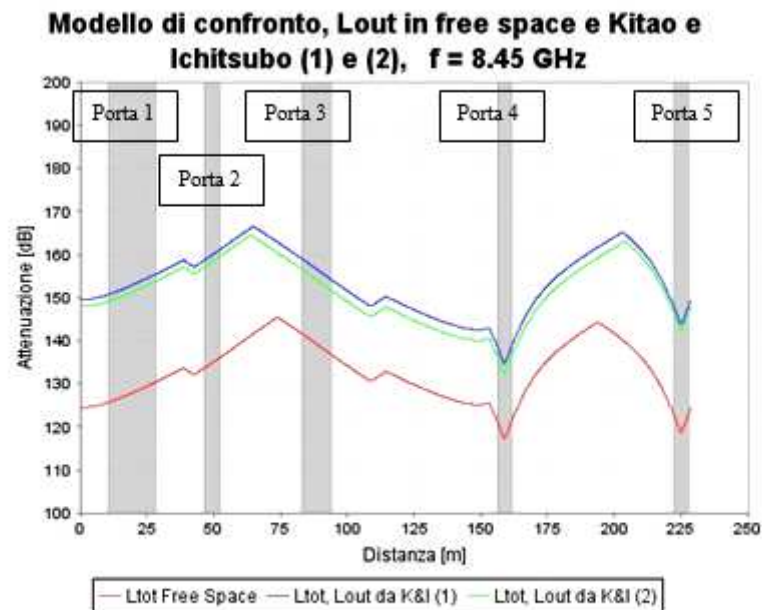


figura 15: paragoni tra i valori di attenuazione totale del modello di confronto con L_{out} calcolato come in Free Space e con le due versioni di Kitao e Ichitsubo

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

Si noti che nel caso di entrambi i modelli di Kitao e Ichitsubo, l'attenuazione totale è abbondantemente sovrastimata rispetto ai valori ottenuti col modello di confronto.

Ed inoltre i due modelli per la propagazione outdoor tendono a spostare anche la posizione dei massimi e dei minimi della funzione L_{out} .

Quello che si evince dai grafici è che il modello di confronto consente di seguire in maniera abbastanza precisa l'andamento dei valori misurati di attenuazione, pur producendo una lieve sottostima della stessa (che può arrivare fino a 20dB, come si vede nel tratto del measurement course compreso tra 50 e 100m).

Come già evidenziato dagli autori del modello di confronto, questa sottostima può essere dovuta al fatto che il modello di attenuazione indoor utilizzato è molto semplice e non tiene conto dell'arredamento e della struttura interna dell'edificio. Si suppone che l'utilizzo di un modello di attenuazione indoor più accurato, che tenga conto delle caratteristiche interne dell'ambiente sotto esame, possa ridurre queste discrepanze.

Quello però a cui siamo interessati è l'andamento generale del segnale, dato che l'interesse primario è concentrato sullo studio dell'attenuazione outdoor-indoor.

Essa dipenderà naturalmente dal tipo di edificio e dal materiale di cui è costituito, e anche dalla geometria del problema in esame (disposizione dell'edificio e delle antenne trasmittente e ricevente).

MODELLO 1 – MODELLO DI CONFRONTO

Procedura per ricavare il Modello di Confronto

Procedura di misura nel modello di confronto

A questo proposito il modello di confronto si presta bene allo scopo, in quanto viene fornita un'accurata descrizione della situazione in esame ed inoltre l'andamento del modello segue molto bene l'andamento reale del segnale.

Quello che si farà nel seguito è un confronto tra l'andamento degli altri modelli studiati ed il modello di confronto, per poterne valutare caratteristiche comuni e differenze. Inoltre il confronto avverrà ordinando i diversi modelli in ordine cronologico, per poter anche fornire una panoramica di quella che è stata l'evoluzione temporale dei modelli di attenuazione outdoor-indoor .

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modelli di attenuazione outdoor-indoor analizzati

Il modello di confronto è stato il primo modello analizzato, e di esso si è già data abbondante descrizione.

Verrà comunque costantemente richiamato e se ne aggiungeranno dettagli, quando necessario, durante lo studio degli altri modelli analizzati.

Nel seguito verranno descritti, in ordine cronologico, i modelli principali disponibili in letteratura per la stima della attenuazione Outdoor-Indoor.

- Per primo è stato analizzato il modello per la penetrazione outdoor-indoor fornito dal COST 231, nel Final Report del 1996 (“DIGITAL MOBILE RADIO TOWARDS FUTURE GENERATION SYSTEMS COST 231 Final Report”). In tale Report esiste un intero capitolo dedicato ai modelli di predizione della propagazione, il capitolo 4 (“4 Propagation Prediction Models”), e, all’interno di esso, il paragrafo 4.6 (Building Penetration) riguarda appunto la penetrazione del segnale all’interno di edifici. Il modello di penetrazione proposto dal COST 231 è anche quello con il quale è stato effettuato un confronto diretto nel paper in cui viene descritto e ricavato il nostro modello di confronto. Questo modello è un esempio di direct modeling, ovvero fornisce l’andamento dell’attenuazione totale mediante una formula globale, che non prevede la separazione tra componente di attenuazione outdoor, attenuazione indoor e attenuazione da penetrazione.
- Il secondo modello analizzato è un modello del 1998, dal titolo “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, 2300 MHz”, autori Antonio Fischer de Toledo, Adel M.D. Turkmani e J. David Parsons. Anche questo modello è stato ricavato mediante direct modelling, inoltre è dipendente dalla frequenza ed esiste una variante della formula di L_{tot} per ciascuna delle tre frequenze considerate.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modelli di attenuazione outdoor-indoor analizzati

- Il terzo modello, “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (autori: Yvo L.C. de Jong, Maikel H.J.L. Koelen e Matti H. A. J. Herben), risale al 2004. A differenza dei due precedenti modelli, in questo caso l’attenuazione totale è data dalla somma dell’attenuazione esterna (segnale che si propaga dal trasmettitore al muro dell’edificio) più un altro termine di attenuazione che comprende quella da penetrazione e quella interna. Il termine di attenuazione da penetrazione dipende direttamente dal coefficiente di trasmissione della parete. Quest’ultimo viene calcolato a partire dal coefficiente di riflessione, in funzione dell’angolo di incidenza e della costante dielettrica del muro. Se si tiene conto del fatto che la costante dielettrica di un qualunque edificio può essere conosciuta solo in modo molto approssimativo, si capisce perché, a sua volta, questo modello fornisca dei risultati approssimati ed un andamento caratterizzato da poca variabilità, come avremo modo di mettere in evidenza nel corso dello studio più approfondito di questo modello. Inoltre l’attenuazione da penetrazione di quest’ultimo modello non dipende esplicitamente dalla frequenza, ma comunque vi dipende per via indiretta attraverso la costante dielettrica. Poiché 1.8GHz è una frequenza molto usata, essendo quella della telefonia cellulare, i valori della costante dielettrica, per diversi materiali, a questa frequenza sono largamente conosciuti e quindi ho confrontato questo modello col modello di confronto appunto alla frequenza di 1.8GHz.
- Infine il quarto ed ultimo modello esaminato, e quindi anche il più recente, è il seguente “Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8GHz Band for an Urban Area” (autori: Hideaki Okamoto, Koshiro Kitao e Shinichi Hichitsubo) ed è del 2009. In questo modello, come nel modello di confronto, tutta l’analisi si basa sull’assunto che il segnale penetra all’interno degli edifici attraverso le aperture. Sempre analogamente al modello di confronto, l’attenuazione totale subita dal segnale viene scomposta in tre termini: L_{out} , L_{in} ed L_{pen} . La differenza più rilevante rispetto al modello di confronto è che non c’è una dipendenza angolare nella formula di L_{pen} . Nonostante questa differenza, i risultati ottenuti nella simulazione dell’attenuazione totale con questo modello seguono pressoché esattamente l’andamento del modello di confronto.

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Introduzione

Il modello COST 231 nasce dalla collaborazione di circa un centinaio di istituzioni, provenienti da ventisei Paesi Europei.

Tra queste istituzioni figurano università, industrie, laboratori di ricerca e operatori pubblici e privati, tutti coinvolti nella COST Action 231: "Evolution of Land Mobile Radio (including personal) Communications", il cui scopo era individuare le caratteristiche dei canali wireless, per poterli adeguatamente descrivere e porre le basi per i futuri sistemi integrati universali di nuova generazione.

Si tratta dei sistemi che allo stato attuale integrano telefonia cellulare, navigazione internet e funzionalità di global positioning; tra essi, in particolar modo, la COST Action 231 si è concentrata su quelli che sarebbero potuti essere gli sviluppi dell' UMTS (Universal Mobile Communication Systems).

L'UMTS, infatti, si presenta come un sistema multi-funzione, multi-servizio, e multi-applicazione, che fornisce servizi a banda larga.

Risulta interessante valutare quali sono le caratteristiche della propagazione outdoor-indoor per un tale sistema e determinare come avviene l'attenuazione del segnale nel passaggio dall'esterno all'interno di un edificio.

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Introduzione

I lavori della COST Action 231 hanno coperto un arco di sei anni e si sono conclusi nel 1996 con la pubblicazione del libro “COST 231: DIGITAL MOBILE RADIO TOWARDS FUTURE GENERATION SYSTEMS”, che costituisce appunto il final report di tutta la documentazione prodotta nell’ambito della COST Action 231.

Lo scopo del libro è duplice, per prima cosa si vuole fornire una panoramica delle ricerche intraprese in ambito Europeo per lo sviluppo di sistemi di telecomunicazione trans-europea e mondiale, in secondo luogo, l’obiettivo è di presentare nuovi approcci per risolvere i problemi che si pongono con lo sviluppo dei nuovi sistemi.

Le soluzioni a tali problemi nascono dalla collaborazione e interazione continue tra i membri della COST Action.

In particolare lo stesso acronimo COST mette in risalto la natura degli studi portati avanti, fondati sulla collaborazione tra gli Stati membri dell’Unione Europea; COST sta infatti per: “European Co-Operation in the field of Scientific and Technical research”, CoOperazione Europea nel campo della ricerca Scientifica e Tecnologica.

Nel seguito verrà descritto il modello per l’attenuazione da penetrazione proposto dal COST 231, soffermandoci sulle frequenze di interesse per la telefonia cellulare GSM e UMTS.

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni generali sui modelli di predizione della propagazione

Al fine di consentire un’adeguata predizione dell’andamento del segnale nell’ambiente ove esso si propaga, sono necessari modelli di predizione della propagazione che tengano conto delle effettive caratteristiche dell’ambiente in esame.

I metodi di predizione esistenti, quindi, consentono di descrivere un’ampia gamma di situazioni tipiche: macrocella, microcella, picocella, spazio libero, propagazione indoor e penetrazione del segnale all’interno di edifici.

Ciò che influenza l’applicazione di questi modelli sarà il contesto creato dall’ambiente reale, con i parametri che descrivono la forma e la dimensione di edifici e gli ostacoli presenti nell’ambiente in esame.

Il processo di creazione di un nuovo modello viene inteso, nel COST 231, come un metodo in tre stadi.

- Per prima cosa è necessario acquisire tutte le informazioni necessarie a descrivere in maniera completa l’ambiente in esame, cioè le caratteristiche del terreno (ad esempio l’altezza del terreno e la presenza di vegetazione) e di tutti gli edifici che sono interessati alla propagazione del segnale. Ovviamente le informazioni raccolte non possono riprodurre in maniera esatta l’ambiente studiato. Sarà necessario trovare un compromesso tra la necessità di dati completi ed il costo connesso con la raccolta e l’elaborazione di questi dati.
- Il secondo step riguarda la definizione di un modello matematico che, a partire dai dati raccolti, fornisca una descrizione accurata, seppur approssimata, dei meccanismi fisici della propagazione per le situazioni più semplici.

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni generali sui modelli di predizione della propagazione

- Infine il terzo passo consiste nell'estendere questi modelli semplici a situazioni più complesse; questo avviene, nel COST 231, utilizzando congiuntamente metodi deterministici (predizione mediante modello matematico) ed empirici (adeguamento dei modelli deterministici mediante dati reali acquisiti attraverso opportune campagne di misura).

Ciascuno dei modelli creati descrive come avviene la propagazione del segnale, focalizzando l'attenzione sul fenomeno fisico predominante nella particolare situazione studiata.

Nel caso della penetrazione outdoor-indoor il problema più importante è appunto poter descrivere cosa succede quando il segnale passa dall'ambiente esterno all'interno.

Quindi, il modello che descrive questo fenomeno prescinde dal tipo particolare di cella in questione, in quanto è stato appositamente generalizzato per poter predire l'attenuazione outdoor-indoor ed essere utilizzato in ogni tipo di cella.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni sul modello COST 231 per la penetrazione del segnale all’interno di edifici

Un metodo molto comune per valutare l’attenuazione da penetrazione consiste nel definirla in funzione del valore di attenuazione esterna, in prossimità dell’edificio considerato.

Pertanto il valore di attenuazione all’esterno, a distanza fissata, costituisce il livello di riferimento; ad esso poi si somma un valore costante che stima l’incremento di attenuazione dovuto ai muri dell’edificio.

Infine, per valutare l’attenuazione interna fino al punto in cui è situato il ricevitore, si aggiunge un termine funzione della distanza interna, dei muri interni attraversati dal segnale e delle caratteristiche dell’ambiente interno (mobilia, pilastri, etc).

Il problema con questo tipo di approccio è che la building penetration risulterà direttamente collegata al valore di L_{out} di riferimento.

A sua volta L_{out} può essere influenzata da numerosi fattori, tra cui l’angolo di incidenza sul muro e il segnale riflesso dal muro stesso, e quindi potrebbe non essere adatta come valore di riferimento per stimare L_{pen} .

Infatti, mentre l’onda incidente e quella riflessa contribuiscono entrambe a definire L_{out} , sicuramente l’onda riflessa non penetra nell’edificio e quindi, per poter usare L_{out} di riferimento, bisognerebbe ogni volta separare i contributi dell’onda incidente da quelli dell’onda riflessa, il che renderebbe le elaborazioni molto lunghe e complesse.

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni sul modello COST 231 per la penetrazione del segnale all’interno di edifici

Nel caso in cui sussista una condizione di LOS tra il trasmettitore ed almeno un muro dell’edificio, le onde incidenti sono distribuite su un ampio intervallo di angoli di incidenza, e quindi esse renderebbero molto complicato il calcolo di L_{out} di riferimento.

Soprattutto nel caso in cui ci siano più contributi dominanti, che arrivano non perpendicolarmente alla parete.

In tal caso la sovrapposizione delle onde si fa molto più complessa ed L_{out} è più difficile da stimare.

Per tutti questi motivi, nell’ambito del COST 231 si è ritenuto più valido un approccio diretto (direct modelling) per la definizione del modello riguardante la penetration loss.

Infatti, ciò che si è fatto, è stato definire un’espressione matematica che fornisse direttamente l’attenuazione totale in caso di penetrazione outdoor-indoor e che contenesse al suo interno tutti i termini: attenuazione outdoor, attenuazione da penetrazione e attenuazione indoor.

Questa espressione di L_{tot} contiene appunto la dipendenza angolare dall’angolo di incidenza esterno ed è valida nel caso LOS tra trasmettitore ed edificio.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni sul modello COST 231 per la penetrazione del segnale all'interno di edifici

Nell'ambito dell'edificio da noi esaminato, siamo appunto in condizioni LOS e pertanto il modello COST 231 per l'attenuazione outdoor-indoor sarà quello appena citato.

La situazione è diversa quando ci si trova in condizione NLOS, in tal caso il segnale raggiunge l'edificio attraverso fenomeni di diffrazione e riflessioni multiple, e poi penetra all'interno di esso attraverso le pareti.

Il caso NLOS rende il problema più complicato, in quanto non si riesce a definire un modello adatto per tutti i tipi di propagazione NLOS mediante il direct modelling.

Pertanto, nel caso di propagazione NLOS, il COST 231 fornisce un modello costituito dalla somma delle tre parti: $L_{tot} = L_{out} + L_{pen} + L_{in}$, in cui ci si basa su un valore di L_{out} di riferimento (in particolare l'attenuazione esterna ad 1m dal perimetro dell'edificio e circa 2m di altezza).

Inoltre, poiché nel caso NLOS non è presente segnale diretto, ma solo onde riflesse e diffratte, l'attenuazione totale sarà direttamente dipendente dall'altezza dell'antenna in trasmissione e dal tipo di cella considerata.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

L'attenuazione totale tra un'antenna trasmittente, posta all'esterno di un edificio, ed un ricevitore, posto all'interno di esso, è data dalla seguente formula:

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + WG_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

Si tratta della formula dell'attenuazione totale che tiene conto dei tre contributi di attenuazione outdoor, attenuazione indoor e attenuazione da penetrazione.

In particolare, il contributo dell'attenuazione outdoor è contenuto nei termini: $32.4 + 20 \log(f)$ e dipende dalle distanze esterne D ed S .

L'attenuazione da penetrazione dipende dalle costanti W_e e WG_e e dall'angolo di incidenza esterna, che verrà maggiormente descritto nel seguito.

Infine, l'attenuazione interna è contenuta nel termine $\max(\Gamma_1, \Gamma_2)$ e dipende dalla distanza interna d .

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

Si veda la figura 16 per individuare le distanze esterne ed interna e l'angolo di incidenza.

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + WG_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

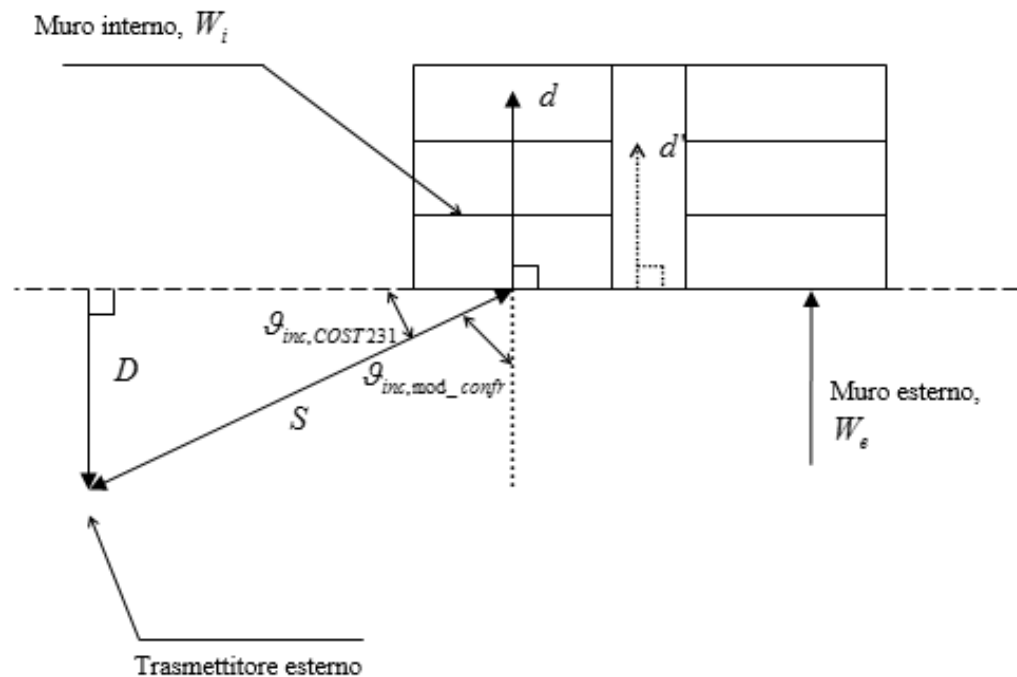


figura 16: Definizione degli angoli di incidenza nel caso del COST 231 e del modello di confronto. Definizione delle distanze esterne (D , S) ed interne (d , distanza interna attraverso muri interni, d' , distanza interna senza muri interni, ad esempio un corridoio).

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + W G_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

I logaritmi presenti sono logaritmi in base 10, le distanze S, d e D sono espresse in metri e la frequenza è espressa in GHz.

Il termine W_e rappresenta l'attenuazione del muro esterno, quando esso è illuminato perpendicolarmente, ed è espressa in dB.

Nel caso del modello di confronto questo parametro era stato opportunamente misurato e vale 17.2dB.

Nell'ambito del COST 231, W_e può assumere diversi valori a seconda delle caratteristiche del muro considerato.

Può andare dai 4 ai 20dB; i valori più bassi sono caratteristici di materiali come il legno ed il gesso; i muri di cemento armato, senza finestre, hanno invece coefficienti di attenuazione molto più elevati, tra i 10 ed i 20dB.

Una maggior dimensione delle finestre contribuisce a ridurre il valore di W_e , però le porte e finestre in vetro, con intelaiatura in metallo sono caratterizzate da penetration loss perpendicolare maggiore di 10dB.

Naturalmente i doppi vetri, i vetri smerigliati o quelli metallizzati hanno valori di W_e ancora maggiori.

Queste considerazioni aiutano a spiegare anche perché, nel caso del modello di confronto, si abbia $W_e = 17.2 \text{ dB}$.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + WG_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

Anche WG_e rappresenta un termine di attenuazione dovuto al muro, ed in particolare esso è un termine addizionale che tiene conto delle componenti radenti al muro, ovvero quelle per cui l'angolo di incidenza è $\theta_{inc}=0$ o comunque molto piccolo.

Il valore di WG_e viene stimato sui 20dB; anche nel modello di confronto è presente questo termine, e ha lo stesso valore, in quanto direttamente acquisito dal COST 231.

Gli altri termini dell'espressione dell'attenuazione dipendono dalla definizione delle distanze, si vedano pertanto le figure seguenti per avere un'idea della geometria del problema.

Successivamente verranno descritte più nel dettaglio queste distanze e gli angoli di incidenza, evidenziando le differenze rispetto al modello di confronto.

Come si può vedere dalla figura 16, l'angolo di incidenza, nel caso del COST 231, è definito come l'angolo tra la direzione di propagazione ed il muro dell'edificio; nel caso del modello di confronto, invece, tale angolo è quello che la direzione di propagazione forma con la perpendicolare al muro esterno, nel punto di incidenza del raggio primario.

Questa differenza è già stata posta in evidenza nella descrizione del modello di confronto.

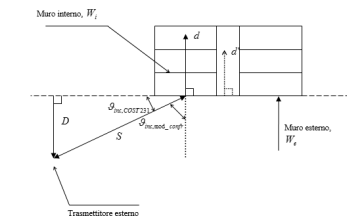


Figura 16: Definizione degli angoli di incidenza nel caso del COST 231 e del modello di confronto. Definizione delle distanze D, S ed interne (d, distanza interna attraverso muri interni, d', distanza interna senza muri interni, ad esempio un corridoio).

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + WG_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

Le distanze D e d sono distanze perpendicolari, mentre S è la distanza fisica tra l'antenna esterna ed il muro dell'edificio.

Ciò significa che, mentre nel caso di D e d il calcolo di queste distanze avviene come se ci trovassimo in due dimensioni, nel caso di S invece bisogna tenere conto anche dell'altezza dell'antenna in trasmissione, considerando le tre dimensioni del sistema. In pratica D rappresenta la proiezione ortogonale di S sul piano su cui giace d .

d , a sua volta, rappresenta la distanza interna del ricevitore dal muro perimetrale dell'edificio, ed è quindi posta ad un'altezza da terra pari all'altezza dell'antenna ricevente.

Come si vede dalla figura 16, e come era già stato accennato nel paragrafo Descrizione del modello di confronto, ed evidenziato in figura 5, la distanza interna nel modello COST 231 è una distanza perpendicolare rispetto al muro perimetrale dell'edificio e la penetrazione del segnale nel muro avviene nel punto più vicino al ricevitore.

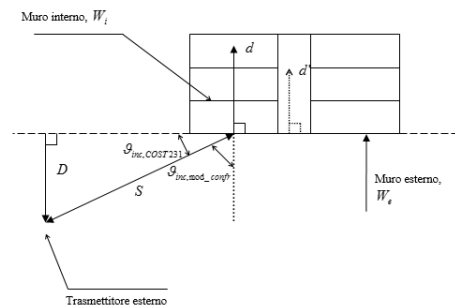


figura 16: Definizione degli angoli di incidenza nel caso del COST 231 e del modello di confronto. Definizione delle distanze esterne (D , S) ed interne (d , distanza interna attraverso muri interni, d' , distanza interna senza muri interni, ad esempio un corridoio).

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + W G_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

Resta da esplicitare l'ultimo termine $\max(\Gamma_1, \Gamma_2)$, per poter valutare da cosa dipende.

$$\Gamma_1 = W_i \cdot p \quad ; \quad \Gamma_2 = \alpha \cdot (d - 2) \cdot \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2$$

W_i rappresenta l'attenuazione dovuta alla presenza di muri interni, interposti tra il punto di penetrazione del segnale nell'edificio ed il ricevitore.

Il valore di W_i varia tra i 4 ed i 10dB, a seconda del tipo di materiale di cui sono costituiti i muri.

In particolare i valori più bassi sono tipici dei muri in legno e gesso, mentre i valori più alti sono caratteristici dei muri in cemento.

In generale l'attenuazione dovuta ai muri interni è inferiore rispetto al caso dei muri esterni, in quanto i muri interni sono tipicamente più sottili.

Inoltre si noti, sia per il caso dei muri interni, che per il caso dei muri esterni, che le perdite dovute ai muri, non sono necessariamente le perdite fisiche reali, ma si tratta di valori ottenuti mediante approssimazioni.

Tali approssimazioni sono state fatte al fine di ottenere valori di W_i e W_e (o $W G_e$) che rendessero il modello in accordo con i valori misurati; quindi tengono conto anche del fatto che il muro non è necessariamente costituito da un unico mezzo omogeneo.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + W G_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

Nell'espressione di Γ_i :

$$\Gamma_1 = W_i \cdot p$$

p indica invece il numero di muri interni presenti.

Ad esempio nel caso della figura 16, $p=0$ quando il segnale si propaga nel corridoio, e $p=2$ quando il segnale si propaga attraverso due muri interni ed il ricevitore è nella terza stanza.

Nel seguito, per l'ambiente considerato, p sarà posto pari a zero, in quanto non sono presenti muri interni nell'ambiente di interesse.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

COST 231 LOS, Building Penetration

$$L_{tot} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(S + d) + W_e + WG_e \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

Il termine Γ_2

$$\Gamma_2 = \alpha \cdot (d - 2) \cdot \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2$$

contiene l'espressione dell'attenuazione all'interno dell'edificio, in funzione della distanza d a cui è posto il ricevitore (distanza perpendicolare dal muro perimetrale) e del coefficiente di attenuazione interno α .

Nel COST 231 viene specificato che α è un parametro caratteristico dell'edificio in esame e che, in mancanza di misure ad hoc che ne forniscano il valore reale, se ne può utilizzare un valore medio pari a 0.6dB/m.

Nel seguito però si utilizzerà $\alpha=0.348 \text{ dB/m}$, in quanto tale valore è stato ricavato mediante misurazioni dirette per l'ambiente esaminato.

D/S è l'angolo di incidenza sulla parete esterna, cioè $\frac{D}{S} = \sin \theta_{inc, COST231}$

Si può notare che anche l'attenuazione interna dipende dall'angolo di incidenza esterno, questo per tenere conto del fatto che la frazione di segnale che penetra nell'edificio dipende dall'angolazione con cui l'onda incidente interagisce col muro.

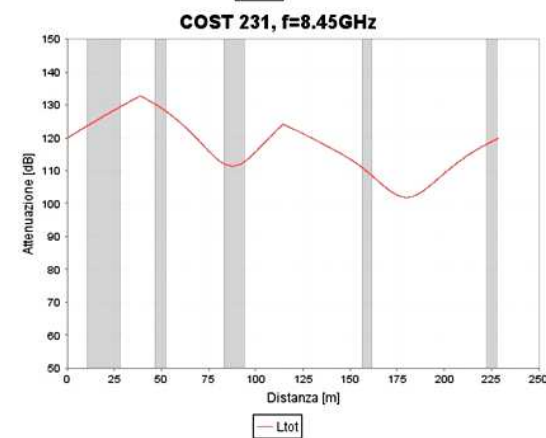
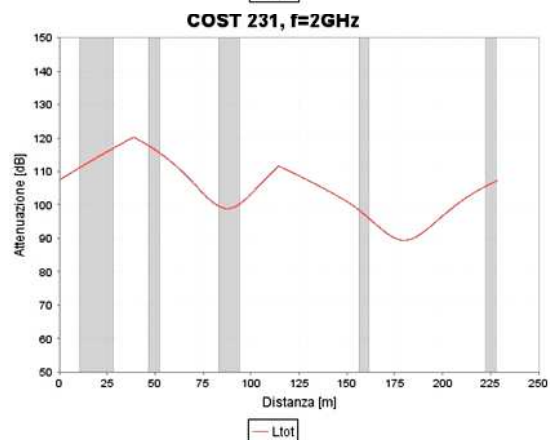
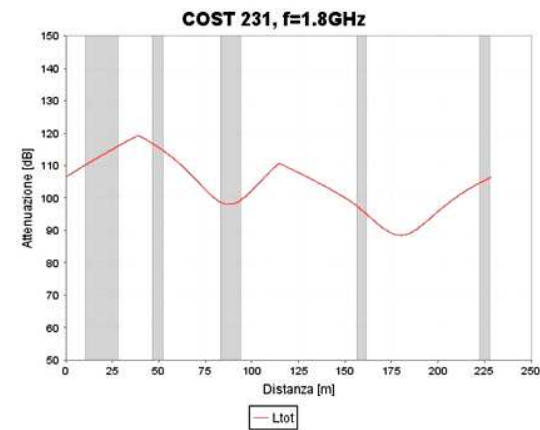
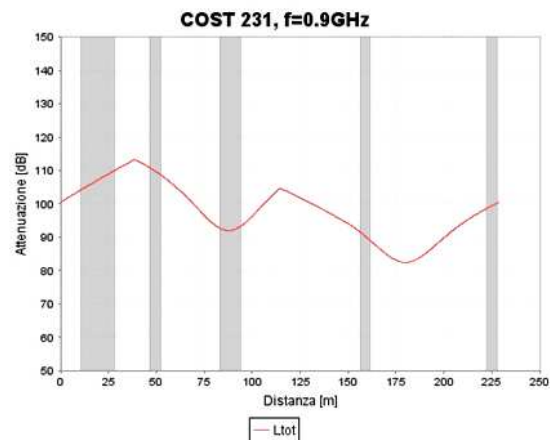
Nel seguito, poiché nell'ambiente sotto esame non sono presenti muri interni, non sarà necessario eseguire l'operazione di $\max(\Gamma_1, \Gamma_2)$, sarà sufficiente calcolare il termine di attenuazione interna in funzione di d in ciascun punto del measurement course.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Grafici per il COST 231

Nel seguito vengono riportati i valori di attenuazione graficati per il modello COST 231, alle seguenti frequenze di interesse: 0.9GHz, 1.8GHz, 2.3GHz e naturalmente 8.45GHz, che coprono, almeno in parte, il range di frequenze GSM e UMTS e, nell'ultimo caso, permettono un confronto diretto con le misure fatte per il modello di confronto.



Andamento dell'attenuazione totale, secondo il modello COST 231, a diverse frequenze

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni finali COST 231

Dai grafici precedenti si nota che l’attenuazione totale cresce con la frequenza, come ci si doveva aspettare, dal momento che la dipendenza dalla frequenza deriva dal termine di attenuazione esterna, a sua volta ricavato da un adattamento dell’attenuazione in free space.

A questo proposito si noti infatti che il termine correttivo costante, pari a 32.4 dB, ha appunto lo stesso valore che assume in caso di propagazione in free space.

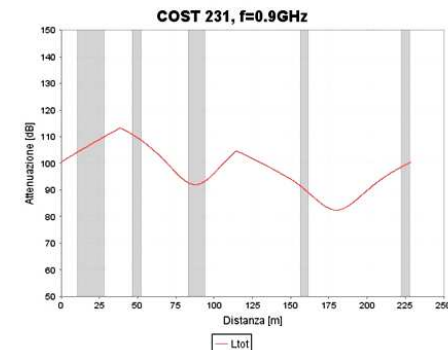
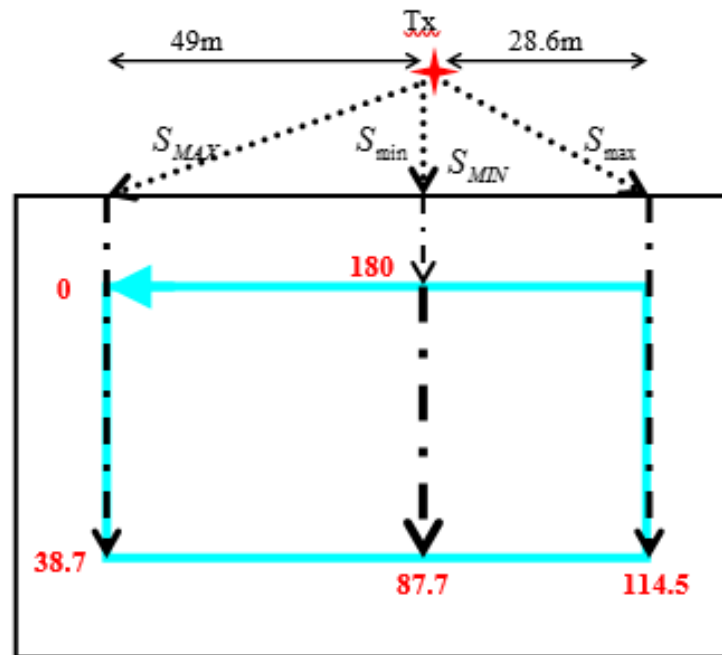


Figura 20: percorso di misura e grandezze significative per il COST231. In azzurro è evidenziato il measurement course, in rosso le coordinate su di esso corrispondenti ai punti di massimo e minimo di . Le distanze esterne sono da interpretarsi così: quelle aventi pedice in maiuscolo indicano punti di massimo o minimo assoluto, quelle aventi pedice in minuscolo indicano punti di massimo o minimo relativo.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni finali COST 231

La caratteristica che deve essere maggiormente messa in evidenza è invece l’andamento dell’attenuazione totale in funzione del punto sul measurement course in cui viene calcolata.

La curva infatti presenta una serie di massimi e di minimi che sono in corrispondenza, rispettivamente, dei punti in cui trasmettitore e ricevitore sono più lontani o più vicini.

Si veda a tal proposito la figura 20, che ripropone il percorso del measurement course evidenziando la posizione del trasmettitore, e nella quale vengono indicate le distanze relative ai massimi ed ai minimi della curva L_{tot} .

Nella figura 20, in rosso, sono segnate le coordinate più significative del measurement course, per il modello COST 231.

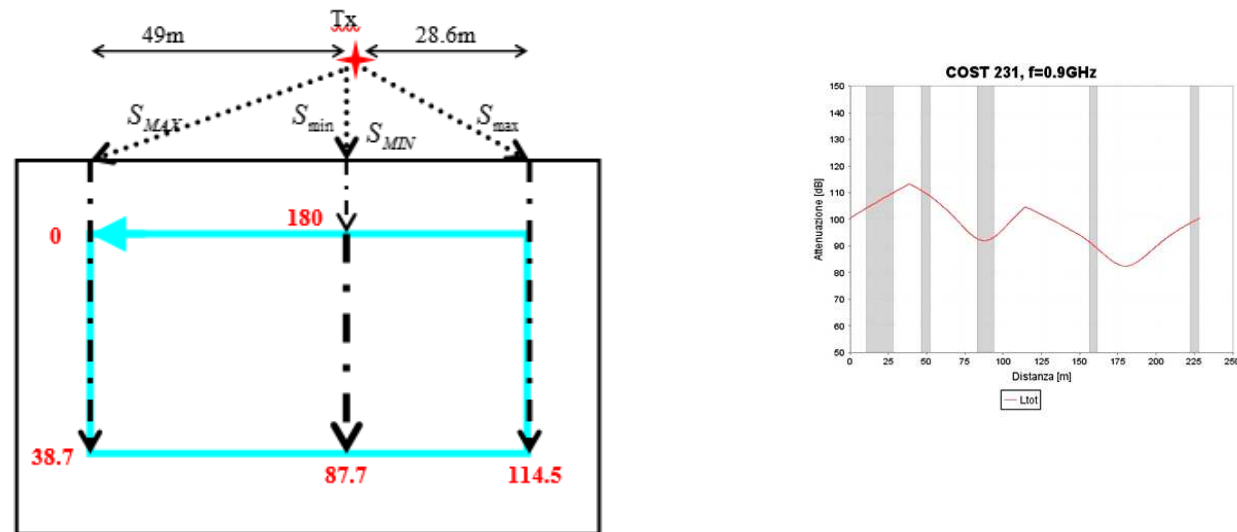


Figura 20: percorso di misura e grandezze significative per il COST231. In azzurro è evidenziato il measurement course, in rosso le coordinate su di esso corrispondenti ai punti di massimo e minimo di . Le distanze esterne sono da interpretarsi così: quelle aventi pedice in maiuscolo indicano punti di massimo o minimo assoluto, quelle aventi pedice in minuscolo indicano punti di massimo o minimo relativo.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni finali COST 231

Poiché il trasmettitore è in corrispondenza del punto a 180m sul measurement course, il primo punto di massimo dell'attenuazione, che è anche il punto di massimo assoluto, lo si raggiunge al termine del primo tratto del measurement course, quello compreso tra 0 e 38.7m.

Lungo questo tratto, infatti, la distanza esterna (distanza fisica S_{MAX}) è fissata ed ha il valore più grande possibile per il nostro sistema, ciò che cambia è solo la distanza interna, che aumenta passando da 13m, nel punto iniziale del measurement course, a 51.7m, nel punto finale di questo primo tratto.

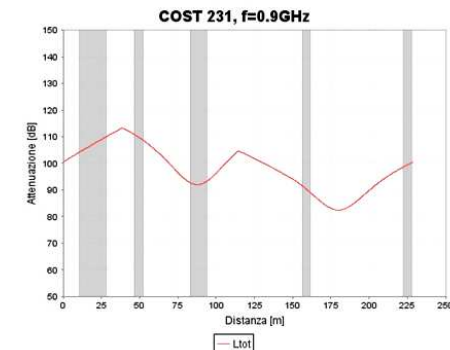
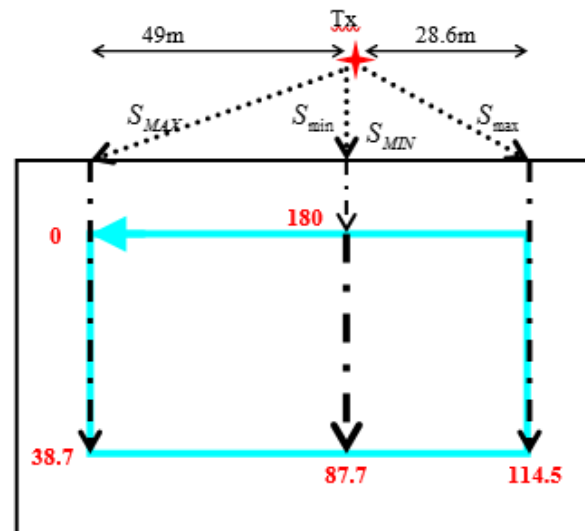


Figura 20: percorso di misura e grandezze significative per il COST231. In azzurro è evidenziato il measurement course, in rosso le coordinate su di esso corrispondenti ai punti di massimo e minimo di . Le distanze esterne sono da interpretarsi così: quelle aventi pedice in maiuscolo indicano punti di massimo o minimo assoluto, quelle aventi pedice in minuscolo indicano punti di massimo o minimo relativo.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni finali COST 231

Successivamente l'attenuazione totale ha un tratto discendente che si conclude con un minimo relativo, esattamente di fronte al punto in cui è situato il trasmettitore esterno.

L'ascissa del punto di minimo è infatti 87.7m.

In questo caso però si tratta di un minimo solo relativo in quanto la distanza interna è invece massima, pari 51.7m.

Si ricordi che la distanza interna è misurata perpendicolarmente rispetto al muro perimetrale.

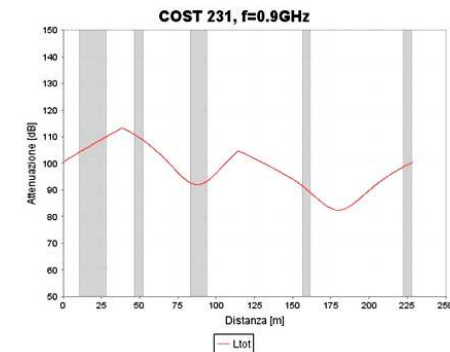
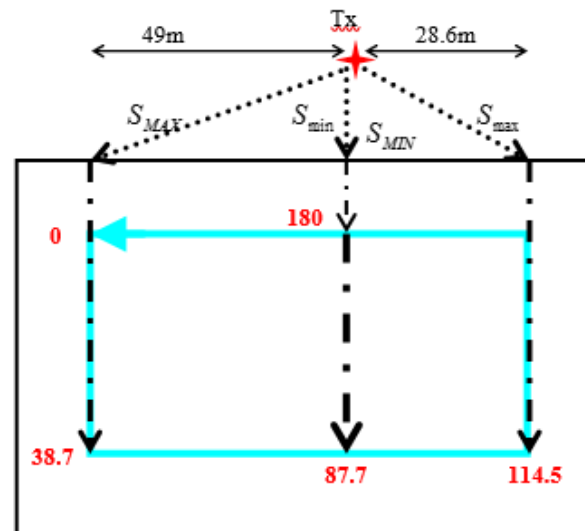


Figura 20: percorso di misura e grandezze significative per il COST231. In azzurro è evidenziato il measurement course, in rosso le coordinate su di esso corrispondenti ai punti di massimo e minimo di . Le distanze esterne sono da interpretarsi così: quelle aventi pedice in maiuscolo indicano punti di massimo o minimo assoluto, quelle aventi pedice in minuscolo indicano punti di massimo o minimo relativo.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni finali COST 231

Un altro massimo, questa volta un massimo relativo, si ha in corrispondenza della distanza 114.5m sul measurement course, nel punto di congiunzione del secondo tratto col terzo tratto del percorso di misura.

Anche in questo caso la distanza interna è massima e pari a 51.7m.

Infine il punto di minimo assoluto nella curva si ha quando sono contemporaneamente minime la distanza interna e quella esterna.

Ciò accade nel punto del measurement course pari a 180m, ovvero davanti al trasmettitore e in corrispondenza di $d_{in}=13m$ e $S_{MIN}\approx 17.205m$.

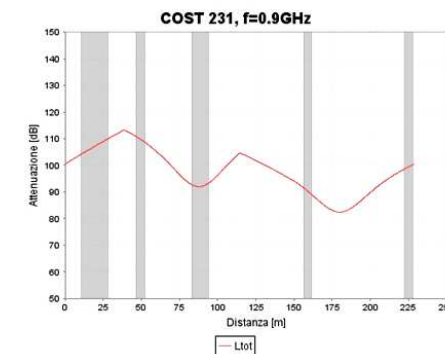
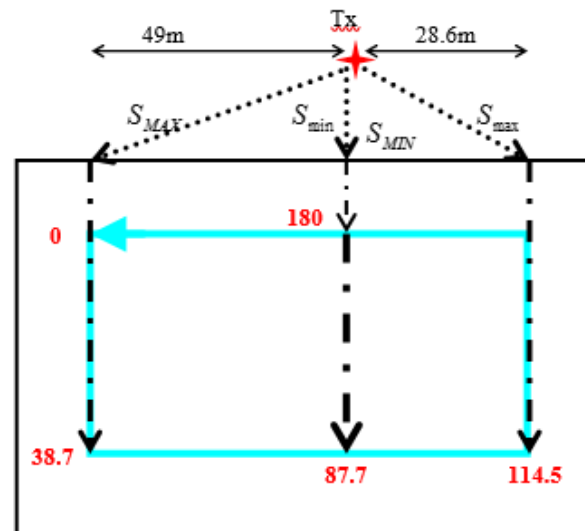


Figura 20: percorso di misura e grandezze significative per il COST231. In azzurro è evidenziato il measurement course, in rosso le coordinate su di esso corrispondenti ai punti di massimo e minimo di . Le distanze esterne sono da interpretarsi così: quelle aventi pedice in maiuscolo indicano punti di massimo o minimo assoluto, quelle aventi pedice in minuscolo indicano punti di massimo o minimo relativo.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

COST 231 - “Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems” (1996)

Considerazioni finali COST 231

Questo andamento dell'attenuazione totale dipende dal fatto che, nel COST 231, i fattori che incidono maggiormente sul valore dell'attenuazione nella penetrazione del segnale da outdoor a indoor sono le distanze e l'angolo di incidenza esterno.

Ciò è conseguenza del fatto che il muro dell'edificio viene considerato come se fosse omogeneo e caratterizzato in tutti i punti dalla stessa costante di perdita (We o WGe , a seconda dell'angolo di incidenza), di conseguenza il segnale non ha punti di ingresso preferenziali ed è del tutto logico aspettarsi che l'attenuazione sia funzione delle distanze e dell'angolo di incidenza.

Questa è anche la principale differenza del COST 231 rispetto al modello di confronto, in quanto quest'ultimo, invece, prevede che i punti di ingresso del segnale siano le aperture sulle pareti e che quindi l'andamento di L_{tot} dipenda sì dalle distanze, ma principalmente dagli angoli di incidenza esterno ed interno.

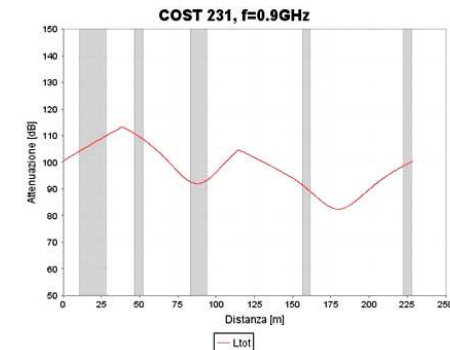
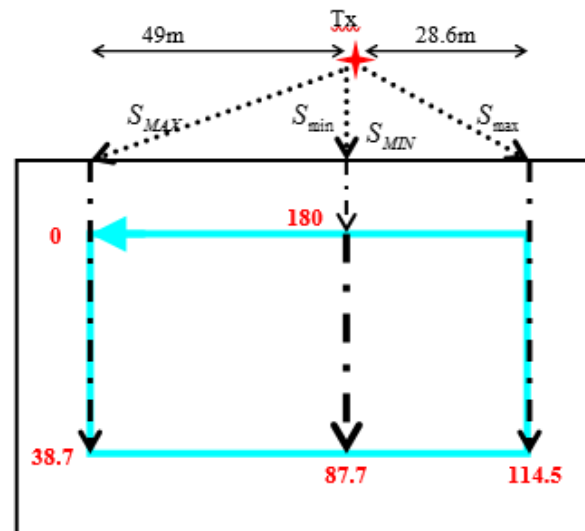


Figura 20: percorso di misura e grandezze significative per il COST231. In azzurro è evidenziato il measurement course, in rosso le coordinate su di esso corrispondenti ai punti di massimo e minimo di . Le distanze esterne sono da interpretarsi così: quelle aventi pedice in maiuscolo indicano punti di massimo o minimo assoluto, quelle aventi pedice in minuscolo indicano punti di massimo o minimo relativo.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Introduzione al modello

Il modello qui descritto in realtà si suddivide in tre sub-modelli, che sono stati ricavati grazie a campagne di misura ad hoc, in zone ad alta e media densità di urbanizzazione.

Si tratta di modelli ottenuti per specifiche frequenze, partendo dal presupposto che, per ogni frequenza, sia necessario riadattare e regolare i diversi parametri che compaiono nelle formule dell'attenuazione.

In realtà lo scopo dello studio e degli esperimenti effettuati era quello di fornire sia una formulazione per l'attenuazione outdoor-indoor, che per l'attenuazione prettamente indoor, ma nel seguito ci focalizzeremo sul problema dell'attenuazione outdoor-indoor.

Il procedimento seguito per ottenere ciascun sub-modello si basa sul direct modelling.

Ciò significa che l'attenuazione outdoor-indoor non viene intesa come la semplice somma di tre parti (attenuazione esterna, attenuazione da penetrazione e attenuazione interna), bensì come l'interazione di queste tre componenti, ma non in modo indipendente le une dalle altre.

Il meccanismo che lega l'attenuazione esterna a quella interna, e a quella da penetrazione, risulta più complesso e l'andamento viene ricavato mediante campagna di misura, per ognuna delle frequenze di interesse.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Introduzione al modello

In un certo senso questo ragionamento è simile a quello del COST 231, ma lo si potrebbe considerare come se fosse stato portato alle estreme conseguenze.

All'interno della formula di L_{tot} , nel COST 231, era ancora possibile distinguere alcuni termini caratteristici della propagazione outdoor, ed in particolare della propagazione in free space (come il fattore correttivo pari a 32.4 e la dipendenza dalla frequenza nel termine $20 \cdot \log f$), mentre, nel modello che verrà qui descritto, si noterà che il direct modelling si fa ancora più spinto.

Infatti, per ognuna delle tre frequenze studiate, esiste una formulazione differente dell'attenuazione totale, con parametri propri e diversi dagli altri casi.

Naturalmente, da quanto appena detto, si deduce che il ragionamento per ottenere i modelli di propagazione outdoor-indoor, è completamente diverso da quello portato avanti per il modello di confronto.

Un altro fatto, che è necessario evidenziare fin da subito, è che, in questo articolo, viene espressamente detto che le perdite dei muri tendono a decrescere all'aumentare della frequenza del segnale.

E questo fatto è in parziale disaccordo con quanto invece affermato sia nel modello di confronto che nel COST 231; in entrambi questi modelli infatti l'attenuazione totale è direttamente proporzionale alla frequenza, e quindi cresce con essa, e i termini relativi alle perdite dovute ai muri (W_e e WG_e) vengono definiti praticamente costanti rispetto alla frequenza.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Descrizione delle campagne di misura svolte per ricavare il modello

Gli esperimenti sono stati fatti utilizzando un trasmettitore in posizione fissa ed un ricevitore mobile, che veniva spostato all'interno degli edifici.

Ogni gruppo di misure del segnale, acquisite in una singola stanza, veniva poi utilizzato per ricavare il valore medio di attenuazione della stanza stessa. In seguito, le singole misure sono state normalizzate rispetto a questo valore medio.

Il valore medio è stato calcolato attraverso una media mobile su oltre duecento campioni consecutivi.

Nell'ambito delle misurazioni effettuate, l'attenuazione outdoor-indoor totale, è stata calcolata come differenza tra il valore del segnale misurato all'esterno, intorno al perimetro dell'edificio considerato, ed il valore medio all'interno di ciascuna stanza dell'edificio.

Il valore esterno di riferimento è stato misurato a livello della strada, nel punto più vicino possibile ai muri esterni.

Si noti che, pur utilizzando il valore del segnale all'esterno come dato di input per ricavare una formula per il path loss totale, questo modello sfrutta il direct modelling, in quanto, come si vedrà nel seguito, la formula finale di L_{tot} non contiene un termine L_{out} indipendente.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Descrizione delle campagne di misura svolte per ricavare il modello

Il valore del segnale all'interno non è derivato dal valore all'esterno, perché così facendo si perderebbe in accuratezza.

Di conseguenza è meglio studiare l'andamento dell'attenuazione totale direttamente e non intendendo il modello per l'attenuazione outdoor-indoor come mera estensione dei modelli outdoor.

Questo ragionamento è analogo a quello fatto per il modello proposto dal COST 231.

Si può dire che la misura del segnale all'esterno ha uno scopo prettamente pratico (per poter determinare la differenza tra il segnale all'esterno e quello all'interno) per poter, in seguito, ricavare una formulazione generale di L_{tot} .

La caratteristica fondamentale del modello che stiamo ora analizzando è che, per ricavare una formula dell'attenuazione totale, è stata fatta una campagna di misura molto lunga e complessa.

Lo scopo di questa campagna di misura era quello di raccogliere una grande collezione di dati, per poter acquisire il maggior numero possibile di informazioni su ambienti e situazioni anche molto diversi.

Attraverso tutti questi dati, poi, sarebbe stato possibile ricavare un modello di previsione dell'attenuazione outdoor-indoor adatto pressoché ad ogni situazione; il modello si sarebbe rivelato estremamente generale e, quindi, molto potente, perché utilizzabile sempre.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Descrizione delle campagne di misura svolte per ricavare il modello

A questo punto è interessante descrivere come sono state svolte le campagne di misura, ricordando che, per ogni edificio, sono state effettuate misurazioni all'interno (in molte stanze e su diversi piani), nonché misurazioni all'esterno (lungo il perimetro).

Una parte della campagna di misura è stata condotta nel campus dell'Università di Liverpool e un'altra parte nel centro della città.

La scelta di questi due ambienti così diversi deriva dal fatto che, proprio la diversità degli stessi, permetteva di valutare l'andamento dell'attenuazione sia in caso di area mediamente urbanizzata (il campus universitario), che di area fortemente urbanizzata (il centro città).

All'interno del campus universitario sono stati condotti 40 test, alle frequenze di 900, 1800 e 2300MHz, per valutare l'andamento del segnale trasmesso all'interno di edifici, a diversi piani e per poter quindi anche ottenere informazioni sulla dipendenza dell'attenuazione dalla frequenza.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Descrizione delle campagne di misura svolte per ricavare il modello

Per questi test sono stati selezionati quattro edifici, dei quali è stata data una descrizione riassuntiva.

Si trattava di:

- Dipartimento di Ingegneria Elettrica (blocco A), un edificio di sette piani, alto 27m, avente una superficie di 936m², con struttura esterna a supporto metallico, al cui interno sono situati uffici, ampi laboratori e ampie stanze, aventi larghe finestre;
- Dipartimento di Ingegneria Elettrica (blocco B), un edificio di quattro piani, 15m di altezza, con una superficie di 700m², con struttura esterna uguale a quella del blocco A, con uffici, sale di ricerca, ampi laboratori e caratterizzato da ampie finestre;
- Dipartimento di Computer Science, costituito da dieci piani, alto 33m, avente superficie di 280m², la cui struttura è in cemento armato, con all'interno uffici e laboratori e caratterizzato da ampie finestre.;
- Dipartimento di Life Science, un edificio di undici piani, di 43m di altezza, con una superficie di 729m², anch'esso in cemento armato e con all'interno uffici e laboratori. Anche in questo caso sono presenti ampie finestre, ma vi è anche una struttura annessa di tre piani.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Descrizione delle campagne di misura svolte per ricavare il modello

Come si può notare dalla precedente descrizione, sono stati scelti edifici abbastanza eterogenei nei materiali e nelle dimensioni e al cui interno erano presenti stanze differenti per tipologia e dimensioni.

Ci si poteva pertanto concentrare, non più sulle differenze tra gli ambienti studiati, bensì sulle analogie tra i risultati ottenuti. Come conseguenza di queste considerazioni, l'andamento differente a frequenze diverse avrebbe potuto mettere in maggior risalto la dipendenza dell'attenuazione dalla frequenza stessa e non dal particolare edificio studiato.

Altri 46 esperimenti sono stati condotti nel campus ed in centro città con lo scopo di valutare gli effetti, in termini di attenuazione, della penetrazione del segnale al pianterreno di un edificio, ad una frequenza pari a 1800MHz.

Per fare questi test sono stati selezionati 10 edifici nel campus universitario e 13 edifici nel centro città.

In tutti questi esperimenti si è provveduto a spostare il ricevitore e a modificarne l'altezza, per valutare l'andamento dell'attenuazione in funzione sia della posizione relativa tra trasmettitore e ricevitore, che dell'altezza dell'antenna trasmittente rispetto alla posizione del ricevitore.

In particolare, per ogni edificio sotto esame, si sono raccolte le misure per il trasmettitore in due posizioni diverse e a due altezze diverse.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Descrizione delle campagne di misura svolte per ricavare il modello

Il range di altezze del trasmettitore è abbastanza vario, si passa da un'altezza massima di 50m (sopra il tetto di un palazzo del centro città) ad un'altezza minima di 25m (sempre in centro città).

Però, nella formulazione finale dell'attenuazione, non vi è alcuna dipendenza dall'altezza dell'antenna trasmittente; al contrario, la scelta di modificare, per quanto possibile, l'altezza di tale antenna durante gli esperimenti era stata fatta proprio con lo scopo di determinare un modello per l'attenuazione outdoor-indoor che non ne fosse dipendente.

Anche in questa nuova serie di esperimenti, viene data ampia descrizione degli edifici nei quali sono state effettuate le misure, ed infatti è stato testato l'andamento del segnale in condizioni molto diversificate.

Le misure sono state acquisite all'interno di edifici con muri in cemento armato, mattoni o vetro.

Le stanze erano sia stanze di piccole dimensioni (ad esempio un ufficio di $2m \times 3m$), che stanze molto ampie (ad esempio una open area di $100m \times 30m$).

Inoltre erano diverse tra loro anche le aperture sulle pareti di questi edifici, in alcuni casi si trattava di piccole finestre, in altri casi di ampie porte in vetro o addirittura di pareti interamente in vetro.

Sia nel caso di area fortemente urbanizzata (centro città) che di area mediamente urbanizzata (campus universitario), si è cercato di scegliere, per le misure, edifici che presentassero un'ampia variabilità, in termini sia di dimensioni delle stanze, che di tipologia delle pareti e di aperture (finestre o porte) sulle stesse.

Un particolare che però si nota è che, nel caso del campus universitario, le stanze esaminate sono mediamente più grandi e le aperture più piccole.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Descrizione delle campagne di misura svolte per ricavare il modello

Dai risultati delle misurazioni si è ricavato che, in caso di area densamente urbanizzata, l'attenuazione del segnale al pianterreno degli edifici non dipendeva strettamente dalla posizione del trasmettitore.

Questo perché, in presenza di shadowing totale o parziale da parte di altri edifici, comunque il segnale era in grado di raggiungere il ricevitore mediante percorsi alternativi, frutto di riflessioni e diffrazione e dell'effetto tunnelling da parte delle strade.

Nel caso invece di area mediamente urbanizzata (edifici più bassi e strade più larghe), l'attenuazione del segnale dipende in modo maggiore dalla posizione del trasmettitore rispetto al ricevitore e quindi dalla condizione di LOS e dall'angolo di illuminazione dell'edificio considerato.

Poiché nel modello analizzato si è alla ricerca di una formula più generale possibile, che copra tutti i possibili scenari, i dati raccolti per l'area densamente urbanizzata e quelli per l'area mediamente urbanizzata sono stati confrontati e, nel successivo processo di modelling, sono stati utilizzati per ottenere una formulazione di L_{tot} che fosse valida in entrambi i casi.

Resta da sottolineare il fatto significativo che l'attenuazione da penetrazione dovuta ai muri ha dato come risultato medio 17dB, in pieno accordo con i valori suggeriti dal COST 231 che prevede un'attenuazione delle pareti media di circa 20dB, considerando sia i raggi che incidono perpendicolarmente alla parete, che quelli con direzione radente.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Formulazione del modello di predizione dell’attenuazione e grafici

Una volta ultimate tutte le misurazioni e valutati i valori medi di attenuazione in tutte le situazioni studiate, si è potuta derivare una formula che consente di valutare il path loss totale (ovvero l’attenuazione totale) che il segnale subisce in condizioni di penetrazione all’interno di un edificio.

Il metodo utilizzato per ottenere la formula di L_{tot} è una combinazione di metodi analitici ed empirici.

Con metodo analitico si intende il processo mediante il quale si cerca una formulazione matematica che segua l’andamento dei dati misurati, mentre con metodo empirico si intende il processo di modificare i parametri della formula analitica in modo che i valori previsti si avvicinino il più possibile ai dati reali.

Il procedimento complessivo non è semplice né immediato, perché prima di arrivare alla formula analitica corretta bisogna individuare i fattori che effettivamente hanno effetto sul segnale e occorre eliminare quelli che non hanno influenza o il cui contributo è trascurabile.

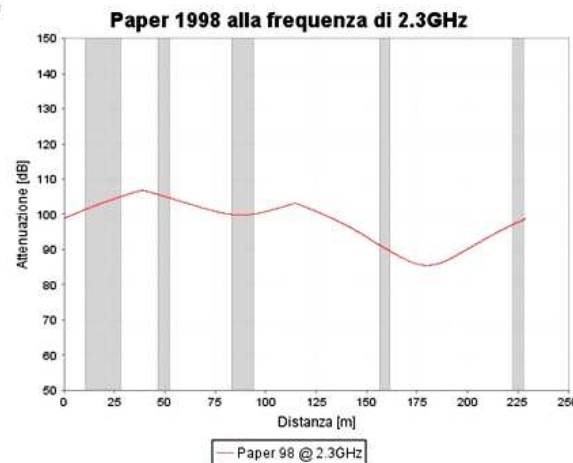
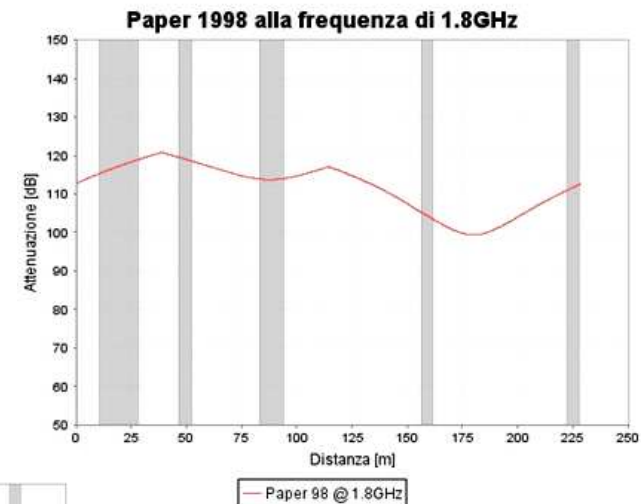
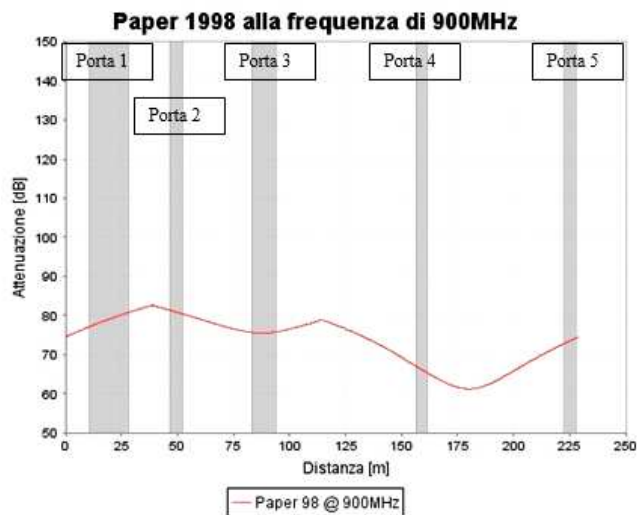
Inoltre, in presenza di molte variabili, bisognerà definire l’insieme di quelle necessarie e cercare di mantenere la formula finale nella forma più semplice possibile.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Formulazione del modello di predizione dell’attenuazione e grafici

Nel seguito vengono riportati i grafici dell’attenuazione totale, relativi alla geometria del modello di confronto, lungo il measurement course.



Andamento dell’attenuazione totale, secondo il modello 1998, a diverse frequenze

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Formulazione del modello di predizione dell’attenuazione e grafici

Vengono riportate nel seguito le formule per il calcolo dell’attenuazione totale, a partire dal trasmettitore, fino al ricevitore situato all’interno di un edificio, per le tre frequenze di interesse di questo articolo:

$$\begin{aligned} L_{tot@900} &= -37.7 + 40 \log d + 17.6 \log A_f - 27.5 S_Q && \text{per } f = 900 \text{ MHz} \\ L_{tot@1800} &= -27.9 + 40 \log d + 23.3 \log A_f - 20.9 S_Q && \text{per } f = 1800 \text{ MHz} \\ L_{tot@2300} &= -7.9 + 40 \log d + 16.1 \log A_f - 27.3 S_Q && \text{per } f = 2300 \text{ MHz} \end{aligned}$$

Si noti che le variabili che influenzano l’andamento dell’attenuazione totale sono state ridotte a tre: la distanza tra il trasmettitore ed il ricevitore (d), la superficie della stanza in cui è situato il ricevitore (A_f), il numero di muri direttamente in visibilità del trasmettitore (S_Q).

La distanza è espressa in m, l’area della stanza in m² ed il numero di pareti viste dal trasmettitore è, ovviamente, un numero puro.

Per prima cosa si nota che, a parità di distanza e considerando la medesima stanza, al crescere della frequenza, il fattore peso relativo alla distanza è l’unico che si mantiene costante, mentre il termine iniziale si riduce (in valore assoluto) via via che la frequenza aumenta.

Infine il termine dipendente dalle condizioni di illuminazione dell’edificio e quello dipendente dalla superficie della stanza aumentano nel passare dai 900 ai 1800MHz, per poi ridiminuire nel passare dai 1800 ai 2300MHz.

Si noti che, come era ovvio aspettarsi, la condizione di illuminazione diretta dell’edificio comporta una diminuzione dell’attenuazione totale.

Più sono i muri in visibilità diretta del trasmettitore, minore sarà l’attenuazione complessivamente subita dal segnale.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Commenti sui grafici e conclusioni

Come si può notare dalle precedenti figure, l'attenuazione totale assume valori diversi, in funzione della frequenza considerata.

In particolar modo non si riesce a definire un andamento generale, in funzione delle variazioni di frequenza. Infatti nel passare dai 900MHz ai 1800MHz, L_{tot} cresce, per poi ridiminuire quando si considerano i 2300MHz.

Come nel caso del COST 231, anche in questo modello, il minimo assoluto della curva lo si ha in corrispondenza della distanza minima tra trasmettitore e ricevitore, ovvero nel punto del measurement course pari a 180m.

Infatti, come nel COST 231, anche nel modello che stiamo studiando non sussistono punti di ingresso preferenziali del segnale all'interno dell'edificio, ma si prevede che esso si possa trasmettere attraverso qualunque punto del muro e quindi, per ogni posizione del ricevitore, si considera, come punto di ingresso del segnale, quello più vicino al ricevitore.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 1998 - “Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800, and 2300 MHz” (A. F. de Toledo, A. M.D. Turkmani and J. D. Parsons)

Commenti sui grafici e conclusioni

Le differenze fondamentali tra il modello che stiamo analizzando e il modello di confronto possono essere riassunte nei seguenti punti:

- 1) il modello di confronto non è un esempio di direct modelling, in quanto l'attenuazione totale è ottenuta come somma di termini separati e calcolabili indipendentemente l'uno dall'altro; il modello in esame è invece un caso di direct modelling, dove l'attenuazione totale è una combinazione di termini in cui L_{out} , L_{pen} e L_{in} non compaiono separatamente;
- 2) nel modello di confronto L_{tot} dipende linearmente dalla frequenza, attraverso il termine L_{out} , mentre, nel caso del modello in esame, questa dipendenza dalla frequenza non viene esplicitata, e, anzi, ogni frequenza tra quelle esaminate è caratterizzata da un sub-modello a sé. Non è pertanto chiaro quale debba essere l'andamento di L_{tot} in funzione di f e se la conseguenza sia che, per ogni possibile frequenza, si debba ricavare un nuovo sub-modello;
- 3) il modello in esame, pur considerando la condizione di illuminazione diretta dell'edificio come un fattore che fa diminuire l'attenuazione totale, non fa dipendere L_{tot} dall'angolo di incidenza del raggio primario sulla parete. Al contrario, nel modello di confronto [26], la dipendenza dell'attenuazione dall'angolo di incidenza è molto marcata, ed inoltre si considera sia l'angolo di incidenza esterno, che quello interno;
- 4) la formula del modello in esame è del tutto generale, valida per tipologie di edifici molto diversi e per materiali diversi, e non richiede che vengano fatte misure ad hoc per determinare i fattori di perdita dei muri (W_e o WG_e), o il coefficiente di attenuazione interna (α). L'ambiente considerato nel modello di confronto è stato invece oggetto di misure ad hoc per ricavare questi parametri.

Infine, come ultime considerazioni su questo modello, si noti che non vi è distinzione tra distanza interna e distanza esterna, come è logico aspettarsi nel caso del direct modelling, e come già succedeva per il COST 231, e che, nel confronto con il modello di confronto, questo modello sarà l'unico per il quale non sarà necessario utilizzare i parametri direttamente misurati W_e , WG_e e α , giacché non risultano necessari per il calcolo di L_{tot} .

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Introduzione al modello

Il modello che verrà nel seguito descritto è in realtà un modello per la predizione dell'attenuazione outdoor-indoor-outdoor.

Il modello fornisce un'espressione dell'attenuazione nel caso in cui il trasmettitore sia situato davanti ad un edificio ed il ricevitore sia situato all'esterno, ma dietro l'edificio considerato.

In pratica si tratta del caso in cui il ricevitore sia in una zona d'ombra generata da un edificio e il segnale non possa raggiungere il ricevitore mediante fenomeni di riflessione e diffrazione.

Pertanto lo studio si concentra sulla trasmissione del segnale attraverso l'edificio.

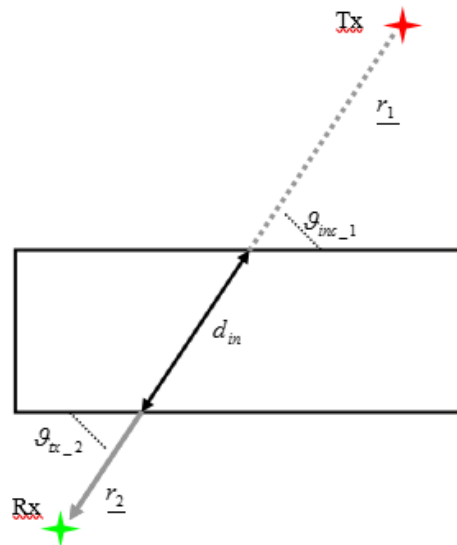


Figura 24: direzioni di propagazione outdoor-indoor-outdoor del raggio principale per il modello in esame

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Introduzione al modello

Con “attraverso” si intende il fatto che il segnale passerà attraverso il primo muro dell’edificio, si propagherà al suo interno per un certo tratto, fino ad essere poi trasmesso nuovamente all’esterno attraverso il secondo muro perimetrale.

La caratteristica fondamentale del modello qui esaminato è che esso è validato espressamente per $f=1.9\text{ GHz}$, in quanto il valore di un parametro (costante dielettrica relativa per il cemento armato) varia con la frequenza.

In realtà, nel seguito considereremo il modello alla frequenza di 1.8GHz, partendo dal presupposto che ε_r è praticamente costante in un intervallo di 100MHz.

Si veda la figura 24 per un rappresentazione schematica della propagazione del segnale.

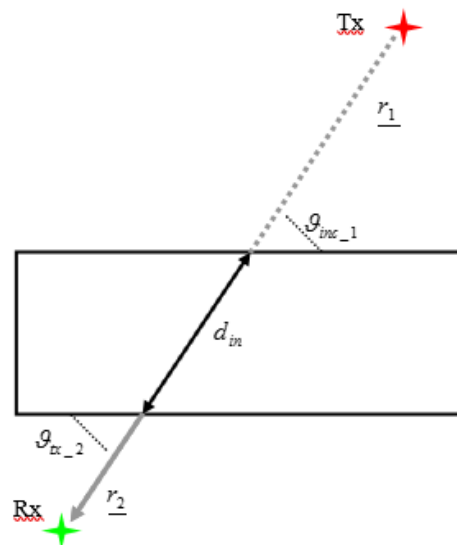


Figura 24: direzioni di propagazione outdoor-indoor-outdoor del raggio principale per il modello in esame

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Introduzione al modello

Dalla figura presentata si nota che questa volta le distanze sono intese in modo molto diverso rispetto ai tre modelli finora analizzati.

In particolare, non vi è una vera e propria distinzione tra distanze esterne e distanza interna, la distanza interna è il semplice proseguo di quella esterna.

Un altro aspetto da mettere in evidenza è il fatto che il modello fornisce una formula complessiva per la predizione dell'attenuazione da penetrazione e per l'attenuazione indoor, cioè un'unica espressione per $L_{pen} + L_{in}$, senza indicare quale debba essere l'espressione da utilizzare per l'attenuazione esterna (L_{out} , ovvero l'attenuazione dal trasmettitore al primo muro e dal secondo muro al ricevitore).

Infatti si può notare che la somma dei termini $L_{pen} + L_{in}$ viene considerata un eccesso di attenuazione dovuta all'edificio ed è definita building-transmission loss (perdita per trasmissione nell'edificio).

Occorrerà quindi, a seconda dello scenario analizzato, decidere quale espressione utilizzare per l'attenuazione esterna, e calcolare l'attenuazione complessiva come $L_{tot} = L_{out} + (L_{pen} + L_{in})$.

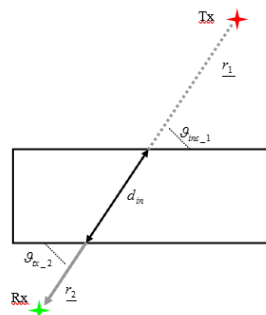


Figura 24: direzioni di propagazione outdoor-indoor-outdoor del raggio principale per il modello in esame

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Introduzione al modello

Dal punto di vista della nostra analisi, non interessa valutare l'andamento del termine di trasmissione indoor-outdoor, ma sarà sufficiente limitarsi allo studio solo della prima parte del processo di trasmissione, ovvero quella outdoor-indoor, considerando il trasmettitore esterno ed un ricevitore situato all'interno dell'edificio.

Il modello di trasmissione che viene qui presentato non necessita di informazioni troppo dettagliate sull'edificio in esame.

Risulteranno necessarie soltanto le informazioni relative alle coordinate esterne dell'edificio, ovvero le informazioni riguardo alle sue dimensioni, e la conoscenza del materiale che costituisce pareti.

La formula relativa all'attenuazione da penetrazione e propagazione indoor, infatti, necessita della costante dielettrica relativa del muro esterno alla frequenza di interesse.

Nel nostro caso la frequenza di interesse è 1.8GHz e la costante dielettrica relativa per il muro in cemento armato è stata scelta pari 5, in quanto, per questa frequenza, tale valore si era già dimostrato valido in altri lavori presentati in letteratura.

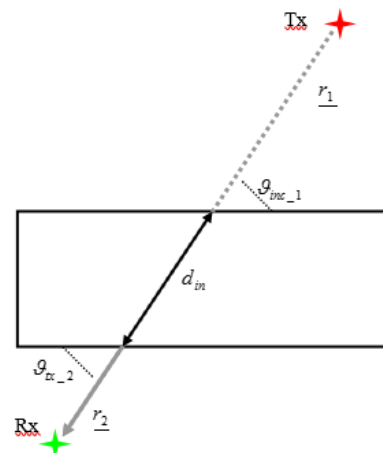


Figura 24: direzioni di propagazione outdoor-indoor-outdoor del raggio principale per il modello in esame

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Introduzione al modello

Infine, relativamente al tratto di propagazione indoor del segnale, viene utilizzato un coefficiente di attenuazione lineare α , caratteristico per l'edificio in esame.

L'interno dell'edificio viene trattato come un mezzo omogeneo, senza tener conto, punto per punto, delle caratteristiche differenti.

In mancanza di un valore di α misurato, viene suggerito di utilizzare un valore medio, pari a 2.1dB/m, ma, nel nostro caso, poiché nell'ambito della campagna di misura per il modello di confronto si era provveduto a misurare α , verrà utilizzato il valore misurato, ovvero 0.348dB/m.

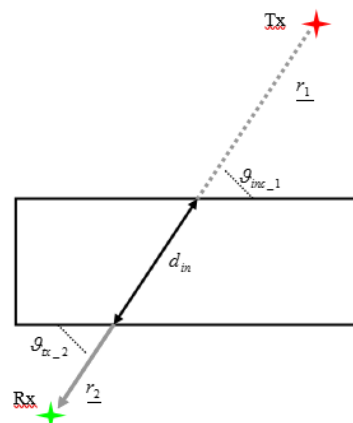


Figura 24: direzioni di propagazione outdoor-indoor-outdoor del raggio principale per il modello in esame

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Introduzione al modello

Occorre fare una precisazione per quanto riguarda il coefficiente di attenuazione indoor, nel documento in esame viene specificato che in realtà il valore proposto (2.1dB/m) per α è molto più elevato dei valori proposti dal COST 231.

Ciò dipende dal fatto che nel COST 231 vengono utilizzati termini separati per tenere conto delle perdite dovute al muro esterno e all'ambiente interno, mentre, nel documento che stiamo analizzando, tutte le perdite da penetrazione e propagazione indoor sono contenute nel termine α .

Di conseguenza, nel caso dell'ambiente da noi analizzato, sarà lecito utilizzare il valore misurato $\alpha=0.348\text{dB/m}$ per

l'attenuazione indoor ed il valore misurato per il muro esterno, ottenuto come media $W_e' = \frac{W_e + WG_e}{2} = 18.6\text{dB}$

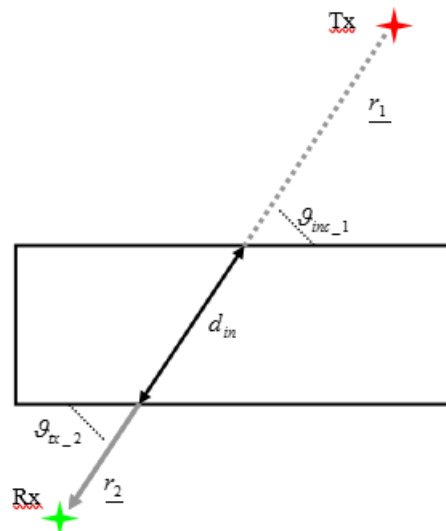


Figura 24: direzioni di propagazione outdoor-indoor-outdoor del raggio principale per il modello in esame

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Espressione della building-transmission loss, per la propagazione outdoor-indoor-outdoor

Come già accennato in precedenza, il modello del paper analizzato prevede che si consideri la trasmissione attraverso due muri esterni e all'interno dell'edificio, in quanto il modello è stato originariamente pensato per un ricevitore situato all'esterno, pertanto l'espressione dell'attenuazione, dovuta a trasmissione attraverso un edificio, dipenderà dai coefficienti di trasmissione di entrambi i muri, come si può notare dalla formula seguente:

$$L_{in} + L_{pen} = \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1) - 20 \log T(r_2)$$

L'attenuazione è, come di consueto, misurata in dB; la distanza interna d_{in} è espressa in m, il coefficiente di attenuazione interno α invece in dB/m.

Entrambi i logaritmi sono in base dieci e r_1 ed r_2 rappresentano i vettori posizione dei punti di penetrazione del segnale, rispettivamente attraverso il primo ed il secondo muro.

I termini $T(r_1)$ e $T(r_2)$ sono invece il coefficiente di trasmissione del primo e del secondo muro, e sono, ovviamente, numeri puri.

Tali coefficienti di trasmissione dipenderanno dall'angolo di incidenza sul primo muro e dall'angolo con cui il raggio primario lascia il secondo muro ed arriva al ricevitore.

In realtà, in tutto il modello, l'angolo di incidenza e l'angolo di trasmissione vengono considerati uguali.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Espressione della building-transmission loss, per la propagazione outdoor-indoor-outdoor

I coefficienti di trasmissione dei due muri vengono calcolati a partire dai coefficienti di riflessione e per essi valgono le seguenti espressioni:

$$T(\underline{r}_1) = \sqrt{1 - |R(\underline{r}_1)|^2}$$

$$T(\underline{r}_2) = \sqrt{1 - |R(\underline{r}_2)|^2}$$

con $R(\underline{r}_1)$ e $R(\underline{r}_2)$ funzione degli angoli di incidenza e trasmissione e della costante dielettrica relativa del muro, e dati da:

$$R(\underline{r}_1) = \frac{\sin \vartheta_{inc_1} - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \vartheta_{inc_1}}}{\sin \vartheta_{inc_1} + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \vartheta_{inc_1}}}$$

$$R(\underline{r}_2) = \frac{\sin \vartheta_{tx_2} - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \vartheta_{tx_2}}}{\sin \vartheta_{tx_2} + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \vartheta_{tx_2}}}$$

La costante dielettrica relativa si assume identica per entrambi i muri, in quanto è logico aspettarsi che siano costituiti dallo stesso materiale.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Espressione della building-transmission loss e dell’attenuazione totale utilizzate

Come già detto precedentemente, nella nostra analisi, siamo interessati alla trasmissione outdoor-indoor, pertanto sarà necessario utilizzare solamente la prima parte dell’espressione di $L_{pen} + L_{in}$.

Inoltre bisognerà utilizzare il valore di α misurato per il modello di confronto ed inserire la perdita dovuta al muro esterno W'_e .

Una volta presi tutti questi accorgimenti, la formula finale per la somma dell’attenuazione da penetrazione più l’attenuazione indoor sarà data da:

$$L_{pen} + L_{in} = W'_e + \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1)$$

naturalmente avendo cura di valutare d_{in} nel modo indicato dal documento che stiamo esaminando.

Per ottenere, infine, il valore dell’attenuazione totale subita dal segnale, nel percorso complessivo dal trasmettitore al ricevitore, sarà necessario aggiungere il termine relativo all’attenuazione esterna.

In generale, questo termine dovrà essere scelto in base alla situazione contingente.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Espressione della building-transmission loss e dell'attenuazione totale utilizzate

Nel nostro caso, si è scelto di valutare l'andamento dell'attenuazione totale in funzione di diverse espressioni di L_{out} ; in particolare si è calcolata L_{out} nel caso free space, nel caso di MicroCella in condizioni LOS ed infine utilizzando le due versioni dei modelli di Kitao e Ichitsubo:

$L_{fs} = 32.4 + 20 \log d_{out} + 20 \log f$	free space
$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d_{out} + 20 \log f$	Microcella LOS
$L_{K\&I(1)} = 40 \log d_{out} - 30 \log h_{BS} + 21.7 \log f - 5 \log(h_m/1.5) + 54$	Kitao & Ichitsubo 1
$L_{K\&I(2)} = 42.7 \log d_{out} - 32.7 \log h_{BS} + 20.7 \log f + 55.4$	Kitao & Ichitsubo 2

Nella figura 25 vengono evidenziate tutte le grandezze di interesse (d_{out} , d_{in} , θ_{nc_2004}) considerando il fatto che i valori di attenuazione verranno calcolati per tutti i punti del measurement course.

Si noti che d_{out} rappresenta anche la lunghezza del vettore r_l .

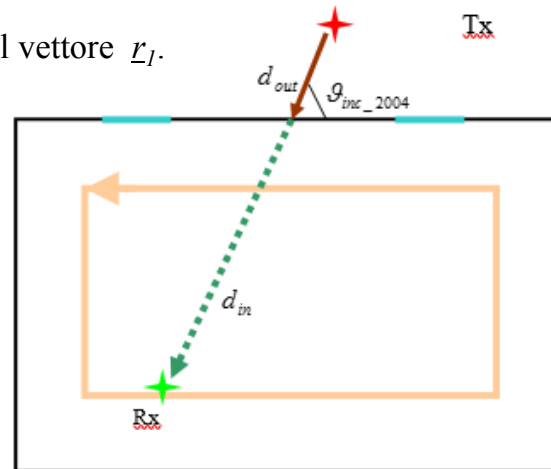


Figura 25: distanze esterna ed interna e angolo di incidenza per il modello studiato

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Grafici ottenuti mediante l'applicazione del modello

Nel seguito vengono riportati i grafici ottenuti mediante l'applicazione del modello per il percorso di misura considerato.

Per primo, figura 26, si riporta l'andamento dell'attenuazione nel caso di attenuazione esterna in spazio libero; la formula dell'attenuazione totale risulta essere pertanto:

$$L_{tot_FS} = 32.4 + 20 \log d_{out} + 20 \log f + W_e' + \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1)$$

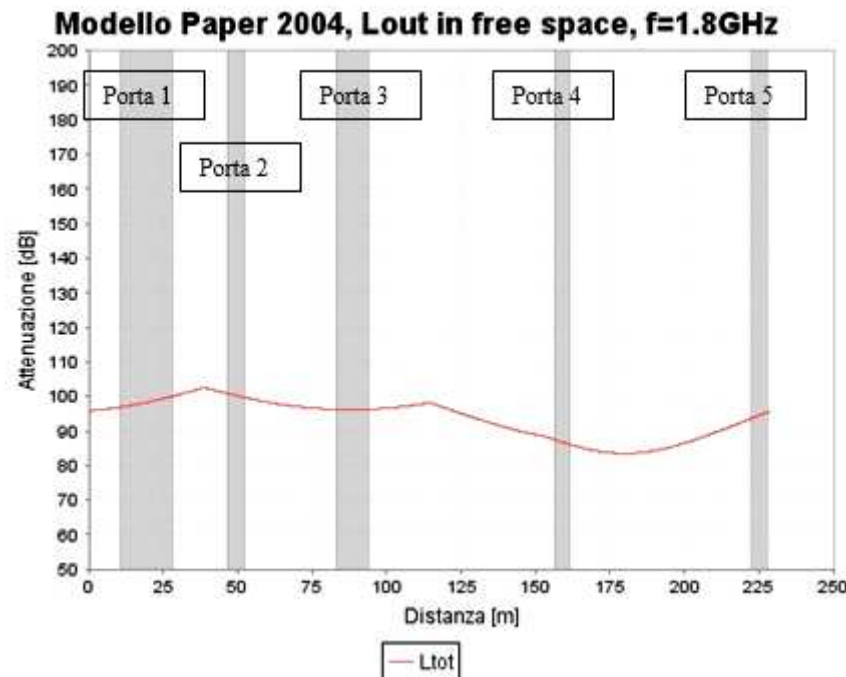


Figura 26: andamento dell'attenuazione totale, considerando l'attenuazione esterna in spazio libero

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Grafici ottenuti mediante l'applicazione del modello

In figura 27 vengono invece riportati i risultati relativi all'attenuazione totale, in condizioni di MicroCella in LOS.

L'espressione di L_{tot} è:

$$L_{tot_LOS} = 42.6 + 26 \log d_{out} + 20 \log f + W_e' + \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1)$$

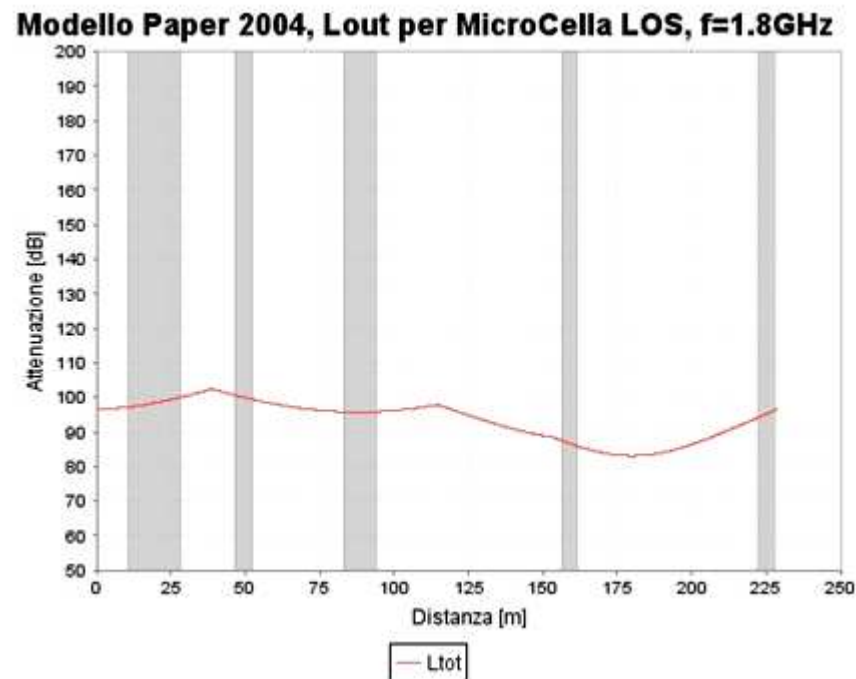


Figura 27: andamento dell'attenuazione totale, considerando l'attenuazione esterna nel caso di MicroCella, in condizioni LOS

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Grafici ottenuti mediante l'applicazione del modello

Infine, nelle figure 28 e 29 si riportano i risultati dei valori calcolati per l'attenuazione nel caso di L_{out} valutata mediante i due modelli di Kitao e Ichitsubo .

Le formule per l'attenuazione totale sono le seguenti:

$$L_{tot_K\&I(1)} = 40 \log d_{out} - 30 \log h_{BS} + 21.7 \log f - 5 \log(h_m/1.5) + 54 + W_e' + \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1)$$

$$L_{tot_K\&I(2)} = 42.7 \log d_{out} - 32.7 \log h_{BS} + 20.7 \log f + 55.4 + W_e' + \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1)$$

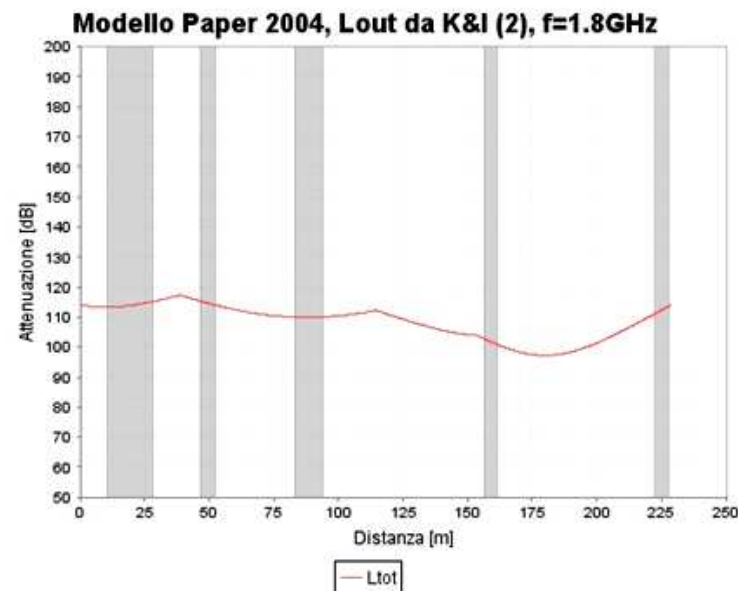
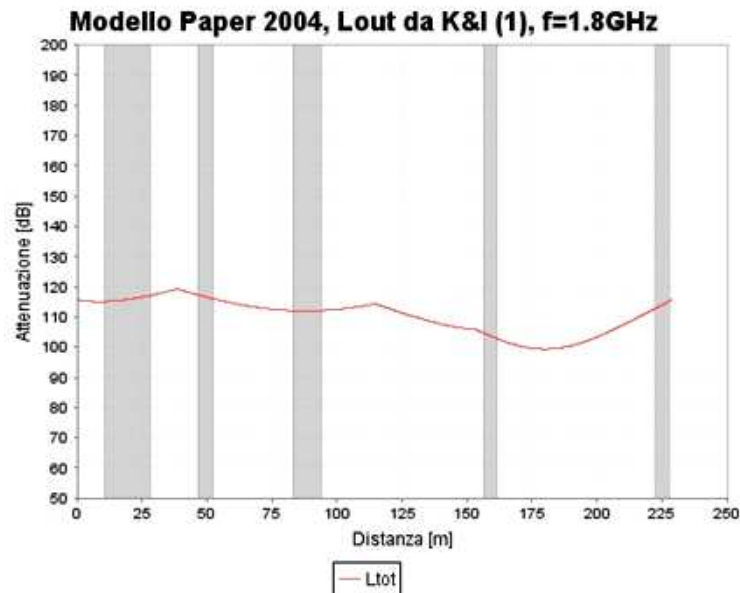


Figura 28: andamento dell'attenuazione totale, considerando l'attenuazione esterna secondo la 1° e la 2° versione del modello Kitao e Ichitsubo

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Grafici ottenuti mediante l'applicazione del modello

Come è logico aspettarsi, considerando le diverse formule dell'attenuazione esterna, L_{tot} assume valori molto più bassi nel caso di propagazione in free space o in condizioni di MicroCella LOS, nel caso invece del modello Kitao e Ichitsubo, i valori dell'attenuazione totale sono maggiori almeno una decina di dB.

Si può notare che le oscillazioni dell'attenuazione totale sono molto meno pronunciate che nel caso dei modelli finora analizzati e risulta persino difficoltoso definire dove siano effettivamente posizionati i minimi ed i massimi della funzione.

Ciò che si può ricavare da questa considerazione è che il modello qui studiato fornisce, in generale, un valore medio dell'attenuazione, senza preoccuparsi di evidenziare i picchi e le oscillazioni rapide del segnale.

Da questo punto di vista il modello è volutamente semplice e sacrifica la precisione di dettaglio per fornire invece uno strumento di bassa complessità computazionale, facilmente inseribile in un modello di predizione della propagazione a ray-tracing.

Comunque risulta individuabile, sulla curva di L_{tot} , il punto caratterizzato dal valore minimo di attenuazione, ed esso è situato all'incirca sul punto 180 del measurement course, che è, a sua volta, il punto in cui il ricevitore si trova più vicino all'antenna trasmittente.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2004 - “A Building-Transmission Model for Improved Propagation Prediction in Urban Microcells” (Y.L.C. de Jong, M.H.J. Koelen, M.H.A.J. Herben)

Grafici ottenuti mediante l'applicazione del modello

Quindi, come già nel COST 231 e nel modello del 1998, il punto di minimo della curva è quello per cui la distanza totale tra le due antenne è minima, questo perché, questi tre modelli, prevedono che il segnale possa passare attraverso i muri di cemento armato.

A questo proposito occorre fare un'ultima precisazione riguardo al modello in esame.

La definizione delle distanze d_{out} e d_{in} prevede che il punto di penetrazione del segnale sia il punto, sul muro, per cui è minima la distanza tra trasmettitore e ricevitore e che, quindi, la scelta della costante dielettrica relativa da inserire nella formula dipenda dal tipo di materiale nel punto di penetrazione.

Nell'analisi della geometria relativa all'edificio studiato e al percorso di misura in esame, ho potuto riscontrare che, per come sono fatti appunto l'edificio ed il measurement course, il segnale penetra all'interno passando sempre per un punto del muro in cui non vi sono aperture.

Di conseguenza la costante dielettrica relativa utilizzata è sempre quella del cemento armato, e non vi è penetrazione del segnale attraverso le due porte presenti sulla parete in visibilità del trasmettitore.

D'altra parte, il modello stesso prevede che si considerino i muri come materiali omogenei, perché la predizione dell'attenuazione totale diventerebbe troppo complessa se, per ogni edificio esaminato in fase di progettazione di una cella, si dovesse considerare la posizione di tutte le singole aperture.

In realtà, se ad esempio nel muro considerato fossero presenti molte più aperture ed il segnale penetrasse almeno in qualche caso attraverso una di esse, la costante dielettrica relativa dovrebbe avere un valore più basso ed essere una media tra il suo valore per il cemento armato ed il valore per il vetro.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

Come per i modelli precedentemente descritti, anche in questo caso il modello è stato ricavato a seguito di una campagna di misura che ha coinvolto sia ambienti densamente urbanizzati, che ambienti mediamente urbanizzati.

Nell'ambito delle aree più urbanizzate, gli edifici target per la deduzione del modello erano palazzi di uffici in ambiente MicroCella, in condizioni LOS ed in condizioni NLOS.

Relativamente alle aree mediamente urbanizzate, le misurazioni sono state fatte presso parcheggi per automobili multipiano, ancora una volta sia in condizioni LOS, che NLOS.

La campagna di misura è stata suddivisa in due parti, una che riguardava prettamente le aree più densamente urbanizzate, ovvero le misure negli uffici, ed un'altra che era relativa alle aree con densità degli edifici minore, ovvero le misure nei parcheggi.

Il trasmettitore è stato sistemato in una posizione fissa e le misurazioni sono state eseguite all'interno di due cerchi concentrici, uno con raggio di 500m e l'altro con raggio di 1Km.

Dalla conformazione della città e dalla posizione degli edifici si nota che i palazzi per uffici si addensano maggiormente nel cerchio di raggio minore, e risultano quindi più vicini al trasmettitore, e per la maggior parte sono costituiti da un numero maggiore di piani. I parcheggi multipiano invece sono posizionati più lontano dal trasmettitore e sono mediamente più bassi (hanno un numero inferiore di piani).

Viene specificato che tutti gli edifici considerati nella campagna di misura hanno muri di cemento armato; inoltre gli uffici hanno aperture (porte o finestre) in vetro; i parcheggi, invece, hanno sì aperture, ma non è presente il vetro.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

La scelta di come effettuare le misure, sia per gli uffici che per i parcheggi, sia in condizioni LOS, che in condizioni NLOS, permette ancora una volta di valutare l'andamento dell'attenuazione totale in una molteplicità di scenari diversi e di ricavare un modello che ben si adatta a situazioni molto varie.

Lo scopo complessivo dello studio è quello di ricavare un modello di predizione dell'attenuazione da penetrazione che sia facilmente utilizzabile per l'ambiente urbano ed in particolare per studiare la copertura degli uffici.

Nello specifico, il modello è stato pensato per i casi di stanze con finestre, in quanto prevede che l'ingresso del segnale all'interno di un edificio avvenga attraverso le aperture; da questo punto di vista è analogo al modello di confronto.

Un'altra analogia con il modello di confronto riguarda il fatto che ci si concentra sullo studio dell'andamento della sola penetration loss, in funzione dei parametri che ne influenzano l'andamento.

Si noterà infatti che si è alla ricerca dei soli due termini L_{in} ed L_{pen} , che poi compariranno integrati in un unico termine ($L_{in} + L_{pen}$), come già nel modello di confronto e poi nel modello del 2004, pertanto la metodologia seguita per ricavare il modello non è un caso di direct modelling.

Al contrario, per ricavare il valore dell'attenuazione totale occorrerà calcolare separatamente L_{out} , mediante un'espressione che poi risulti appropriata all'ambiente considerato, e che dovrà essere scelta anche in funzione del modello utilizzato per il calcolo di ($L_{in} + L_{pen}$).

Quest'ultimo ragionamento verrà chiarito meglio nel seguito.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

L'ultima considerazione da fare in questa parte introduttiva riguarda il range di frequenze di applicazione del modello in esame, che si estende dagli 800MHz agli 8GHz; inoltre, le misurazioni sono state fatte su quattro diverse frequenze: 800MHz, 2.2GHz, 4.7GHz e 8.45GHz.

In realtà viene detto che la misura alla frequenza oltre gli 8 GHz è stata fatta per testare l'affidabilità del modello; per i nostri scopi risulta utile valutare l'andamento del modello a questa frequenza anche per paragonarlo al modello di confronto. 8.45GHz era infatti la frequenza di misura utilizzata per ricavare il modello di confronto e quindi si potranno confrontare i due modelli proprio a questa frequenza.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

La formula che descrive l'andamento delle componenti di attenuazione da penetrazione e indoor dipende da diversi parametri.

Lo scopo della campagna di misura, e dei dati in essa raccolti, era appunto quello di individuare quali fossero le variabili che maggiormente influenzano l'attenuazione del segnale e in che modo ognuna di esse la influenzasse.

Nella descrizione del modello, la somma dell'attenuazione indoor più l'attenuazione da penetrazione viene chiamata building penetration loss, ed è definita come: $\Delta Loss = L_{in} + L_{pen}$.

Nel seguito quindi considereremo il termine $\Delta Loss$.

La formula generale per esprimere la building penetration loss ha la seguente forma:

$$\Delta Loss = \alpha_{in} \cdot d_{in} - G_h \cdot h + \alpha_f \cdot \log f + \alpha_{LOS} \cdot LOS + W$$

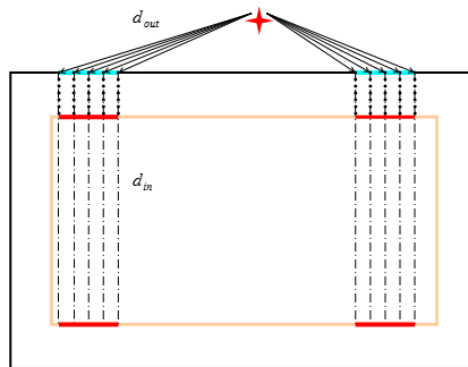


Figura 30: definizione delle distanze esterna (d_{out}) ed interna (d_{in}) per il modello in esame. Ciascuna freccia rappresenta una possibile d_{out} , ciascuna linea tratteggiata rappresenta una possibile d_{in} , come definite dal modello.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

Si può immediatamente notare che le variabili che la influenzano sono cinque, ognuna pesata per un opportuno fattore peso; di esse viene ora data una breve descrizione.

d_{in} rappresenta la distanza interna percorsa dal raggio primario, dal punto di penetrazione nell'edificio, fino al ricevitore. In particolare, questa distanza è definita come distanza perpendicolare misurata da un'apertura (si veda la figura 30 per individuare d_{in} nell'ambiente sotto esame).

La distanza d_{in} è misurata in m.

$$\Delta Loss = \alpha_{in} \cdot d_{in} - G_h \cdot h + \alpha_f \cdot \log f + \alpha_{LOS} \cdot LOS + W$$

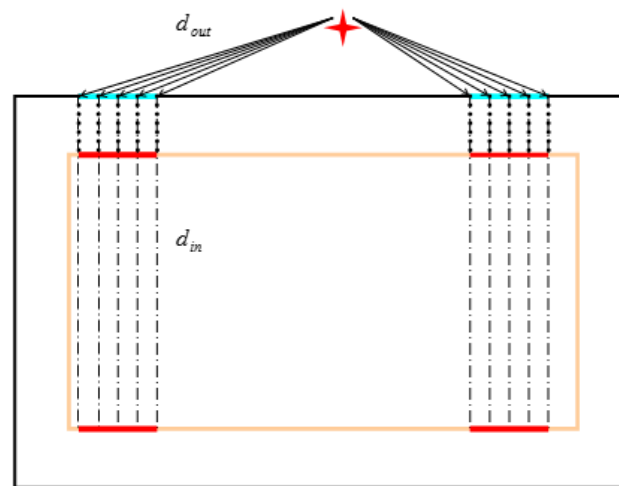


Figura 30: definizione delle distanze esterna (d_{out}) ed interna (d_{in}) per il modello in esame. Ciascuna freccia rappresenta una possibile d_{out} , ciascuna linea tratteggiata rappresenta una possibile d_{in} , come definite dal modello.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

Le misurazioni sono state tutte effettuate posizionando il ricevitore davanti ad un'apertura; di conseguenza, per i punti del measurement course non direttamente davanti ad una porta, sarà necessario introdurre un ulteriore termine che tenga conto di questo fatto.

La geometria per il calcolo di d_{in} in questi altri punti verrà presentata in seguito.

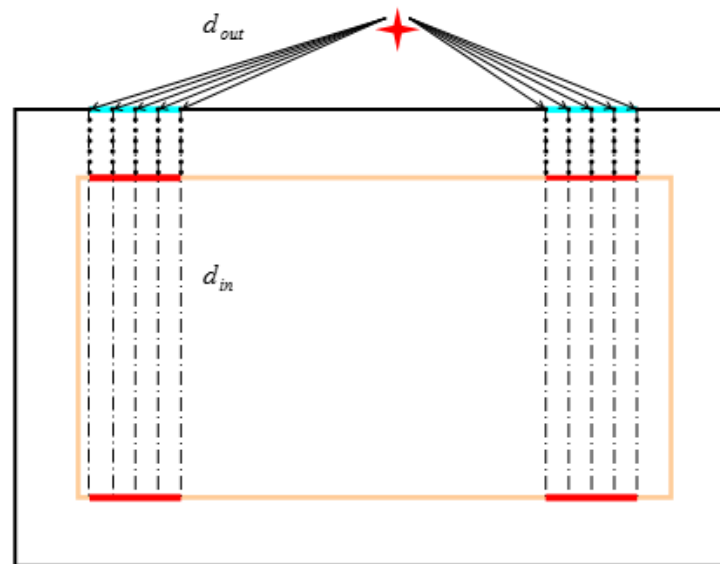


Figura 30: definizione delle distanze esterna (d_{out}) ed interna (d_{in}) per il modello in esame. Ciascuna freccia rappresenta una possibile d_{out} , ciascuna linea tratteggiata rappresenta una possibile d_{in} , come definite dal modello.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

Il termine α_{in} rappresenta il fattore peso per la distanza interna, e la sua determinazione è oggetto dell'elaborazione dei dati raccolti mediante le misurazioni.

h rappresenta l'altezza a cui è posizionato il ricevitore, misurata a partire dal pianterreno, quindi dipenderà dal piano a cui si trova l'antenna ricevente e dall'altezza di ogni piano dell'edificio considerato.

Questo parametro è pesato mediante il fattore G_h , che rappresenta il floor height gain.

Nel nostro caso esso può essere trascurato (ovvero posto pari a zero), in quanto l'ambiente considerato per l'applicazione del modello è al pianterreno.

$$\Delta Loss = \alpha_{in} \cdot d_{in} - G_h \cdot h + \alpha_f \cdot \log f + \alpha_{LOS} \cdot LOS + W$$

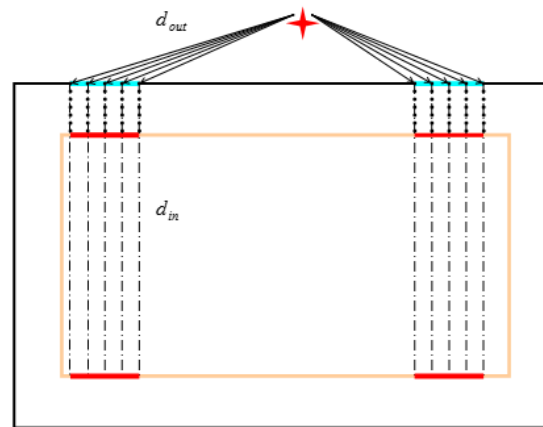


Figura 30: definizione delle distanze esterna (d_{out}) ed interna (d_{in}) per il modello in esame. Ciascuna freccia rappresenta una possibile d_{out} , ciascuna linea tratteggiata rappresenta una possibile d_{in} , come definite dal modello.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

La building penetration loss mostra anche una certa dipendenza dalla frequenza, anche se, come si vedrà nel seguito, varia con essa molto più lentamente rispetto ad L_{out} ; infatti vi è ancora l'andamento come $\log f$, ma α_f , per questo modello, risulterà $\ll 20$, mentre i modelli per l'attenuazione outdoor considerati variano pressoché tutti all'incirca come $20\log f$.

Il quarto addendo che compare nella formula serve a tener conto del fatto che l'edificio potrebbe essere in condizioni di visibilità diretta del trasmettitore (LOS) oppure no (NLOS).

In quest'ultimo caso il segnale arriverebbe mediante riflessioni multiple dagli altri edifici e fenomeni di diffrazione dagli spigoli.

È logico dedurne che, se la condizione è quella LOS, il segnale arriverà meno attenuato al ricevitore.

La conseguenza di questa deduzione è che il fattore peso α_{LOS} sarà negativo e costituirà un termine di riduzione della building penetration loss e questa riduzione si manifesterà solo nel caso LOS.

$$\Delta Loss = \alpha_{in} \cdot d_{in} - G_h \cdot h + \alpha_f \cdot \log f + \alpha_{LOS} \cdot LOS + W$$

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Introduzione al modello

Ne consegue che il termine LOS è equivalente ad un termine on/off: vale 1 nel caso di condizione di visibilità (e quindi riduzione dell'attenuazione), vale 0 in condizione NLOS (e quindi nessuna riduzione dell'attenuazione).

Infine, l'ultimo termine che compare nell'espressione di $\Delta Loss$ (W) è relativo alle perdite dell'apertura, ed è caratteristico del materiale che costituisce l'apertura in esame e dell'edificio stesso.

Nel caso del modello di confronto, le perdite da penetrazione sono contenute nei due termini W_e e WG_e che valgono, rispettivamente, per incidenza perpendicolare e radente, ed i cui valori sono 17.2dB e 20dB.

Nella valutazione di L_{out} per l'ambiente in esame occorrerà considerarli entrambi ed inserirli nella formula finale dell'attenuazione.

$$\Delta Loss = \alpha_{in} \cdot d_{in} - G_h \cdot h + \alpha_f \cdot \log f + \alpha_{LOS} \cdot LOS + W$$

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Espressione della building penetration loss per i palazzi di uffici

Una volta terminata la raccolta dei dati mediante la campagna di misura all'interno dei palazzi di uffici, questi dati sono stati elaborati mediante Multiple Regression Analysis.

La Multiple Regression Analysis permette di valutare l'andamento di una grandezza (variabile dipendente) in funzione di altre variabili (variabili indipendenti) e soprattutto permette di determinare in quale modo le variabili indipendenti influenzino la grandezza in esame, e quindi consente di definire come è fatta la relazione di dipendenza tra la grandezza in esame ed ognuna delle variabili indipendenti.

In particolare, lo studio delle interdipendenze avviene valutando come cambia la variabile dipendente in funzione di ognuna delle variabili indipendenti, quando le altre vengono mantenute costanti.

A tal proposito, è necessario che le variabili indipendenti siano tra loro linearmente indipendenti.

La Multiple Regression Analysis è un tipo di analisi multivariabile.

Attraverso l'applicazione della Multiple Regression Analysis, gli autori del modello hanno potuto calcolare i coefficienti relativi alla building penetration loss per il modello in esame.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Espressione della building penetration loss per i palazzi di uffici

La formula risultante, relativa alla per i palazzi di uffici è:

$$\Delta Loss_{uffici} = 0.41 \cdot d_{in} - 0.5 \cdot h - 2.1 \cdot \log f - 0.8 \cdot LOS + 11.5$$

Mentre, nel caso dei parcheggi multipiano, l'espressione di è:

$$\Delta Loss_{multipiano} = 0.51 \cdot d_{in} - 0.69 \cdot h - 0.63 \cdot \log f - 3.9 \cdot LOS + 9.2$$

Le considerazioni da fare su queste espressioni della building penetration loss riguardano principalmente l'andamento in funzione della distanza interna e della frequenza ed il termine costante finale.

Per quanto riguarda la distanza interna, ovviamente l'attenuazione aumenta all'aumentare della distanza del ricevitore dall'apertura attraverso cui penetra il segnale.

I coefficienti nel caso di uffici e parcheggi sono diversi, perché diverse sono le caratteristiche interne dei due ambienti. Si può notare che comunque i due coefficienti α_{in} hanno valori in accordo con quelli già proposti dal COST 231, e gli autori stessi del modello suggeriscono di utilizzare un valore di circa 0.6dB/m.

Viene inoltre sottolineato il fatto che, in entrambi i casi, i coefficienti di attenuazione lineare interna non dipendono dalla distanza del trasmettitore dall'edificio.

Ne consegue che debbano dipendere soltanto dalle caratteristiche dell'edificio in esame o al massimo dalla frequenza del segnale.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Espressione della building penetration loss per i palazzi di uffici

Nel documento viene riportato che le misurazioni sono state fatte per tutte le quattro frequenze studiate e che i valori medi sono stati calcolati tenendo conto di tutte le frequenze; in realtà il coefficiente di attenuazione interno varia poco con la frequenza e può quindi essere considerato pressoché indipendente da essa e costante rispetto ad essa.

Nell'utilizzo del modello che faremo in seguito, per valutare l'andamento dell'attenuazione sul measurement course di interesse, utilizzeremo per α_{in} il valore misurato per il modello di confronto, ovvero 0.348dB/m, in quanto è proprio il valore caratteristico dell'ambiente in esame.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Espressione della building penetration loss per i palazzi di uffici

Per quanto riguarda la dipendenza dalla frequenza, si può notare che, sia nel caso degli uffici, che nel caso dei parcheggi, i coefficienti α_f sono molto più piccoli rispetto a quelli dell'attenuazione esterna (sia essa in free space, o per ambiente in MicroCella o comunque la si calcoli) e pertanto la $\Delta Loss$ può essere considerata quasi indipendente da essa.

Valutando nel dettaglio il termine dipendente dalla frequenza, si nota che l'attenuazione decresce all'aumentare di f , in accordo con quanto affermato nel paper del 1998 precedentemente analizzato, ma in realtà questa diminuzione è poca cosa, se si tiene conto del fatto che il termine $20 \log f$ di L_{out} è sicuramente preponderante.

Infine, l'ultimo termine della building penetration loss è il termine costante che tiene conto delle perdite dovute alle aperture.

Nel caso di $\Delta Loss_{uffici}$, questo termine assume un valore più elevato, coerentemente col fatto che nei palazzi è presente il vetro nelle aperture, mentre nei parcheggi moltiplicano no.

$$\Delta Loss_{uffici} = 0.41 \cdot d_{in} - 0.5 \cdot h - 2.1 \cdot \log f - 0.8 \cdot LOS + 11.5$$

$$\Delta Loss_{moltipiano} = 0.51 \cdot d_{in} - 0.69 \cdot h - 0.63 \cdot \log f - 3.9 \cdot LOS + 9.2$$

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Espressione della building penetration loss per i palazzi di uffici

L'ultima considerazione da fare riguardo al modello qui proposto, è che la Multi Regression Analysis viene ulteriormente utilizzata per ricavare un modello ancora più semplificato, che comprenda sia il caso degli uffici che quello dei parcheggi.

In pratica si vuole pervenire ad una formulazione del tutto generale che comprenda gli andamenti di $\Delta Loss_{uffici}$ e $\Delta Loss_{multipiano}$.

La formula generale che si ricava è:

$$\Delta Loss_{gen} = 0.6 \cdot d_{in} - 0.6 \cdot h + 10$$

Si può notare che scompaiono il termine dipendente dalla frequenza e quello dipendente dalla condizione LOS o NLOS, mentre vengono approssimati i coefficienti per l'attenuazione interna e quello per il floor height gain.

Anche il termine di perdita dell'apertura viene approssimato.

L'espressione così ottenuta della building penetration loss è molto semplice, ma potrebbe risultare non sufficientemente adatta all'ambiente in esame, perché caratterizzata da eccessive semplificazioni.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Nel corso della valutazione del modello nell'ambito del measurement course, mi rifarò al modello previsto per la building penetration loss per il caso di uffici, ovvero a $\Delta Loss_{uffici}$.

Tale scelta è dettata dal fatto che, in questa espressione dell'attenuazione, sono presenti diversi termini, che permettono di tener conto di alcune caratteristiche dell'ambiente in esame.

Innanzitutto vi è la possibilità di considerare il trasmettitore in LOS dell'edificio ove è situato il ricevitore; in secondo luogo è possibile valutare anche la dipendenza dalla frequenza, nonostante questa non sia determinante ai fini del calcolo di L_{tot} .

Inoltre nell'espressione della building penetration loss sarà necessario anche modificare alcuni parametri, dal momento che se ne conosce il valore esatto per l'edificio in esame.

L'attenuazione lineare interna sarà quella del modello di confronto, cioè utilizzeremo $\alpha_{in}=0.348 \text{ dB/m}$; l'eccesso di perdita dovuto alle aperture sarà anch'esso quello misurato nel modello di confronto, sia per l'incidenza perpendicolare (e quindi utilizzeremo $W_e=17.2 \text{ dB}$), che per l'incidenza radente (e quindi utilizzeremo anche WG_e , scegliendo per esso un valore appropriato).

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

A proposito di WG_e , occorre fare alcune precisazioni.

Nel modello di confronto esso viene considerato pari a 20dB e tale valore viene acquisito dal final paper del COST 231.

In realtà WG_e , sia nel modello di confronto, che nel COST 231, viene sempre pesato per un termine angolare che dipende dalla direzione di incidenza sulla parete $(1-\cos\theta_{inc})^2$.

In realtà, quindi, il suo valore non è praticamente mai 20dB, ma risulta quasi sempre inferiore.

Nel caso del modello in esame, però, non viene specificata come dovrebbe essere fatta una tale dipendenza angolare, per cui bisognerà scegliere per WG_e un valore che tenga, almeno in parte, conto della geometria dell'edificio.

Ciò va fatto senza però rendere il modello troppo specifico per l'edificio in esame.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Tenendo conto della posizione del trasmettitore, posizionato tra le due aperture, e del fatto che il modello prevede che le misure siano prese davanti alle aperture, si è utilizzato per WG_e il valore di 10dB, che permette di valutare sia il fatto che l'incidenza dei raggi non è sempre perpendicolare all'apertura, sia il fatto che comunque non è mai totalmente radente.

Si tratta di una soluzione di compromesso, che, inevitabilmente, introduce un'incertezza nel modello e porta a risultati approssimati; ma comunque permette di evitare l'errore di considerare solo i raggi perpendicolari, in quanto essi non sono gli unici presenti e, in parte, interferiscono con quelli radenti, accrescendo l'attenuazione totale del segnale.

Un'altra considerazione da farsi, riguarda il fatto che il modello per $\Delta Loss$ è, a rigore, valido, e quindi applicabile, solamente per $d_{in} \leq 20m$, in quanto, in tutte le misurazioni effettuate, non erano presenti distanze interne superiori a questo valore.

Nel caso del measurement course si arriva a distanze interne superiori e pertanto l'andamento della building penetration loss, per esse, risulta estrapolato.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

A proposito di d_{in} , ricordiamo inoltre che nel modello vengono considerate solamente posizioni del ricevitore direttamente di fronte ad un'apertura, mentre, nel measurement course, la maggior parte dei punti di misura è laterale rispetto alle aperture illuminate dal trasmettitore.

A questo proposito si notino in figura 31, in rosso, i tratti del percorso esattamente davanti alle aperture, mentre i restanti punti di misura non sono direttamente davanti alle porte.

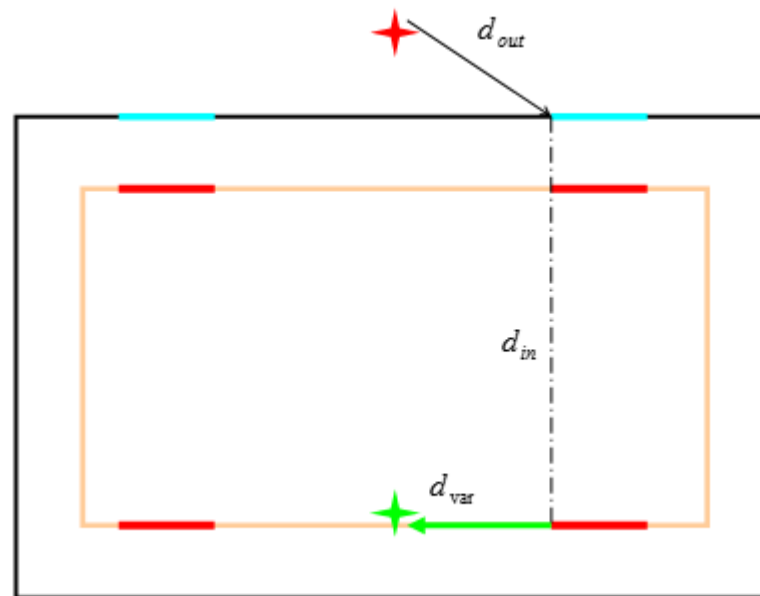


Figura 30: definizione della distanza d_{var} per i punti di misura non direttamente davanti alle aperture.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Per calcolare il valore di $\Delta Loss$ in questi punti si è aggiunto, per ognuno di essi, a d_{in} un termine d_{var} , che in pratica rappresenta la distanza dal punto più vicino su un'apertura, e che viene pesato anch'esso per $\alpha_{in}=0.348$ dB/m.

Il termine d_{var} sarà quindi di questo tipo: $0.348 * d_{var}$, e sarà pari e zero nei punti davanti alle porte.

Sempre in figura 31 viene indicato, a titolo di esempio, un punto laterale rispetto alle aperture e il corrispondente d_{var} .

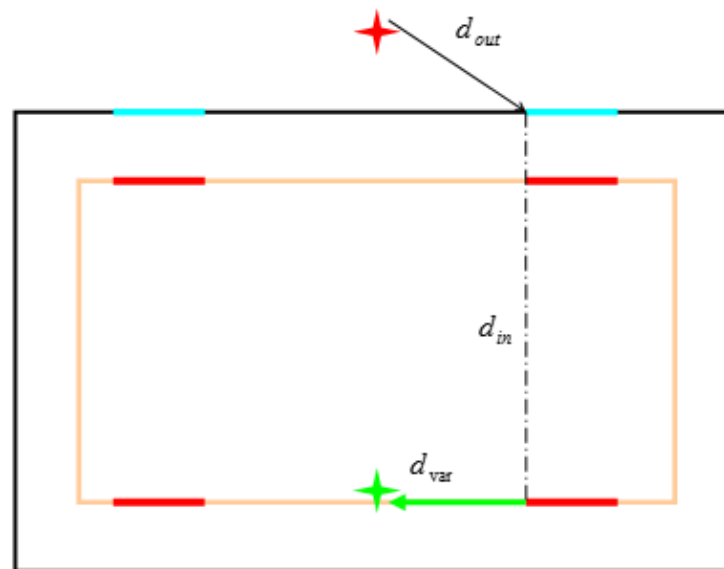


Figura 30: definizione della distanza d_{var} per i punti di misura non direttamente davanti alle aperture.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Poiché il segnale penetra nell'ambiente considerato attraverso entrambe le due porte, per valutare il valore di L_{tot} nei punti compresi tra due aperture, si è calcolato separatamente il valore di attenuazione per il segnale proveniente da ciascuna apertura (naturalmente utilizzando il appropriato per ciascuna porta) e poi si è scelto il valore minimo tra i due.

In pratica l'operazione effettuata per un punto tra le due porte era del tipo:

$$L_{tot_in_between} = \min(L_{tot_from_porta_A}, L_{tot_from_porta_B})$$

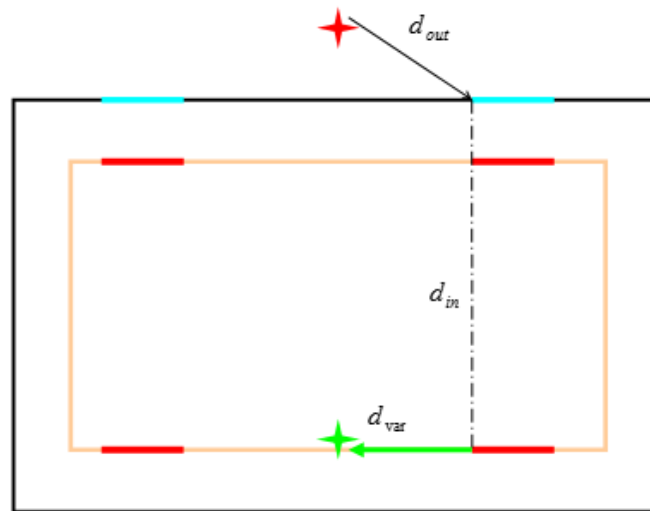


Figura 30: definizione della distanza d_{var} per i punti di misura non direttamente davanti alle aperture.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

La scelta del minimo è stata fatta tenendo conto della seguente motivazione:

è logico aspettarsi che un punto del measurement course laterale rispetto ad un'apertura sia caratterizzato da un valore della building penetration loss più simile al valore che essa ha presso l'apertura più vicina, piuttosto che presso l'apertura più lontana.

Questo anche perché, nella configurazione cui siamo interessati, il trasmettitore è posizionato tra due aperture.

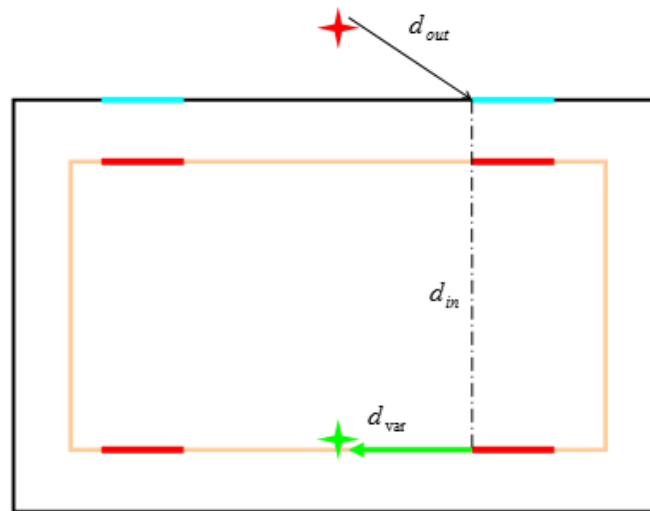


Figura 30: definizione della distanza d_{var} per i punti di misura non direttamente davanti alle aperture.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Nel seguito vengono presentati i grafici per l'attenuazione totale, calcolata con il modello in esame più il termine dovuto all'attenuazione esterna ($\Delta L_{tot} = L_{out} + Loss_{uffici}$).

Tutti i grafici sono stati fatti per le frequenze 1.8GHz e 8.45GHz; con quest'ultima frequenza, infatti, si potrà effettuare il confronto diretto con le condizioni di misura del modello di confronto.

In tutti i casi presentati nel seguito, $d_{var} = 0$ nei punti del percorso di misura davanti alle aperture.

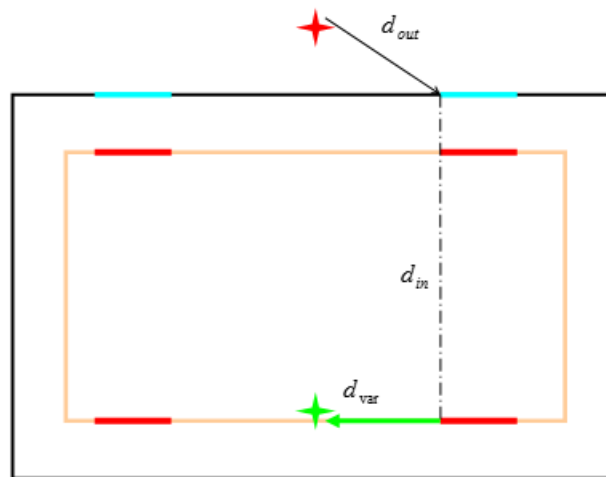


Figura 30: definizione della distanza d_{var} per i punti di misura non direttamente davanti alle aperture.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Le espressioni di L_{tot} possono essere diverse, ed in particolare vengono considerati gli stessi casi già valutati per gli altri modelli, quindi i grafici che seguono sono relativi a:

1. attenuazione esterna calcolata considerandone l'andamento in spazio libero:

$$L_{fs} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d$$

$$L_{tot} = L_{fs} + 0.348 \cdot d_{in} - 2.1 \log f - 0.8 + W_e + WG_e + 0.348 \cdot d_{var}$$

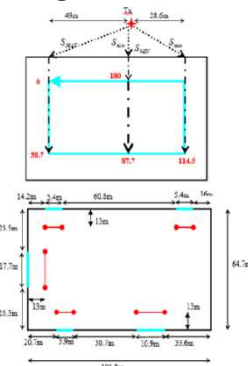
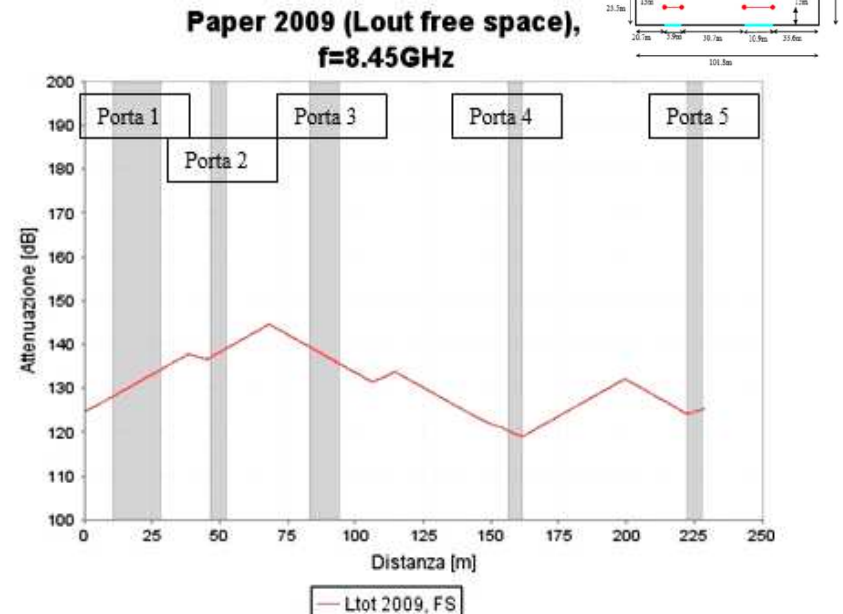
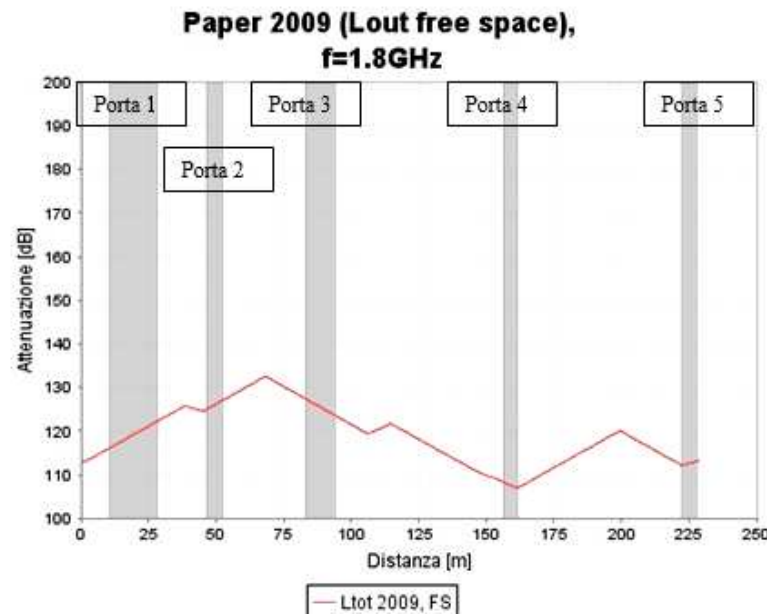


Figura 32: andamento dell'attenuazione totale per Lout calcolata in free space, alle frequenze di 1.8GHz e 8.45 GHz.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Le espressioni di L_{LOS} possono essere diverse, ed in particolare vengono considerati gli stessi casi già valutati per gli altri modelli, quindi i grafici che seguono sono relativi a:

2. attenuazione esterna calcolata per il caso di ambiente MicroCella, in condizioni LOS:

$$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f$$

$$L_{tot} = L_{LOS} + 0.348 \cdot d_{in} - 2.1 \log f - 0.8 + W_e + WG_e + 0.348 \cdot d_{var}$$

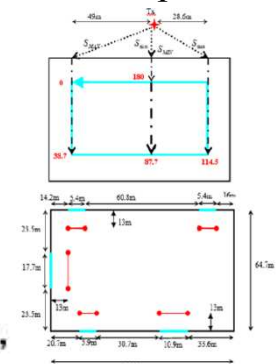
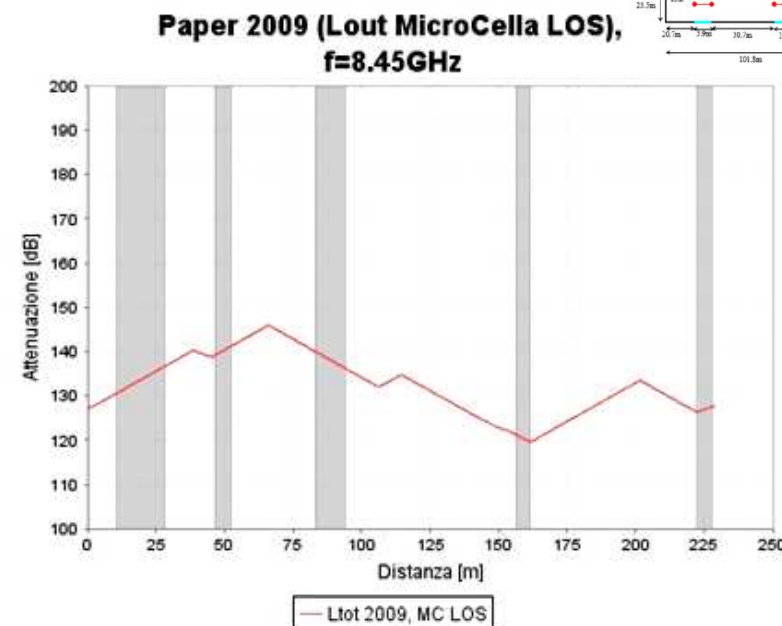
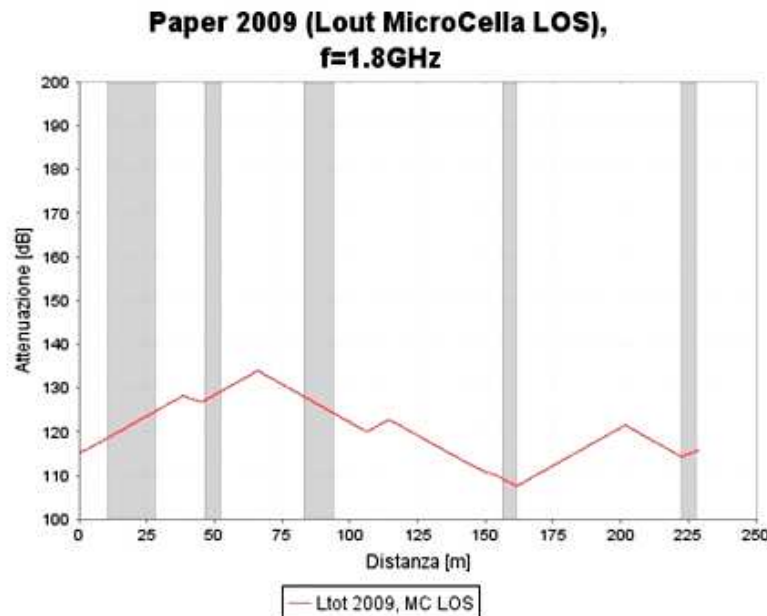


Figura 33: andamento dell'attenuazione totale per Lout calcolata in condizione MicroCella LOS, alle frequenze di 1.8GHz e 8.45 GHz.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Le espressioni di L_{tot} possono essere diverse, ed in particolare vengono considerati gli stessi casi già valutati per gli altri modelli, quindi i grafici che seguono sono relativi a:

3. attenuazione esterna calcolata mediante entrambi i modelli di Kitao e Ichitsubo:

$$L_{K\&I(1)} = 54 + 40 \log d - 30 \log h_b + 21 \log f - 5 \log(h_m/1.5)$$

$$L_{tot} = L_{K\&I(1)} + 0.348 \cdot d_{in} - 2.1 \log f - 0.8 + W_e + WG_e + 0.348 \cdot d_{var}$$

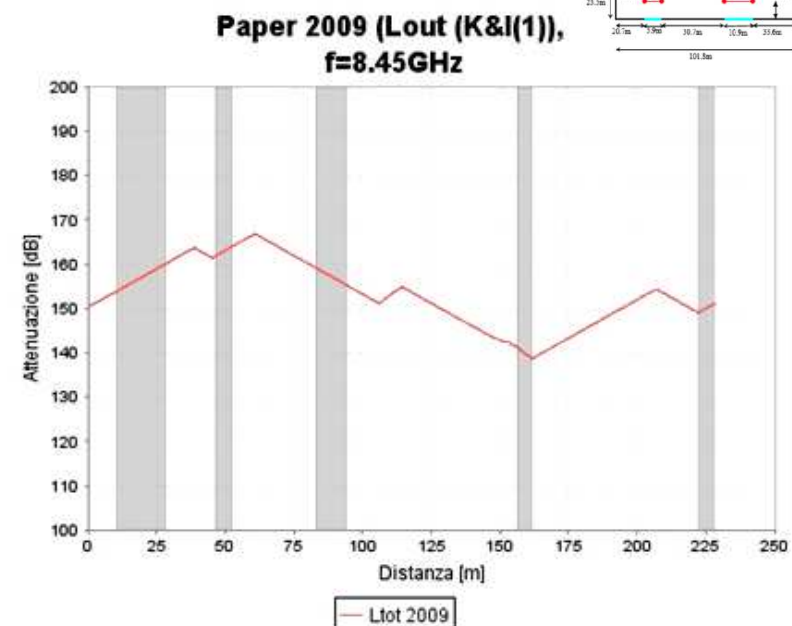
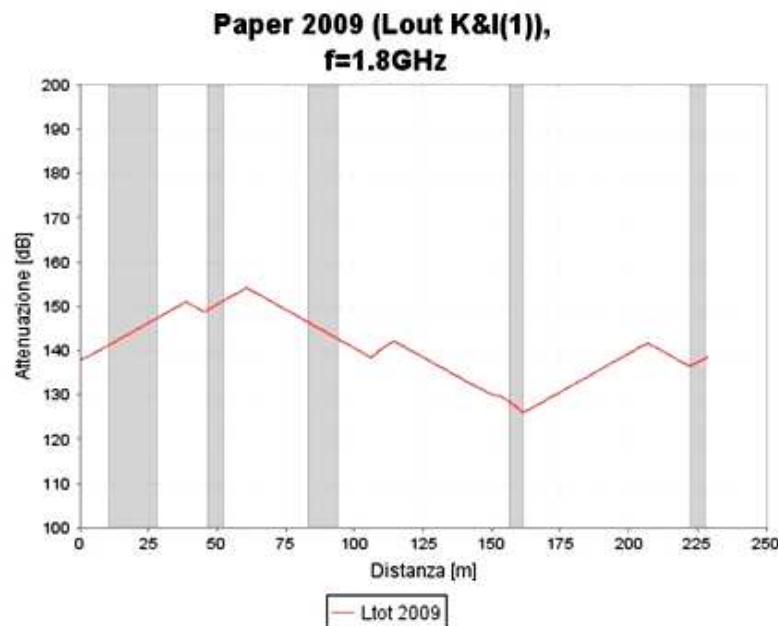
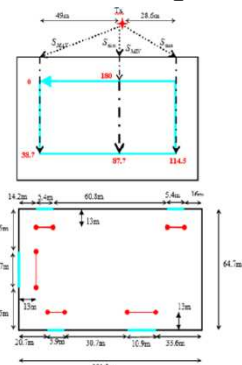


Figura 34: andamento dell'attenuazione totale per Lout calcolata mediante Kitao e Ichitsubo (1), alle frequenze di 1.8GHz e 8.45 GHz.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Applicazione del modello di predizione all'ambiente in esame (measurement course) e grafici

Le espressioni di L possono essere diverse, ed in particolare vengono considerati gli stessi casi già valutati per gli altri modelli, quindi i grafici che seguono sono relativi a:

3. attenuazione esterna calcolata mediante entrambi i modelli di Kitao e Ichitsubo:

$$L_{K\&I(2)} = 55.4 + 42.7 \log d - 32.7 \log h_b + 20 \log f$$

$$L_{tot} = L_{K\&I(2)} + 0.348 \cdot d_{in} - 2.1 \log f - 0.8 + W_e + WG_e + 0.348 \cdot d_{var}$$

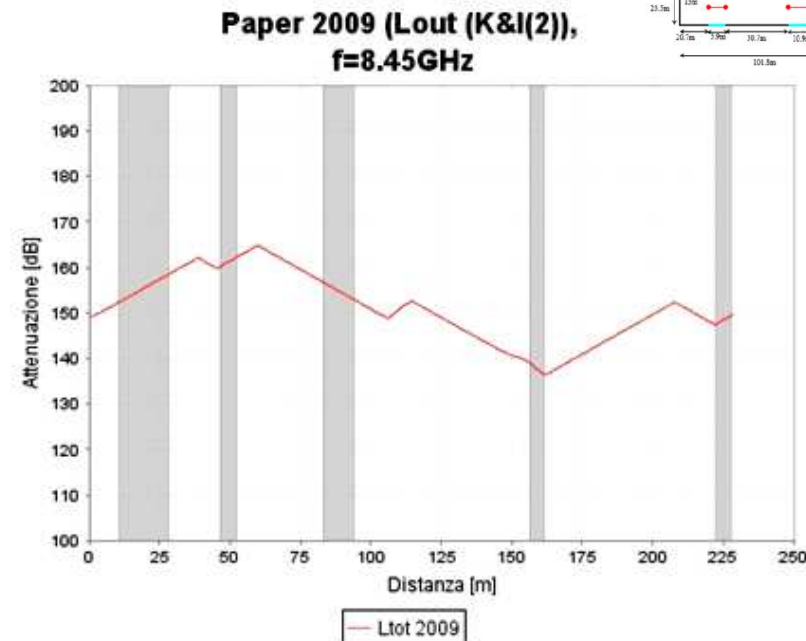
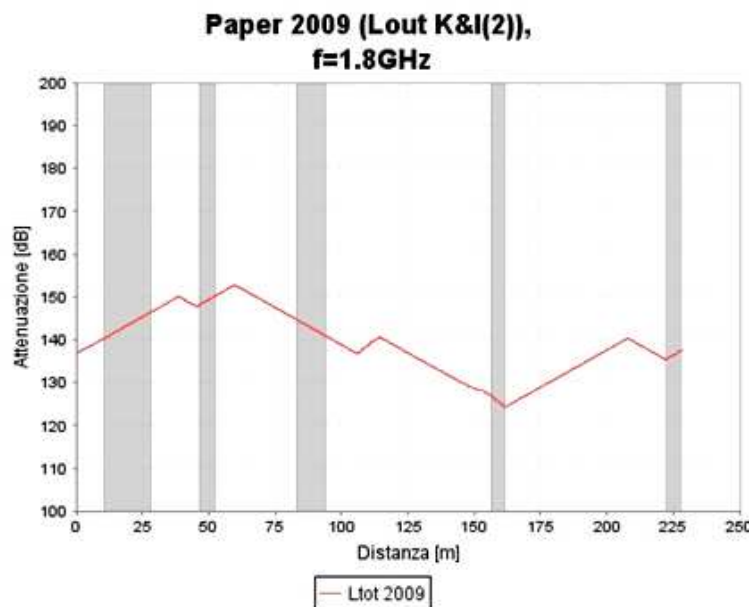
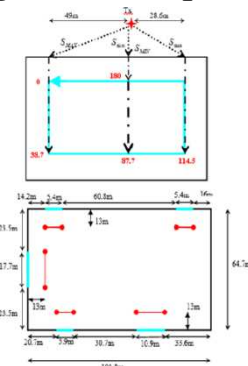


Figura 35: andamento dell'attenuazione totale per Lout calcolata mediante Kitao e Ichitsubo (2), alle frequenze di 1.8GHz e 8.45 GHz.

ANALISI DEI MODELLI DI ATTENUAZIONE

Modello 2009 - "Outdoor-to-Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area" (H. Okamoto, K. Kitao, S. Ichitsubo)

Conclusioni

Dai grafici ricavati per il modello in esame si può notare che l'andamento dell'attenuazione totale è molto simile a quello del modello di confronto, anch'esso è caratterizzato da punti di massimo e minimo, rispettivamente in corrispondenza dei punti più lontani dalle aperture e dei punti più vicini.

Naturalmente il valore dell'attenuazione totale è differente a seconda del modello utilizzato per il calcolo di L_{out} .

Il grafico in cui i valori della penetration loss totale sono più bassi è quello del free space, il quale risulta anche il più adatto a descrivere la situazione in esame, in quanto la posizione del trasmettitore rispetto all'edificio e la distanza da esso sono tali che la propagazione del segnale possa essere considerata pressoché in spazio libero.

Analogamente, considerare l'attenuazione esterna come in MicroCella LOS, fornisce risultati abbastanza simili alla condizione in free space.

I valori invece cambiano parecchio se si considera l'attenuazione esterna mediante i modelli di Kitao e Ichitsubo, in quanto si ottengono dei valori di L_{out} molto più elevati.

Nel modello analizzato, gli autori stessi suggeriscono di utilizzare, per il calcolo dell'attenuazione esterna, uno dei due modelli di Kitao e Ichitsubo; nel nostro caso occorre ricordare che entrambi producono una approssimazione dell'attenuazione esterna, perché si è scelto di utilizzare sempre $WG_e = 10 \text{ dB}$, non potendo tener conto dell'effettivo andamento angolare di questo termine di attenuazione.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Descrizione della curva di attenuazione outdoor-indoor nel modello di confronto

Finora ci si è occupati di descrivere le caratteristiche principali dei modelli considerati; a questo punto invece ci si propone di confrontare tra loro i modelli, per evidenziarne analogie e differenze.

Verrà nel seguito data una descrizione più approfondita dell'andamento di L_{tot} nel modello di confronto, attraverso un'analisi della curva ottenuta mediante l'applicazione del modello, e successivamente sarà possibile paragonare gli altri modelli ad esso.

Prima di procedere al confronto occorre definire le modalità di confronto.

Per prima cosa si intende paragonare tutti i modelli di previsione della propagazione con il modello di confronto, in quanto questo è quello che permette di seguire in maniera abbastanza precisa l'andamento dei dati reali, consentendo una predizione dell'attenuazione totale che rispecchia l'andamento dei fenomeni fisici che determinano l'attenuazione outdoor-indoor del segnale.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Descrizione della curva di attenuazione outdoor-indoor nel modello di confronto

Si veda infatti la figura 36, già presentata durante la descrizione del modello di confronto, che mostra la previsione di L_{tot} mediante il modello e l'andamento qualitativo dei dati reali, misurati alla frequenza di 8.45GHz.

Dalla figura si può innanzitutto notare che i dati reali e la curva L_{tot} calcolata hanno un andamento oscillante, caratterizzato da picchi di massimo e di minimo.

I massimi dell'attenuazione si trovano in corrispondenza dei punti del measurement course più lontani dalle aperture, mentre i minimi sono situati davanti alle aperture stesse.

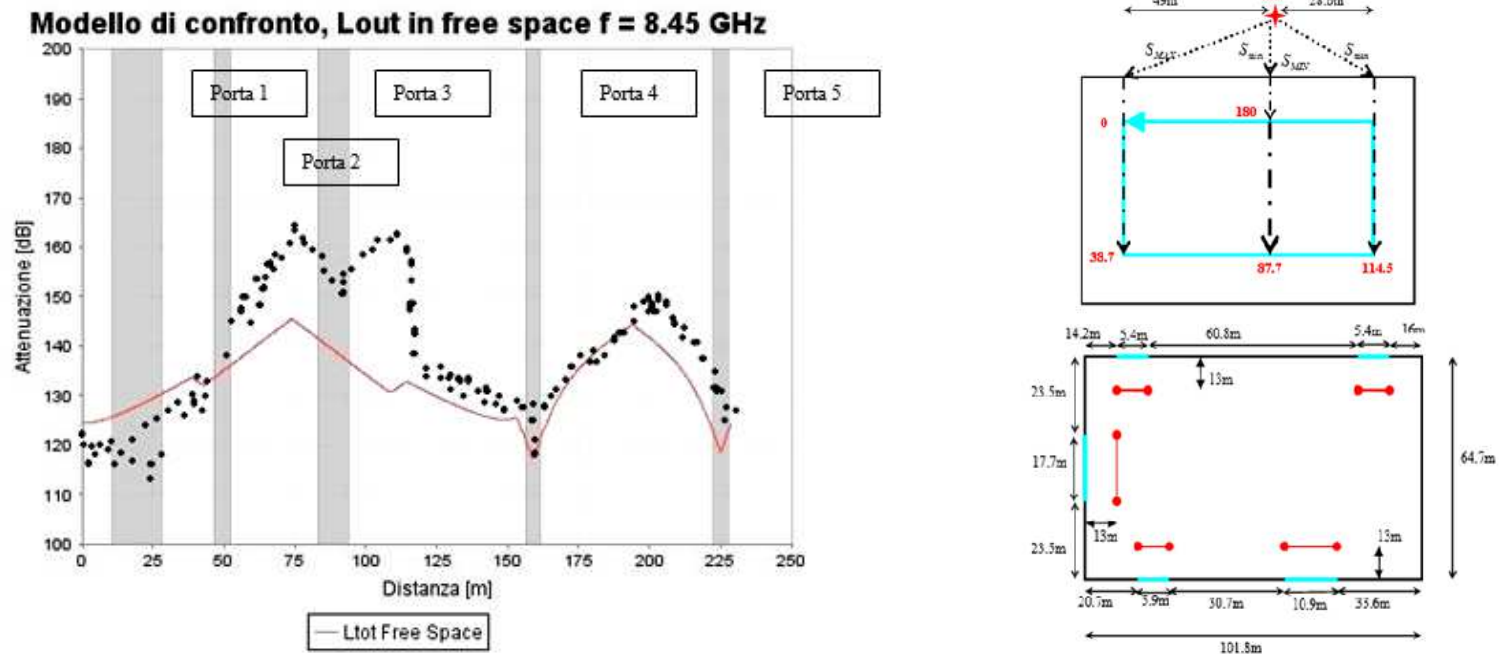


Figura 36: attenuazione totale ottenuta per il modello di confronto considerando l'attenuazione esterna come in free space.
Si noti, in nero, l'andamento qualitativo dei valori misurati.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Descrizione della curva di attenuazione outdoor-indoor nel modello di confronto

Come già detto in precedenza, il trasmettitore è posizionato in corrispondenza di 180m e proprio nell'intorno di questo punto si nota che la curva ha andamento crescente; questo perché, pur essendo la zona del measurement course più vicina al trasmettitore, esso si trova tra due aperture e quindi in posizione svantaggiata per la ricezione.

I minimi più accentuati della curva si trovano infatti davanti alle porte 4 e 5, che sono proprio quelle in diretta visibilità del trasmettitore.

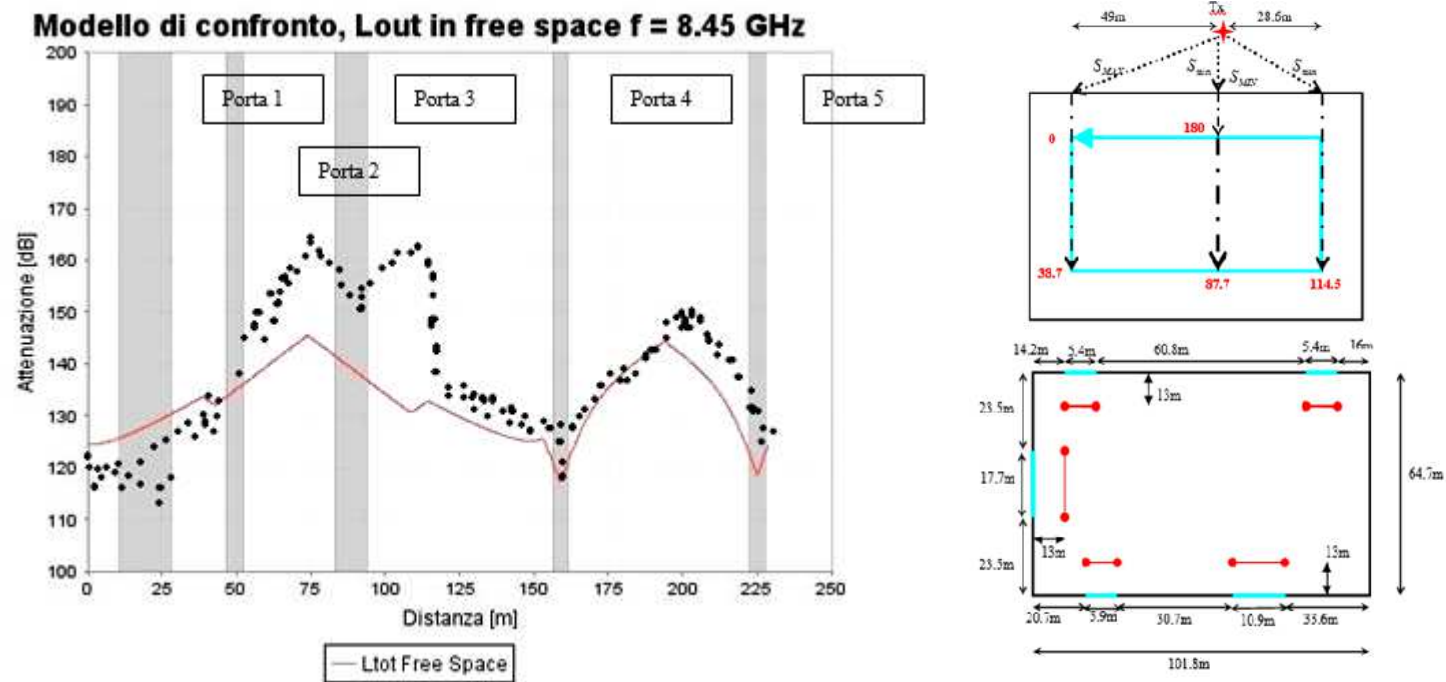


Figura 36: attenuazione totale ottenuta per il modello di confronto considerando l'attenuazione esterna come in free space.
Si noti, in nero, l'andamento qualitativo dei valori misurati.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Descrizione della curva di attenuazione outdoor-indoor nel modello di confronto

Dal grafico si può notare che l'andamento di L_{tot} calcolato segue l'andamento dei dati reali, le oscillazioni sono più o meno le stesse.

Le principali differenze si notano all'inizio del measurement corse, in cui i valori stimati di attenuazione sono più alti dei valori realmente misurati, ed in corrispondenza dei tratti tra le porte.

In particolar modo si può notare che tra le porte 2 e 3 e tra le porte 3 e 4 i picchi dei valori misurati sono molto più alti rispetto a quelli calcolati con il modello di confronto.

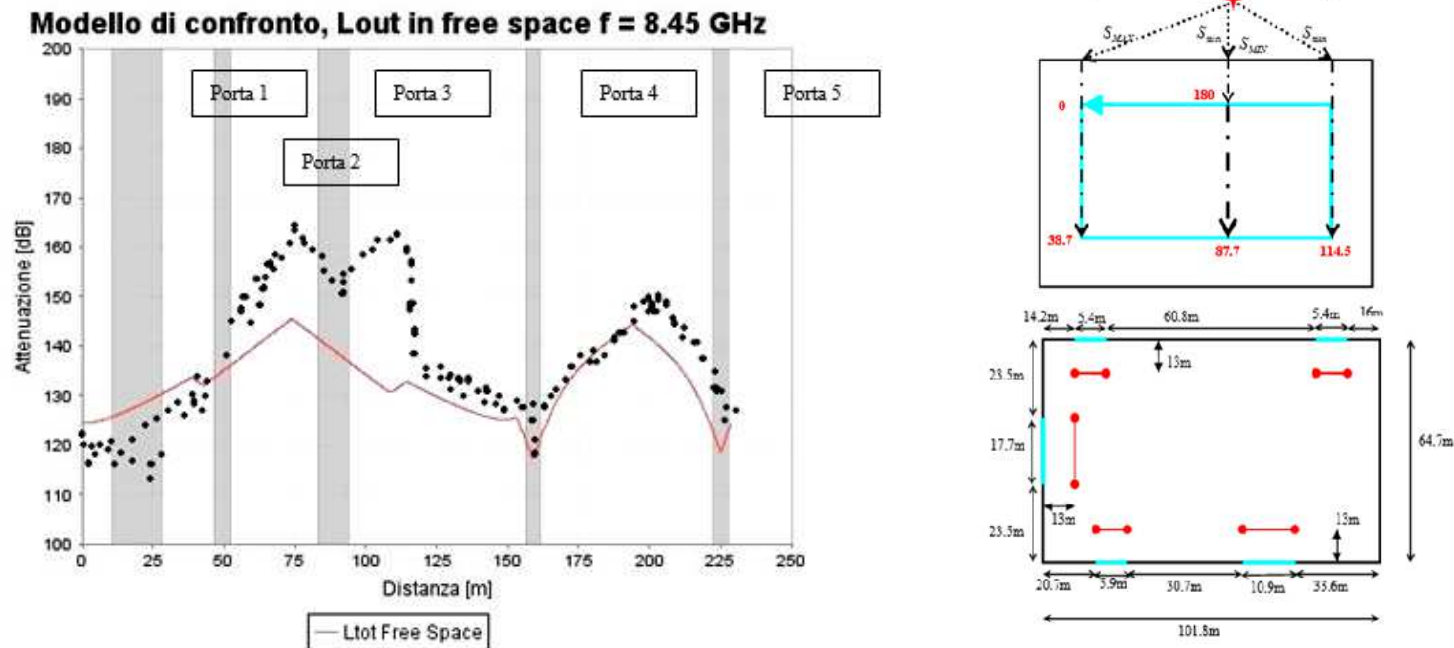


Figura 36: attenuazione totale ottenuta per il modello di confronto considerando l'attenuazione esterna come in free space.
Si noti, in nero, l'andamento qualitativo dei valori misurati.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Descrizione della curva di attenuazione outdoor-indoor nel modello di confronto

Come già detto precedentemente, è probabile che ciò sia dovuto al fatto di aver utilizzato un modello per la propagazione indoor molto semplice, che non tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'ambiente in esame.

Inoltre questi punti sono anche quelli più distanti dalle aperture attraverso cui penetrerebbe il segnale (porte 4 e 5), e quindi si trovano nella posizione peggiore possibile per la ricezione, perché lontani dalle aperture e maggiormente influenzati dalle caratteristiche interne dell'ambiente di misura.

Utilizzando per L_{in} un modello più particolareggiato si potrebbero ottenere valori calcolati più aderenti ai dati reali, ma questo livello di dettaglio esula dai nostri scopi.

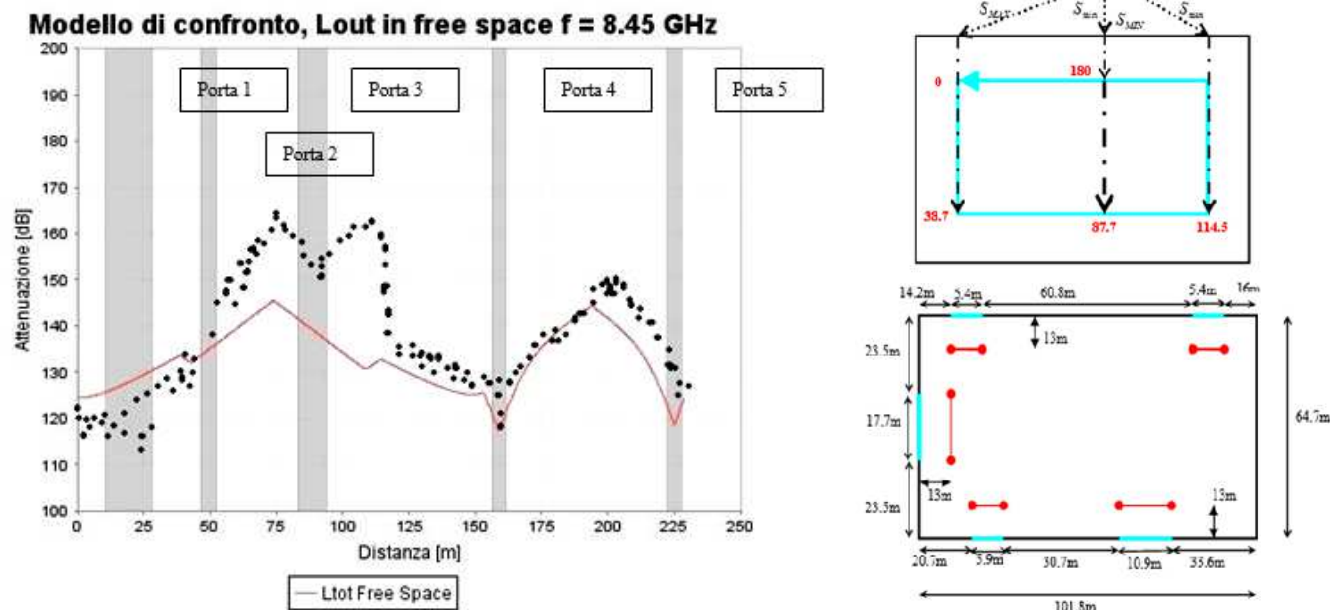


Figura 36: attenuazione totale ottenuta per il modello di confronto considerando l'attenuazione esterna come in free space. Si noti, in nero, l'andamento qualitativo dei valori misurati.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Descrizione della curva di attenuazione outdoor-indoor nel modello di confronto

Nel seguito, verificheremo la corrispondenza fra la curva dell'attenuazione totale outdoor-indoor e la curva che rappresenta i dati misurati.

Questa corrispondenza si verifica e avvalora l'affermazione, degli autori del modello di confronto, secondo cui la penetrazione del segnale avviene attraverso le aperture sulle pareti.

Si noti infine che, a parte i casi peggiori tra la porta 2 e la porta 3 e tra la porta 3 e la porta 4, nei restanti tratti del percorso di misura, i dati misurati si addensano in prossimità della curva L_{tot} calcolata tramite il modello.

Per evidenziare le differenze tra i diversi modelli di attenuazione outdoor, riporteremo nel seguito il grafico in cui compare l'attenuazione totale calcolata mediante i diversi modelli di attenuazione esterna.

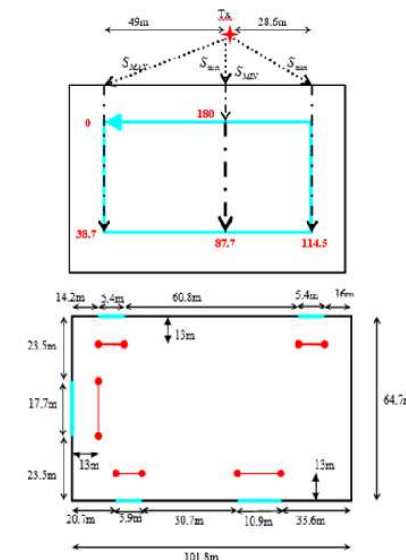
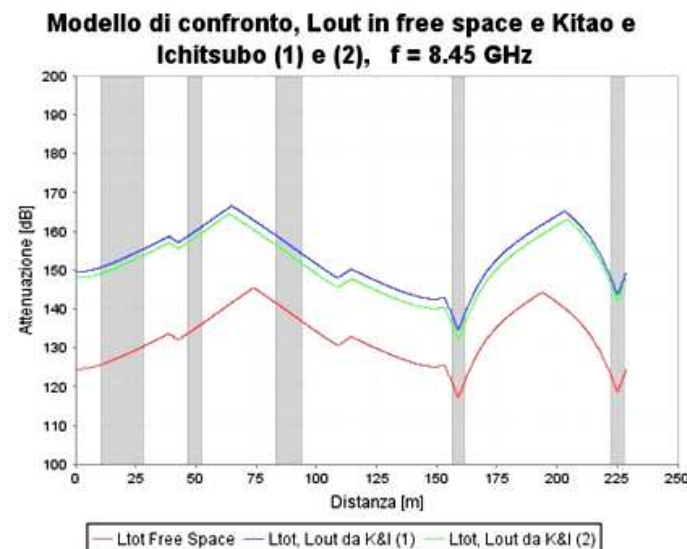


Figura 37: confronto tra l'attenuazione totale calcolata usando diverse espressioni dell'attenuazione outdoor.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Descrizione della curva di attenuazione outdoor-indoor nel modello di confronto

In particolare sono rappresentati gli andamenti per L_{out} relativi al caso di free space, quelli relativi al caso di MicroCella LOS, e gli andamenti ottenuti utilizzando entrambi i modelli di Kitao e Ichitsubo.

Dal grafico si noter  che i due modelli Kitao e Ichitsubo tendono a spostare i picchi dell'attenuazione totale pi  a sinistra sul measurement course, e quindi seguono in maniera meno precisa le oscillazioni del segnale reale, ed inoltre, nella zona iniziale del percorso di misura, comportano un'eccessiva sovrastima dell'attenuazione totale.

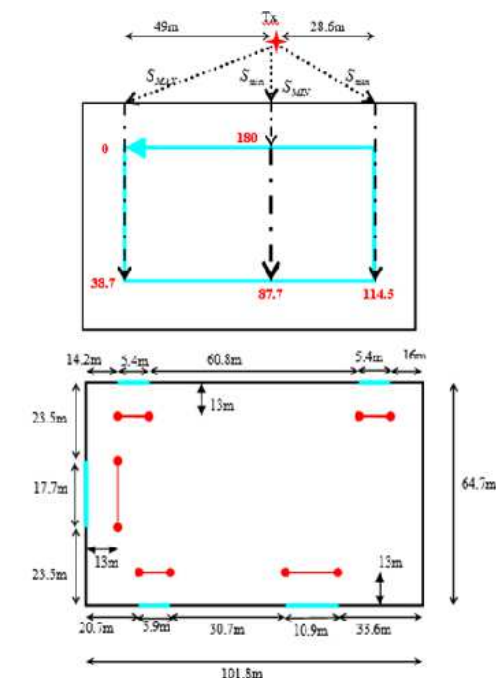
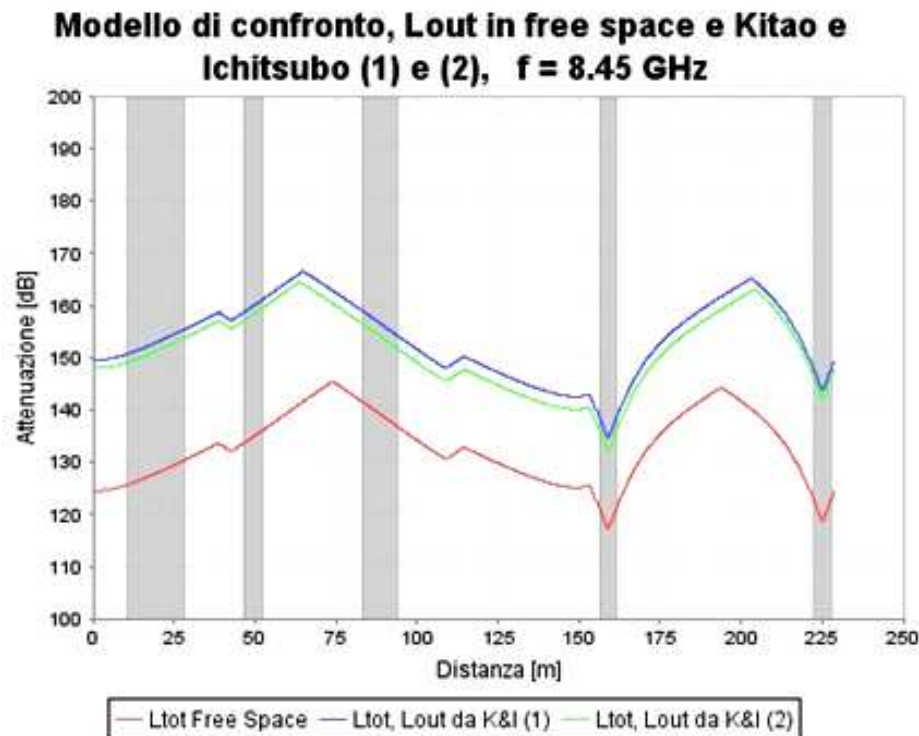


Figura 37: confronto tra l'attenuazione totale calcolata usando diverse espressioni dell'attenuazione outdoor.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Metodologia di confronto tra i modelli, in funzione della frequenza

I confronti tra il modello di confronto e gli altri modelli avverranno, ove possibile, sia alla frequenza di 8.45GHz, che risulta essere la frequenza utilizzata per le misure nell'ambiente considerato, sia alle frequenze di 0.9GHz, 1.8GHz e 2.3GHz.

La scelta dei 2.3GHz deriva dal fatto che esiste un modello (quello del 1998, già descritto) studiato appositamente per questa frequenza.

Se si volessero studiare l'andamento per la frequenza esatta dell'UMTS, dovremmo considerare una frequenza fino ad un massimo di 2.2GHz, oppure intorno ai 2.5GHz, ma comunque uno scostamento di massimo 200MHz sembra ragionevolmente accettabile.

In particolare, alcuni dei modelli trattati consentono di modificare la frequenza nel calcolo dell'attenuazione totale outdoor-indoor, mentre altri modelli sono stati ricavati per frequenze specifiche e quindi non è possibile, per essi, valutarne l'andamento a frequenze diverse.

In quest'ultimo caso sarà quindi necessario calcolare L_{tot} per il modello di confronto alla frequenza del modello considerato e effettuare il confronto a questa frequenza.

I diversi modelli di attenuazione verranno considerati in ordine cronologico e per ognuno di essi verranno rappresentati gli andamenti alle frequenze di interesse e verranno brevemente descritti i risultati ottenuti.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Metodologia di confronto tra i modelli, in funzione della frequenza

Per primo confronteremo il modello COST 231 ed il modello di confronto alle frequenze di 8.45GHz, 0.9GHz, 1.8GHz e 2.3GHz, giacché con entrambi i modelli mi è consentito valutare l'andamento dell'attenuazione totale su tutte queste frequenze.

In seguito procederemo al confronto dei tre sub-modelli del paper del 1998 col modello di confronto e quindi ciò avverrà alle frequenze di 0.9GHz, 1.8GHz e 2.3GHz.

Il modello del 2004, invece, è validato specificamente per la frequenza di 1.9GHz, e pertanto ci limiteremo a confrontarlo col modello di confronto a 1.8GHz, dal momento che si possono considerare le grandezze di interesse, in particolar modo la costante dielettrica relativa del cemento armato, costanti in un intervallo di 100MHz.

Infine, sarà la volta del modello del 2009, e, poiché questo è validato per frequenze dagli 800MHz agli 8GHz, potremo effettuare il paragone col modello di confronto su tutte le frequenze di interesse (8.45GHz, 0.9GHz, 1.8GHz e 2.3GHz).

Naturalmente, per tutti i modelli che non sono stati ottenuti mediante direct modelling, occorrerà anche considerare diverse espressioni dell'attenuazione esterna e graficare l'andamento dell'attenuazione totale in funzione di esse.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Nel seguito si riporta l'andamento dell'attenuazione totale nel caso del COST 231 e del modello di confronto, alla frequenza di 8.45GHz, considerando per il modello di confronto le diverse espressioni dell'attenuazione esterna.

Si noti che, poiché nel caso di attenuazione in free space e in condizioni di MicroCella LOS gli andamenti di L_{tot} risultavano abbastanza simili, si sono inseriti nel medesimo grafico.

Lo stesso procedimento è stato poi ripetuto per L_{out} calcolata utilizzando i due modelli Kitao e Ichitsubo.

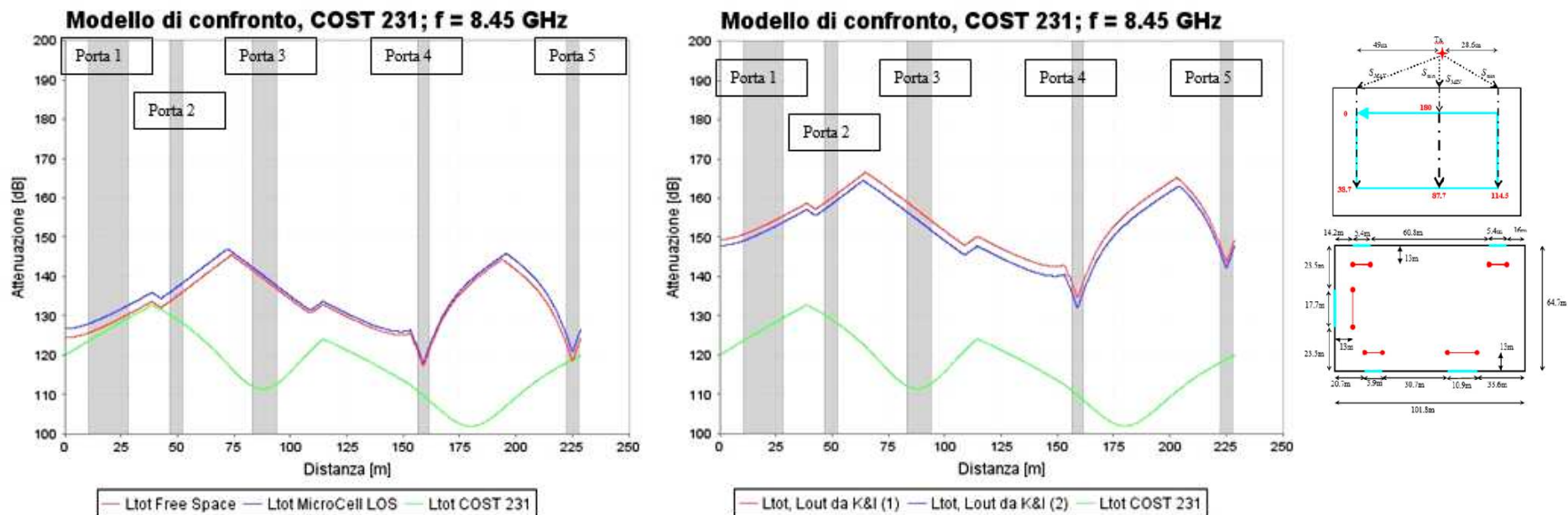


Figura 38: confronto tra COST 231 e modello di confronto con L_{out} in free space e in MicroCell LOS (sinistra), e con L_{out} da Kitao e Ichitsubo (1) e (2) (destra), alla frequenza di 8.45GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Come si può notare dal confronto diretto dei due modelli, gli andamenti sono molto diversi.

Il modello di confronto, qualunque sia l'espressione utilizzata per il calcolo di L_{out} , segue sempre, in maniera più o meno precisa, l'andamento dei valori misurati.

Come già evidenziato nel precedente paragrafo, se l'attenuazione esterna è valutata mediante i modelli di Kitao e Ichitsubo, essa tende a spostare i massimi e minimi della curva verso distanze inferiori sul measurement course (i picchi vengono spostati a sinistra nel grafico), e quindi si perde in parte l'attinenza con i dati reali, ma comunque L_{tot} continua a seguire lo stesso andamento dei dati acquisiti mediante misurazioni.

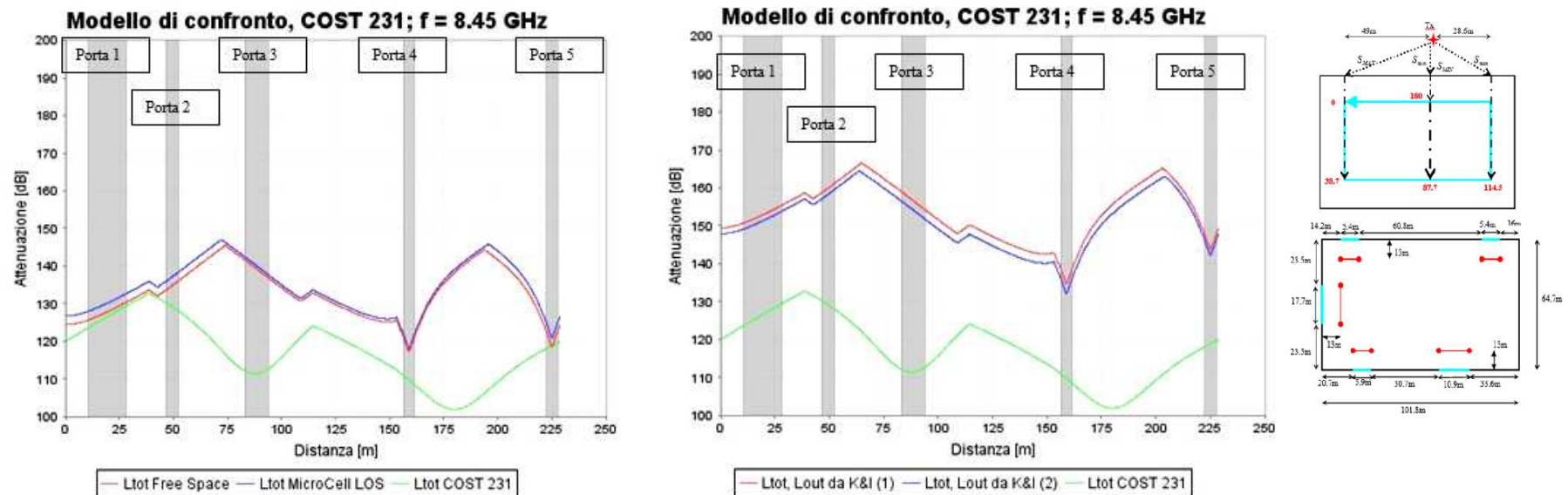


Figura 38: confronto tra COST 231 e modello di confronto con L_{out} in free space e in MicroCell LOS (sinistra), e con L_{out} da Kitao e Ichitsubo (1) e (2) (destra), alla frequenza di 8.45GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Nel caso del COST 231 invece, l'andamento è molto diverso ed in particolare si ha quasi sempre una sottostima dell'attenuazione totale, molto probabilmente dovuta al fatto che risultano sottostimati i coefficienti di perdita del materiale, quando si considera la penetrazione del segnale attraverso il muro di cemento armato.

Inoltre nel final report del COST 231 si consigliava di utilizzare $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$, mentre qui si è naturalmente utilizzato $\alpha_{in}=0.348 \text{ dB/m}$, giacché era stato appositamente misurato nell'ambiente in esame.

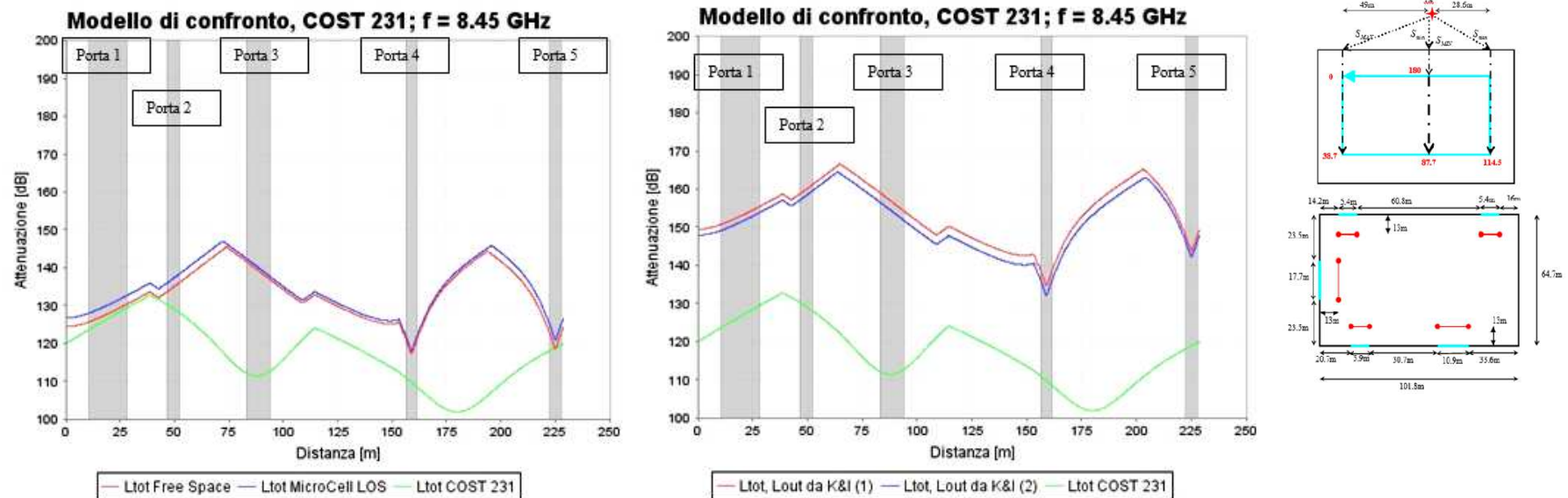


Figura 38: confronto tra COST 231 e modello di confronto con Lout in free space e in MicroCell LOS (sinistra), e con Lout da Kitao e Ichitsubo (1) e (2) (destra), alla frequenza di 8.45GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Dal grafico di figura 38 si nota che nel tratto iniziale del measurement course, prima della porta 1 e fino alla porta 2, il COST 231 fornisce risultati più attinenti ai dati misurati, in quanto in questa zona il valore di attenuazione totale ottenuto ha lo stesso andamento dei dati reali e valori inferiori rispetto a quelli calcolati col modello di confronto.

A partire però dalla porta 2, i due modelli si comportano in modo molto diverso.

In corrispondenza di un tratto discendente del COST 231, si ha invece un tratto crescente di L_{tot} del modello di confronto, e questo fatto si verifica allo stesso modo anche dopo la porta 3, nel tratto compreso tra 100 e circa 115m. Qui infatti il COST 231 è crescente ed il modello di confronto decrescente.

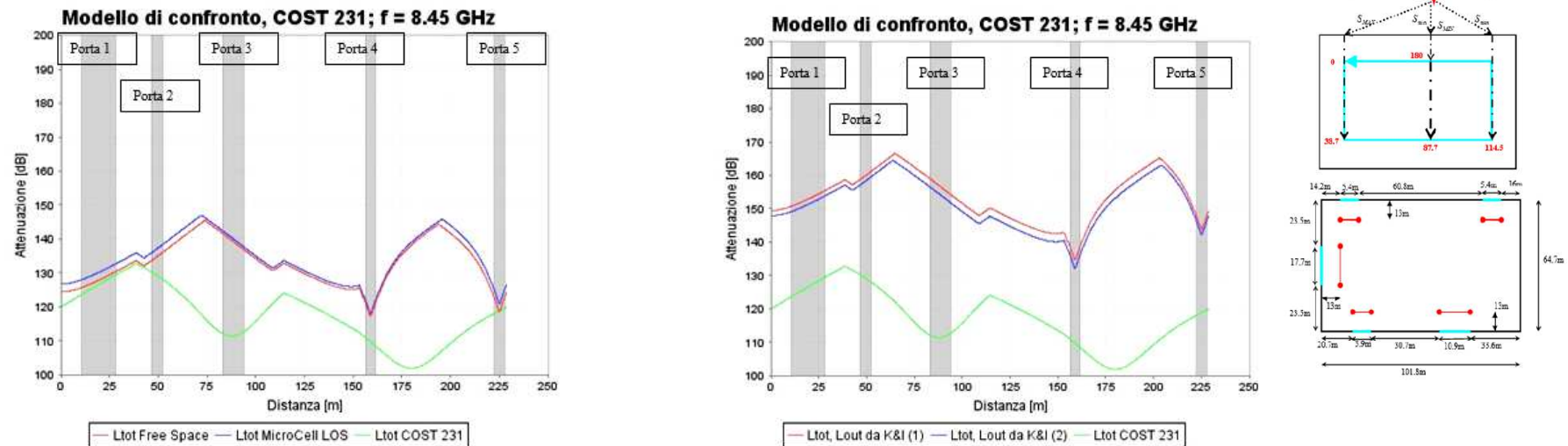


Figura 38: confronto tra COST 231 e modello di confronto con Lout in free space e in MicroCell LOS (sinistra), e con Lout da Kitao e Ichitsubo (1) e (2) (destra), alla frequenza di 8.45GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Un andamento simile tra i due modelli si verifica, invece, nel tratto centrale del measurement course, ovvero tra le porte 3 e 4.

Questo può essere dovuto al fatto che, per come è fatto il measurement course, il segnale in questo tratto, nel caso del modello di confronto, entra principalmente dalla porta 4 e l'angolo di incidenza interno (φ) è simile all'angolo di incidenza esterno del COST 231.

Ne risulta che i raggi incidenti per il modello di confronto e per il COST 231 sono molto simili.

Si veda la figura 39 che mostra un raggio incidente per il modello di confronto ed un raggio incidente per il COST 231.

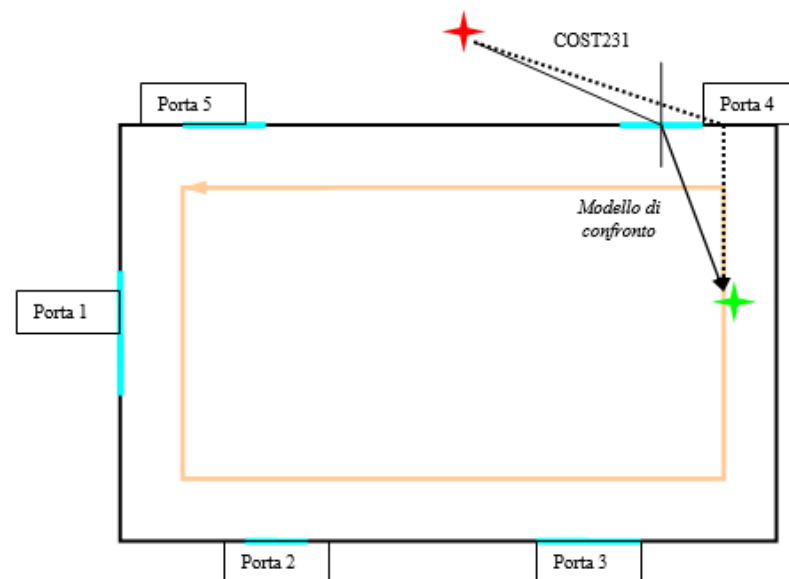


Figura 39: geometria dei raggi incidenti per il modello di confronto ed il COST 231 nel measurement course tra le porte 3 e 4.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Entrambi i modelli hanno un massimo relativo in corrispondenza di circa 115m.

I due andamenti si discostano nuovamente dopo la porta 4.

Le differenze nella posizione dei picchi nei due modelli sono dovute, come già detto in precedenza, al fatto che prevedono l'ingresso del segnale da punti diversi.

Nel caso del COST 231, la grandezza che influenza maggiormente l'attenuazione totale è la distanza complessiva tra trasmettitore e ricevitore, dal momento che il segnale può penetrare attraverso i muri; nel caso del modello di confronto, invece, l'enfasi è posta sull'angolo di incidenza interna, che determina la direzione con cui il segnale raggiunge l'antenna ricevente una volta entrata attraverso l'apertura.

Quindi ciò che pesa maggiormente sul valore totale dell'attenuazione è la posizione relativa del ricevitore rispetto alle porte.

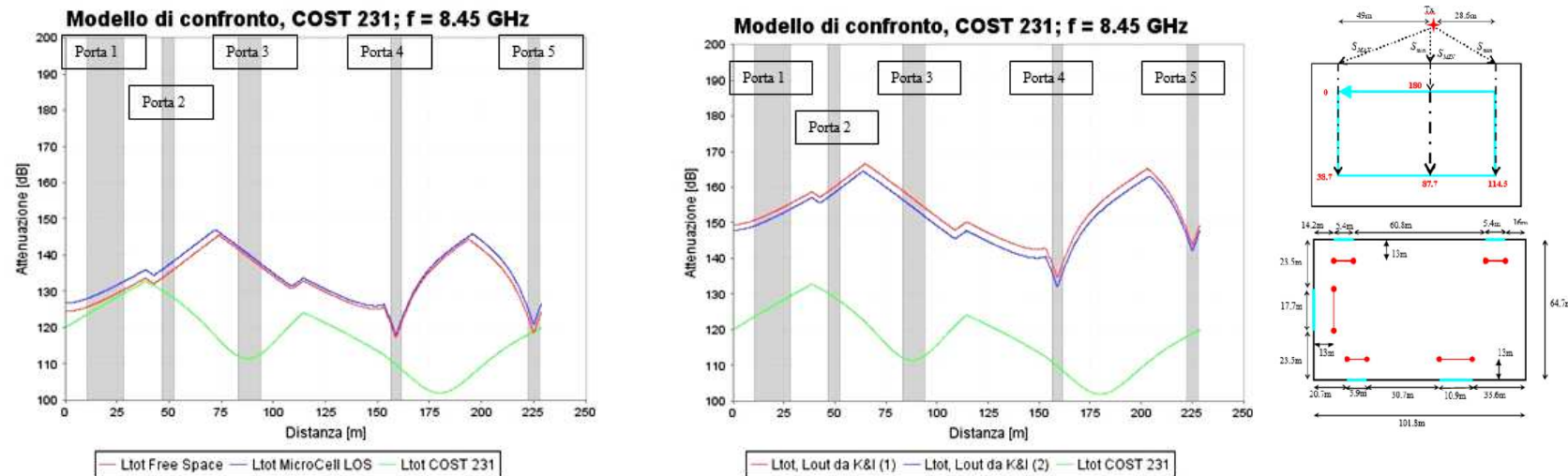


Figura 38: confronto tra COST 231 e modello di confronto con Lout in free space e in MicroCell LOS (sinistra), e con Lout da Kitao e Ichitsubo (1) e (2) (destra), alla frequenza di 8.45GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Per quanto riguarda l'angolo di incidenza esterno, il discorso sembra farsi più complicato, perché il modello di confronto ed il COST 231 dipendono entrambi da esso e nello stesso modo.

Però dai grafici si evince che, a parità di angolo di incidenza esterno (quindi in corrispondenza delle aperture), gli andamenti dei due modelli sono alquanto diversi, e quindi se ne può dedurre che l'angolo di incidenza interna ha un peso maggiore sull'attenuazione totale di quanto invece non l'abbia l'angolo di incidenza esterno.

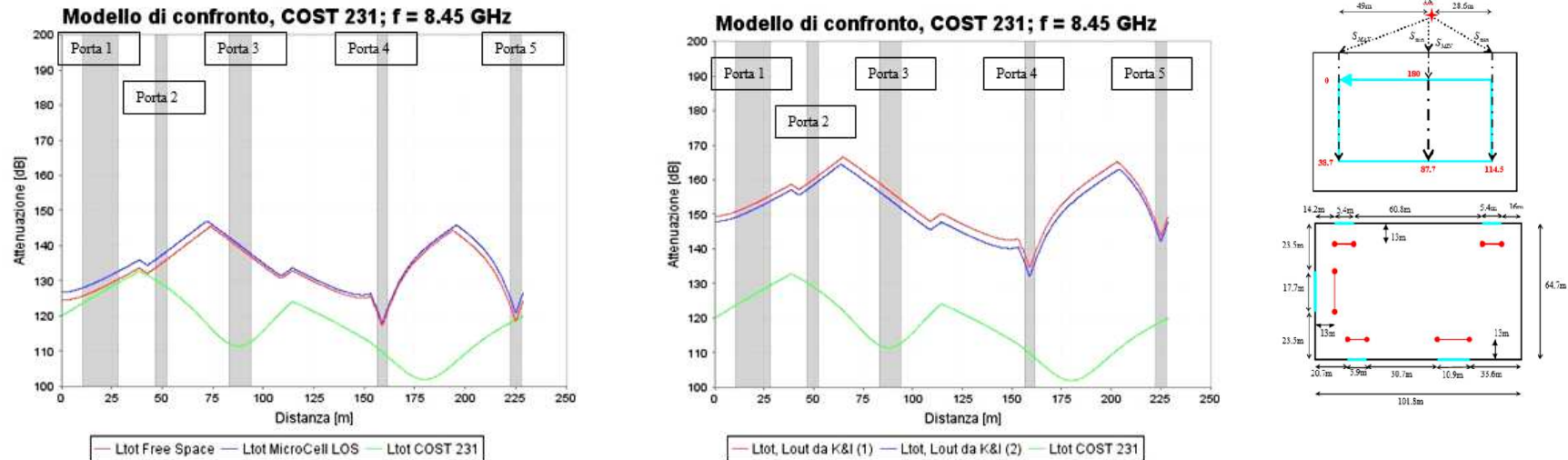


Figura 38: confronto tra COST 231 e modello di confronto con Lout in free space e in MicroCell LOS (sinistra), e con Lout da Kitao e Ichitsubo (1) e (2) (destra), alla frequenza di 8.45GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Nel seguito si riportano gli andamenti dell'attenuazione totale, per le frequenze di 0.9GHz, 1.8GHz e 2.3GHz.

Poiché i modelli Kitao e Ichitsubo, utilizzati per il calcolo di L_{out} , determinano un riposizionamento errato sul measurement course dei massimi e minimi dell'attenuazione totale, ci limiteremo a riportare solo le curve del modello di confronto ottenute considerando l'attenuazione esterna in free space ed in condizioni di MicroCella LOS.

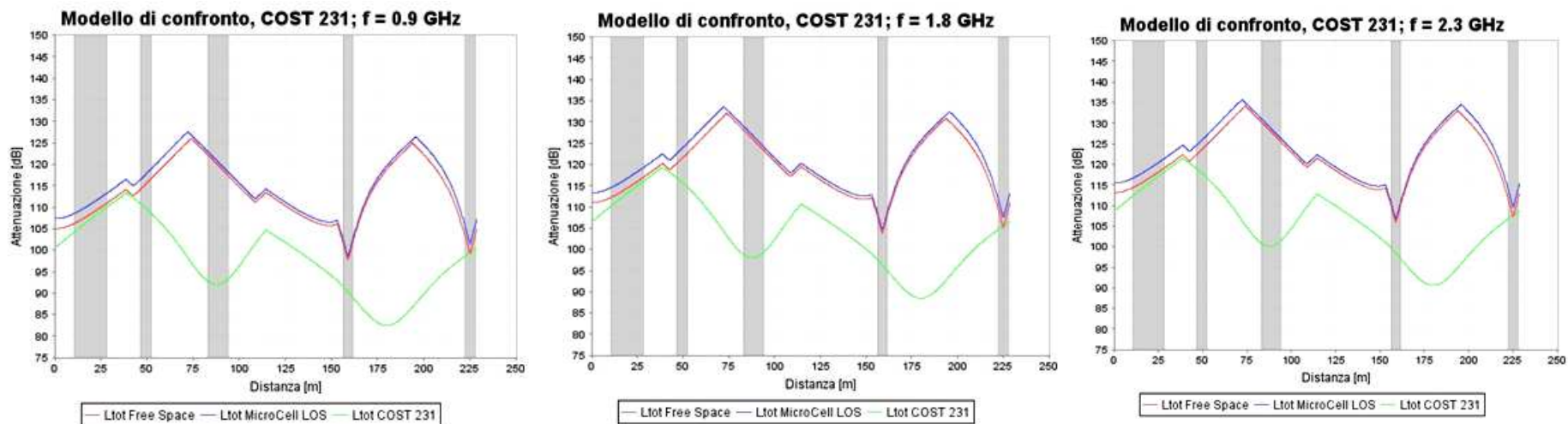


Figura 40: confronto tra COST 231 e modello di confronto alle frequenze di 0.9, 1.8 e 2.3 GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Naturalmente, in tutti i grafici appena riportati, si nota che gli andamenti di L_{out} non variano al variare della frequenza, dal momento che quest'ultima incide solo sul termine di attenuazione esterno, facendo sollevare la curva al crescere di f .

La posizione dei massimi e dei minimi dell'attenuazione totale non viene influenzata dalle variazioni della frequenza e le differenze tra il modello di confronto ed il COST 231 permangono.

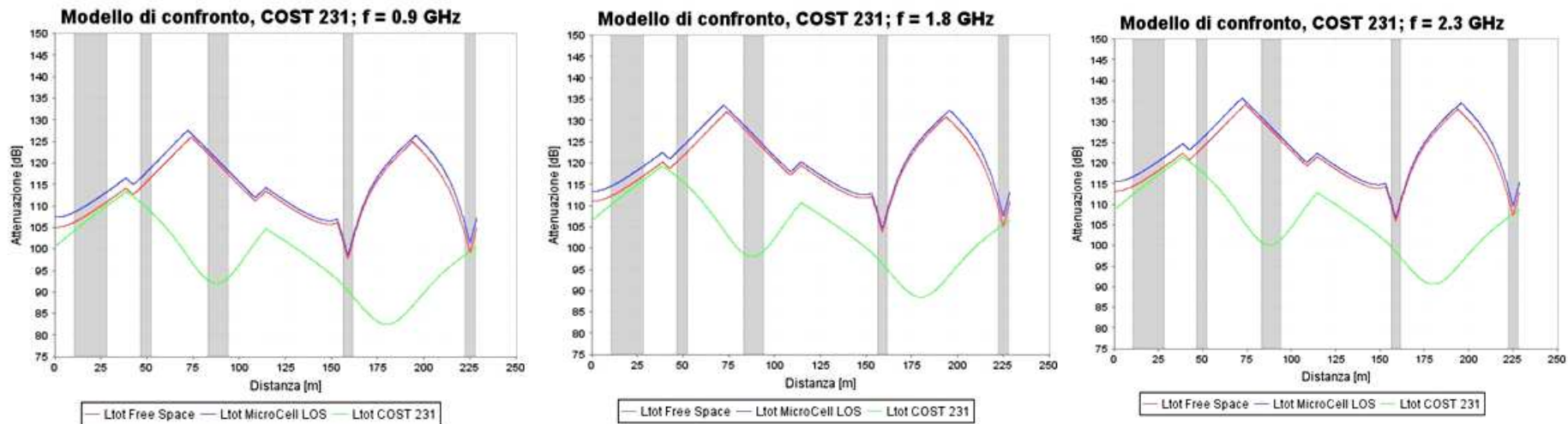


Figura 40: confronto tra COST 231 e modello di confronto alle frequenze di 0.9, 1.8 e 2.3 GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello di confronto e COST 231

Complessivamente, i valori di attenuazione totale ricavati alle frequenze di 0.9GHz, 1.8GHz e 2.3GHz sono inferiori rispetto al caso degli 8.45GHz.

Ciò è dovuto al fatto che, sia nella formulazione del modello di confronto, che del COST 231, il termine dipendente dalla frequenza ha un peso abbastanza rilevante ed influisce sull'attenuazione esterna attraverso il termine $20\log f$, e quindi una frequenza di 8.45GHz produrrà una L_{out} più elevata.

Al contrario, il termine dipendente dalla frequenza non compare nei termini di perdita delle pareti/aperture e nel termine di attenuazione lineare interna.

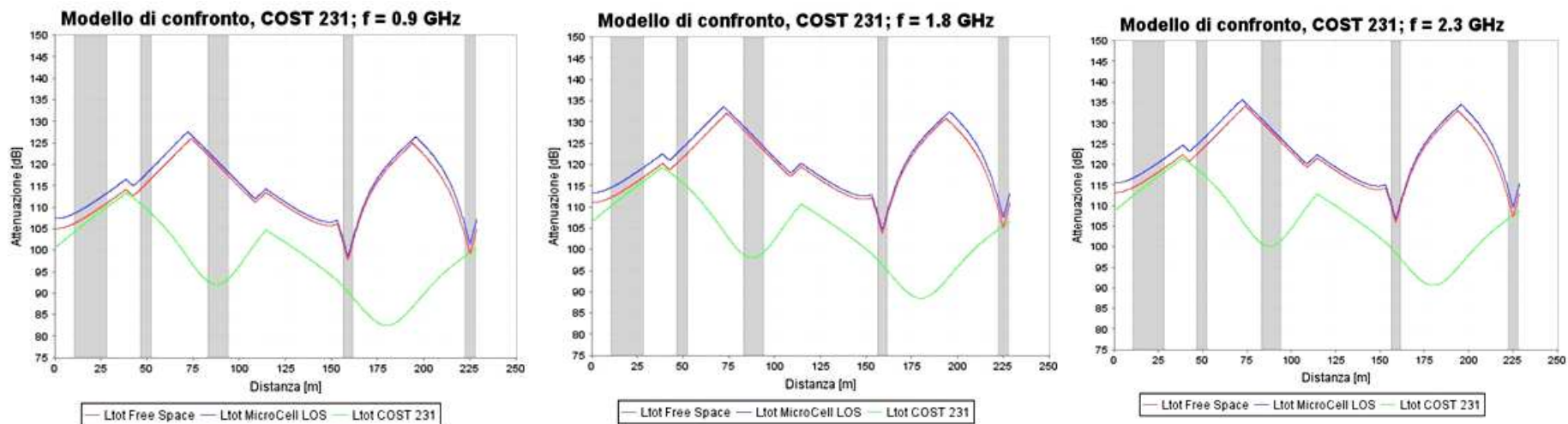


Figura 40: confronto tra COST 231 e modello di confronto alle frequenze di 0.9, 1.8 e 2.3 GHz.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il Modello 1998

Le tre espressioni dell'attenuazione totale ricavate nel modello del 1998 sono un esempio di direct modelling che prevede, per ogni frequenza di utilizzo, un'espressione diversa dell'attenuazione da penetrazione.

Relativamente a questa metodologia di modelling, resta il dubbio su come si possa prevedere l'andamento di L_{tot} in caso di frequenze intermedie tra quelle dei sub-modelli.

Pertanto, il paragone con il modello di confronto avverrà appunto alle frequenze per cui sono validati i tre sub-modelli.

Ci si trova, quindi, nell'impossibilità di effettuare un confronto diretto alla frequenza a cui sono stati raccolti i dati reali, dato che il modello descritto nel paper del 1998 non prevede un'espressione di L_{tot} valida per $f=8.45\text{ GHz}$.

Fortunatamente il modello di confronto segue bene le variazioni dei dati reali e può essere riproposto anche a frequenze diverse, semplicemente modificando i parametri dell'attenuazione esterna.

A tal proposito si ricordi infatti che, nel modello di confronto, essa è l'unica grandezza dipendente da f .

Questa caratteristica può essere vista anche come un vantaggio dei modelli non-direct modelling rispetto a quelli ottenuti mediante direct modelling, perché si prestano maggiormente ad essere adattati a contesti diversi, in particolare a frequenze diverse.

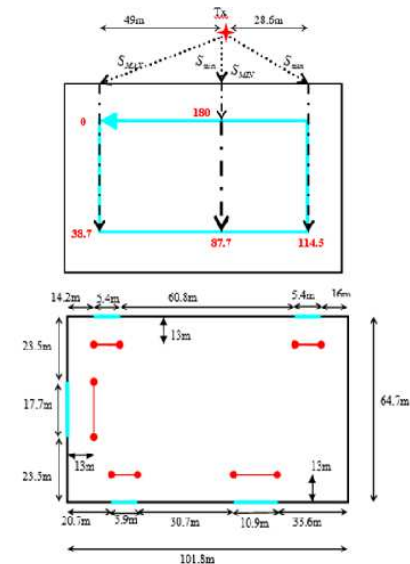
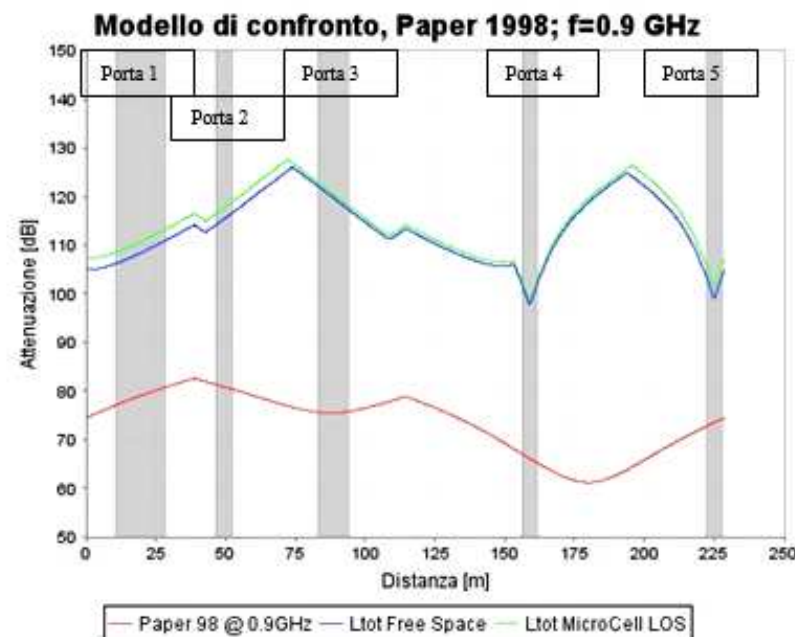
Il COST 231, d'altra parte, poteva essere anche visto come un ibrido da questo punto di vista, perché rappresenta un esempio di direct modelling, in cui però la dipendenza dalla frequenza risulta essere un adattamento dell'espressione L_{out} in free space.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il Modello 1998

Nel seguito riporteremo i grafici nei quali sono presenti le curve dell'attenuazione totale outdoor-indoor del modello di confronto e del paper del 1998, per tutte le frequenze previste per il modello del paper del 1998, ed in seguito procederò ad una breve analisi degli stessi.

Dopo ogni grafico viene anche riportata l'espressione dell'attenuazione totale, per la frequenza in esame.



$$L_{tot@900} = -37.7 + 40 \log d + 17.6 \log A_f - 27.5 S_Q$$

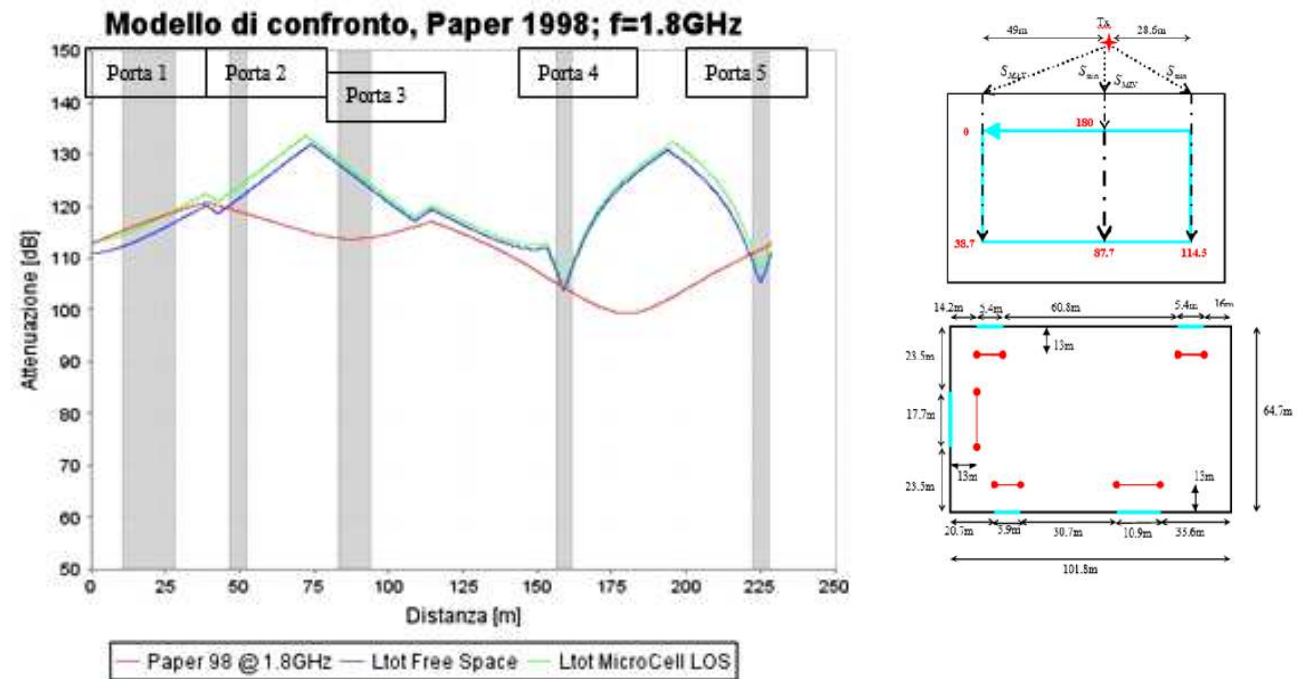
Figura 41: attenuazione totale per il modello di confronto (con Lout in free sapce e MicroCell LOS) e per il paper 1998, alla frequenza di 0.9GHz

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il Modello 1998

Nel seguito riporteremo i grafici nei quali sono presenti le curve dell'attenuazione totale outdoor-indoor del modello di confronto e del paper del 1998, per tutte le frequenze previste per il modello del paper del 1998, ed in seguito procederò ad una breve analisi degli stessi.

Dopo ogni grafico viene anche riportata l'espressione dell'attenuazione totale, per la frequenza in esame.



$$L_{tot@1800} = -27.9 + 40 \log d + 23.3 \log A_f - 20.9 S_Q$$

Figura 42: attenuazione totale per il modello di confronto (con Lout in free sapce e MicroCell LOS) e per il paper 1998, alla frequenza di 1,8 GHz

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il Modello 1998

La prima cosa che si nota analizzando le curve nei grafici, è che l'andamento dell'attenuazione totale nel caso del modello del 1998 varia molto in funzione della frequenza.

Quando $f=0.9 \text{ GHz}$ l'attenuazione totale outdoor-indoor assume valori molto bassi, che si discostano notevolmente da quelli del modello di confronto; in corrispondenza di uno stesso punto del measurement course, si può avere una differenza tra i due modelli di oltre 50dB (si veda come esempio il punto a circa 175m, che rappresenta uno dei casi peggiori).

Poiché il modello di confronto si discosta abbastanza poco dai dati reali alla frequenza di 8.45GHz, è lecito supporre che anche alle altre frequenze lo scostamento sia abbastanza basso (sempre per il fatto che la dipendenza dalla frequenza è contenuta solo in L_{out}), e quindi la differenza tra L_{tot} del modello di confronto ed L_{tot} del modello del 1998, alla frequenza di 0.9GHz, risulta notevole.

Da questi andamenti risulterebbe più che lecito supporre che il modello del 1998, relativamente alla frequenza in esame, non sia in grado di riprodurre l'andamento reale dell'attenuazione totale e che, pertanto, esso si riveli inefficace ai fini della previsione dell'attenuazione outdoor-indoor.

Ciò che potrebbe essere impreciso, relativamente al modello del 1998 a 0.9GHz, è il termine iniziale costante, pari a -37.7dB, che probabilmente fa diminuire in maniera eccessiva L_{tot} .

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il Modello 1998

Il sub-modello per la frequenza di 1.8GHz, invece, è un buon esempio di come le previsioni del modello di confronto e quelle del sub-modello in esame tendano a sovrapporsi.

Nella parte iniziale del percorso di misura, fino alla porta 2 compresa, le due curve quasi si sovrappongono, e la stessa cosa si ripete nell'intervallo compreso tra le porte 3 e 4.

Invece, lo scostamento maggiore tra i due modelli di L_{tot} lo si ha, come nel COST 231, nell'intervallo compreso tra la porta 4 e la porta 5.

Nel caso che stiamo esaminando ora, però, la differenza tra i valori previsti dai due modelli è inferiore alla differenza tra il modello di confronto ed il COST 231, alla stessa frequenza.

Il modello del 1998, per la frequenza di 1.8GHz, sembra quindi più adatto del COST 231 per la previsione dell'attenuazione totale, nell'ambiente in esame.

Infine, l'ultimo sub-modello da esaminare è quello per la frequenza di 2.3GHz. Si può facilmente notare che si ha nuovamente un allontanamento notevole tra i valori previsti dal modello di confronto e quelli del paper del 1998.

Ancora una volta, il sub-modello esaminato comporta una sottostima dei valori di L_{tot} lungo tutto il percorso di misura.

La differenza non è elevata come per i 0.9GHz, ma comunque le due curve non si intersecano mai.

Si può dire con certezza che i due modelli non sono interscambiabili per la previsione dell'attenuazione outdoor-indoor per $f=2.3\text{ GHz}$.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Conclusioni sul confronto tra il modello di confronto ed i tre sub-modelli esaminati

La prima conclusione, abbastanza ovvia, che si ricava dai grafici precedentemente riportati, è che, globalmente, i modelli del 1998 non riescono a seguire l'andamento dell'attenuazione totale e, anzi, tendono a produrre previsioni sottostimate di questa grandezza.

D'altro canto, però, il sub-modello riesce ad avvicinarsi in maniera abbastanza precisa ai valori previsti dal modello di confronto alla frequenza di 1.8GHz.

Questo perché i valori dei coefficienti che caratterizzano la sua espressione risultano più adatti ad ottenere i valori di attenuazione totale previsti.

Rimane però il dubbio se i parametri considerati nel modello del 1998 siano effettivamente adatti a descrivere i fenomeni fisici alla base dell'attenuazione outdoor-indoor.

A questo proposito, infatti, si ricordi che, nel modello del 1998, le grandezze che influenzano l'attenuazione totale sono la superficie dell'edificio esaminato ed il numero di pareti in visibilità del trasmettitore.

In tutti gli altri modelli esaminati, invece, le grandezze che maggiormente influenzano L_{tot} sono, a parte il termine dipendente dalla frequenza, gli angoli di incidenza ed i coefficienti di perdita delle pareti, funzione del materiale che li costituisce.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Conclusioni sul confronto tra il modello di confronto ed i tre sub-modelli esaminati

Ciò che bisognerebbe scoprire è quali siano in realtà le grandezze necessarie e sufficienti per ottenere delle predizioni adeguate di L_{tot} .

In generale, si vorrebbero dei parametri facilmente quantificabili e che non dipendano troppo dalla situazione contingente esaminata.

Dal modello del 1998 si potrebbe ricavare, come parametro utile, quello relativo al numero di pareti in visibilità del trasmettitore.

Infatti, una volta fissata la posizione dell'antenna trasmittente e definito l'edificio di interesse, risulta molto facile ricavare il numero di muri in LOS.

Definito il numero di muri in LOS, ovviamente bisognerà utilizzare un fattore peso adeguato per questo termine.

D'altra parte, dal modello di confronto e dal COST 231, si può ricavare l'importanza dei fattori di perdita dei muri e del fattore di attenuazione lineare interna, anche se, come si è visto dai grafici rispetto ai dati reali, questi fattori dovrebbero assumere forse dei valori un po' più elevati, almeno per il caso di α_{in} .

CONFRONTI TRA I MODELLI

Conclusioni sul confronto tra il modello di confronto ed i tre sub-modelli esaminati

Al contrario, parametri come l'area della stanza esaminata (modello 1998) o gli angoli di incidenza (modello di confronto o COST 231) risultano molto specifici per l'ambiente in esame e andrebbero valutati ad hoc per ogni stanza ed ogni situazione.

Risultano quindi di validità meno generale e comporterebbero un aumento delle elaborazioni durante la pianificazione di una cella.

L'ideale invece sarebbe poter usufruire di un modello che utilizzi parametri più generali possibili, senza naturalmente trascurare la dipendenza dalla frequenza del segnale, come potrebbe magari essere un'integrazione tra il modello del 1998 ed il modello di confronto.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il modello 2004

Il modello del 2004 non prevede una distinzione netta tra distanza esterna ed interna ed inoltre prevede che il segnale possa penetrare attraverso un qualunque punto del muro esterno dell'edificio; quest'ultima caratteristica lo rende analogo al COST 231.

Inoltre, considerata la geometria dell'edificio in esame e del measurement course, la penetrazione del segnale avviene sempre attraverso il cemento armato e quindi non si può nemmeno pensare di ridurre il valore della costante dielettrica relativa, che a sua volta ridurrebbe il coefficiente di riflessione e le perdite dovute al muro.

Nel rappresentare l'andamento dell'attenuazione da penetrazione per questo modello, ci limiteremo a considerare $\epsilon_r=5$, come già precisato nel paragrafo dedicato alla sua descrizione.

Occorre ricordare inoltre che l'andamento di L_{tot} per questo modello verrà graficato solo alla frequenza di 1.8GHz, sempre per tener conto del fatto che la costante dielettrica relativa di un materiale varia con la frequenza.

Nel seguito vengono riportati i grafici contenenti l'andamento dell'attenuazione totale outdoor-indoor per il modello di confronto e per il modello in esame.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il modello 2004

Poiché entrambi i modelli esaminati richiedono che l'attenuazione esterna sia calcolata come termine indipendente, provvederò a riportare diversi grafici per le diverse espressioni di L_{out} utilizzate; dopo ogni grafico viene anche indicata l'espressione di L_{tot} corrispondente al modello di attenuazione esterna applicato.

In particolare è stato già precedentemente evidenziato che, nel caso del modello di confronto, gli andamenti per l'attenuazione esterna in free space e quella in MicroCella LOS sono molto simili, pertanto nei grafici compare sempre la coppia di curve del modello di confronto L_{fs} e L_{LOS} .

Analogo discorso è stato fatto per l'attenuazione outdoor calcolata mediante i due modelli di Kitao e Ichitsubo.

Anche in questo caso, per il modello di confronto, compariranno entrambe le curve.

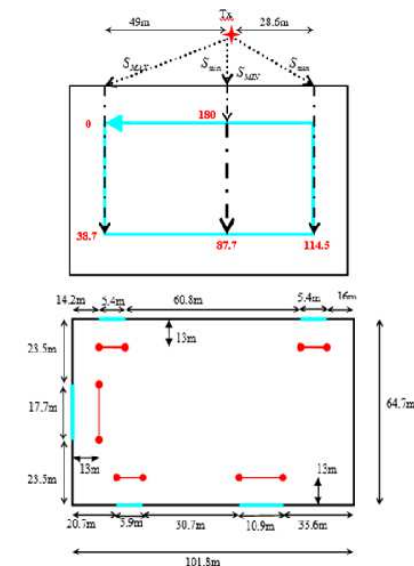
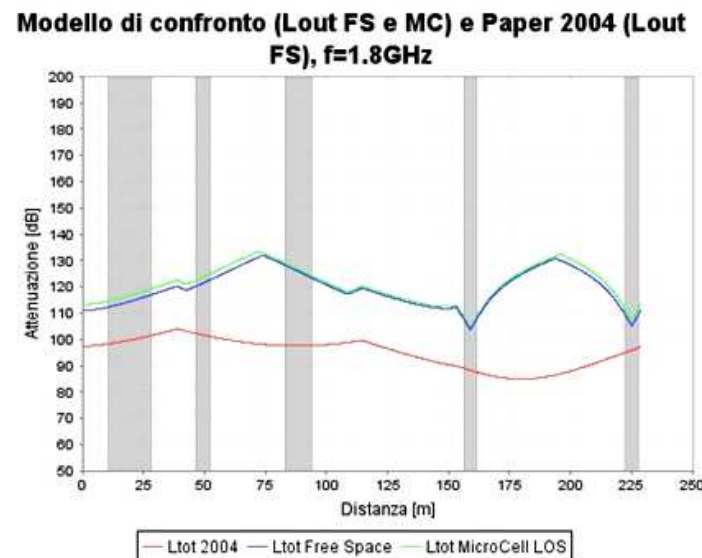


Figura 44: grafico dell'attenuazione totale per il modello 2004 ed il modello di confronto, considerando L_{out} del modello 2004 in free space e L_{out} del modello di confronto in free space e MicroCella LOS.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il modello 2004

L'attenuazione totale per il modello in esame ha la seguente espressione:

$$L_{tot_FS} = 32.4 + 20 \log d_{out} + 20 \log f + W_e' + \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1)$$

La prima cosa che si evince dal grafico in figura 44 è che il modello esaminato determina una sottostima dell'attenuazione totale rispetto al modello di confronto, quando per esso si considera l'attenuazione esterna calcolata come in free space.

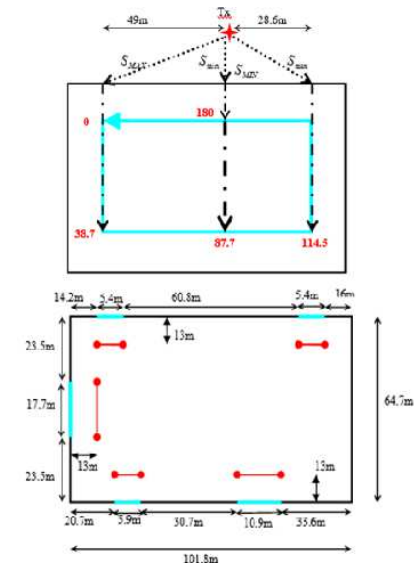
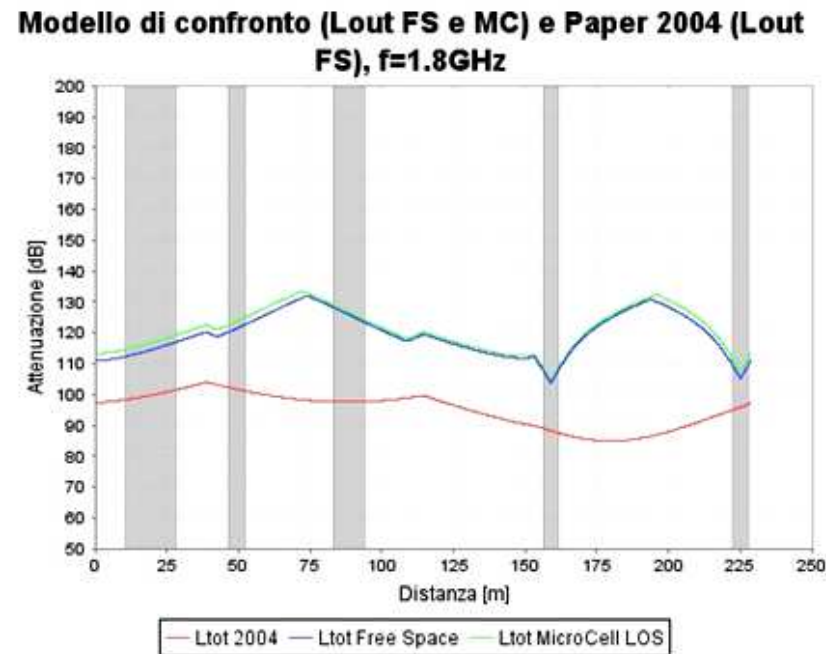


Figura 44: grafico dell'attenuazione totale per il modello 2004 ed il modello di confronto, considerando Lout del modello 2004 in free space e Lout del modello di confronto in free space e MicroCella LOS.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il modello 2004

Lo stesso andamento lo si ha nel caso in cui l'attenuazione esterna venga valutata considerando il caso di MicroCella LOS (figura 45).

$$L_{tot_LOS} = 42.6 + 26 \log d_{out} + 20 \log f + W_e' + \alpha \cdot d_{in} - 20 \log T(r_1)$$

**Modello di confronto (Lout FS e MC) e Paper 2004 (Lout MC)
f=1.8GHz**

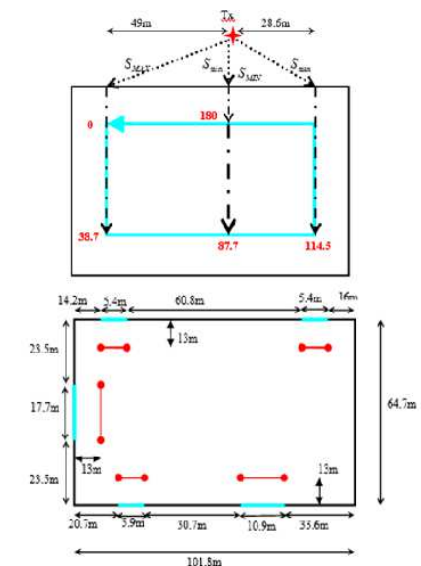
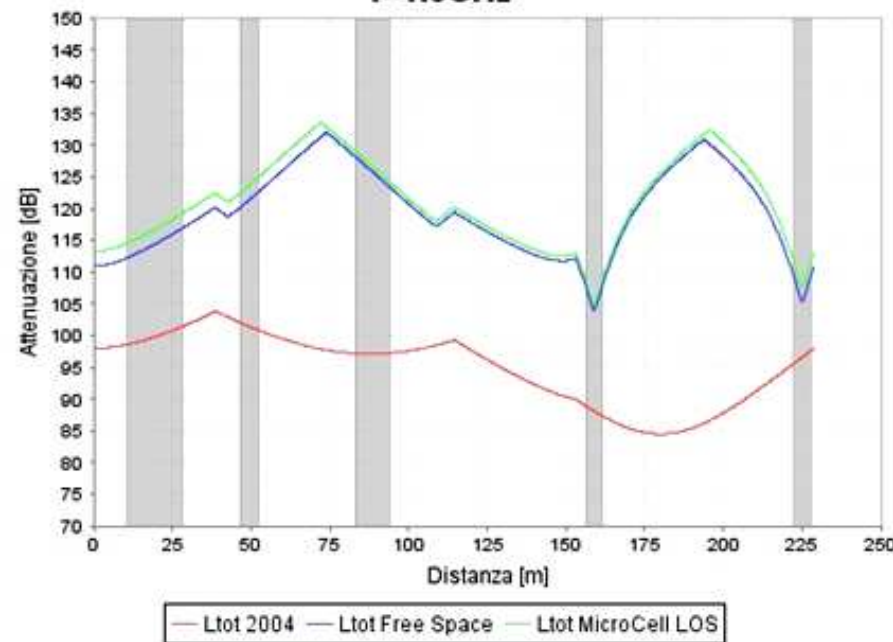


Figura 45: grafico dell'attenuazione totale per il modello 2004 ed il modello di confronto, considerando Lout del modello 2004 in Microcella LOS e Lout del modello di confronto in free space e MicroCella LOS.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il modello 2004

Poiché in entrambi i casi si ha una sottostima di L_{tot} , la prima cosa cui verrebbe da pensare è che i parametri caratterizzanti la penetration loss del modello in esame assumono valori troppo bassi.

Purtroppo però non è lecito modificarli, in quanto sono esattamente i valori misurati per l'ambiente in esame.

In particolare, W'_e rappresenta mediamente le perdite del muro in visibilità del trasmettitore, ed il suo valore è stato determinato come media tra il valore misurato per incidenza perpendicolare del raggio primario e le perdite per incidenza radente, e pertanto è caratteristico dell'edificio in esame e non può essere modificato a piacimento.

L'espressione del coefficiente di trasmissione è quella classica e dipende dall'angolo di incidenza, che a sua volta dipende dalla posizione relativa tra trasmettitore e ricevitore e quindi anch'esso non può essere variato.

Infine, l'ultimo termine sul quale si potrebbe pensare di agire è il coefficiente di attenuazione lineare interna α .

Come abbiamo già affermato per il modello di confronto, il suo valore è stato misurato solo perpendicolarmente alle aperture e quindi potrebbe risultare inadatto al modello in esame.

Se però si decidesse di modificare il valore di α , bisognerebbe trovare un valore adatto che sia contemporaneamente valido per il modello in esame e per l'edificio considerato.

Ad esempio si potrebbe pensare di sostituirlo col valore che viene suggerito dagli autori del modello 2004 e cioè utilizzare $\alpha=2.1$ dB/m, in quanto gli autori stessi suggeriscono che quest'ultimo potrebbe essere un valore medio adatto a qualunque situazione ed edificio.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il modello 2004

A titolo di esempio si riporta in figura 46 l'andamento dell'attenuazione outdoor-indoor, calcolata utilizzando per il coefficiente di attenuazione lineare il valore suggerito di $\alpha=2.1$ dB/m.

Come si può notare dal grafico, se per α si utilizza un valore diverso da quello appositamente misurato per l'edificio, l'andamento dell'attenuazione totale cambia completamente e raggiunge valori oltre i 200dB.

Modello di confronto (Lout FS e MC) e Paper 2004 (Lout FS), $f=1.8\text{GHz}$

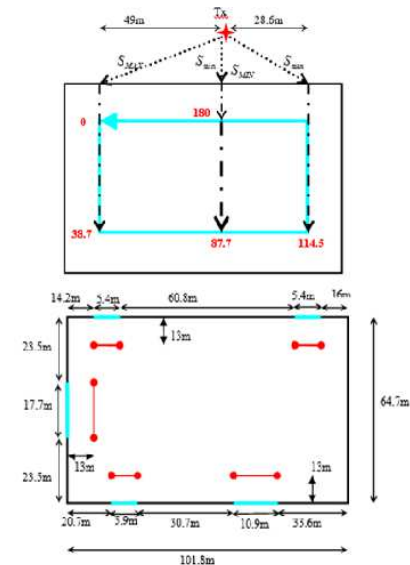
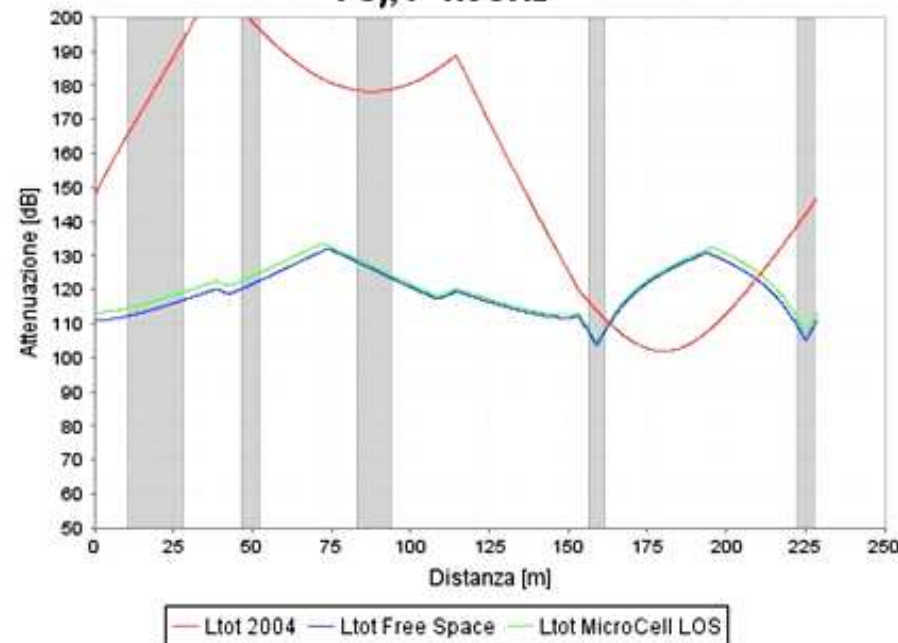


Figura 46: Ltot considerando per il modello 2004 Lout in free space e $\alpha=2.1$ dB/m.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Confronto tra il modello di confronto ed il modello 2004

Se invece si decidesse di utilizzare il coefficiente proposto da COST 231, l'andamento di L_{tot} sarebbe il seguente (Fig.47).

Anche in questo caso si nota che le oscillazioni si fanno molto più marcate, senza però fornire un contributo utile nell'avvicinare l'andamento dei due modelli.

Da queste considerazioni è pertanto lecito dedurre che il problema della sottostima dell'attenuazione totale per il modello 2004, quando si utilizza $\alpha=0.348$ dB/m e si valuta l'attenuazione esterna in free space, potrebbe non dipendere dai parametri caratteristici della building penetration loss del modello, ma piuttosto da un cattivo abbinamento tra il modello per l'attenuazione esterna e quello per la building penetration loss, quando si calcola L_{tot} .

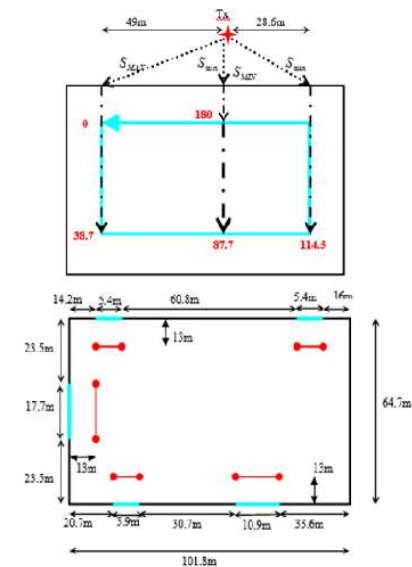
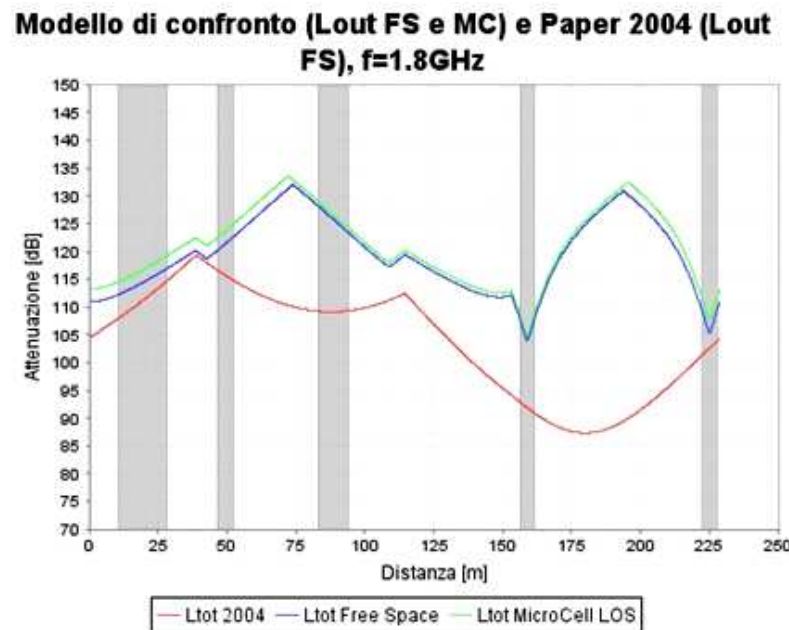


Figura 47: L_{tot} considerando per il modello 2004 L_{out} in free space e $\alpha=0.6$ dB/m.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Il confronto tra il modello 2009 ed il modello di confronto è stato fatto per tutte le frequenze considerate e tenendo conto del fatto che, sia il modello 2009 che il modello di confronto, richiedono, separatamente, il calcolo dell'attenuazione esterna.

Naturalmente gli andamenti per le diverse frequenze risulteranno tra loro abbastanza simili, dal momento che il range di applicazione per questi modelli spazia su un intervallo di frequenze ampio.

Perciò è logico aspettarsi che un cambiamento nella frequenza considerata comporti solamente uno spostamento della curva più in alto (incremento della frequenza) o più in basso (decremento della frequenza) nel grafico di L_{tot} .

Nel seguito verranno riportati solo i grafici ed i ragionamenti per $f=8.45\text{ GHz}$, dal momento che essi sono analoghi per tutte le frequenze di interesse.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Per prima cosa viene nuovamente inserito il grafico nel quale sono indicati, in maniera qualitativa, i valori misurati e la predizione fornita dal modello di confronto, considerando l'attenuazione esterna come quella per il free space.

Come già detto nella descrizione del modello di confronto, esso segue molto bene i dati misurati ed è probabile che la sottostima dei valori dell'attenuazione totale possa dipendere dalla scelta del modello utilizzato per il calcolo dell'attenuazione interna, che è in effetti molto semplice, trattandosi di un andamento lineare con la distanza, con un coefficiente angolare piccolo ($\alpha_{in}=0.348\text{ dB/m}$).

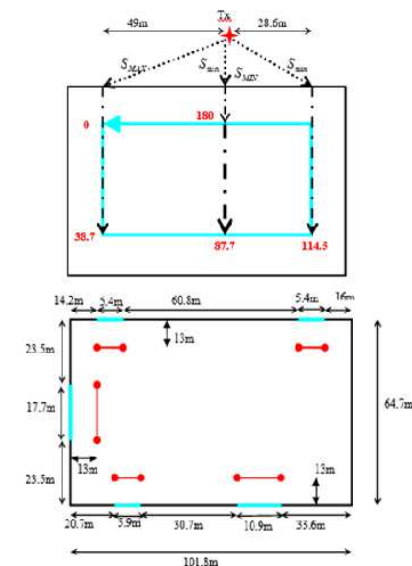
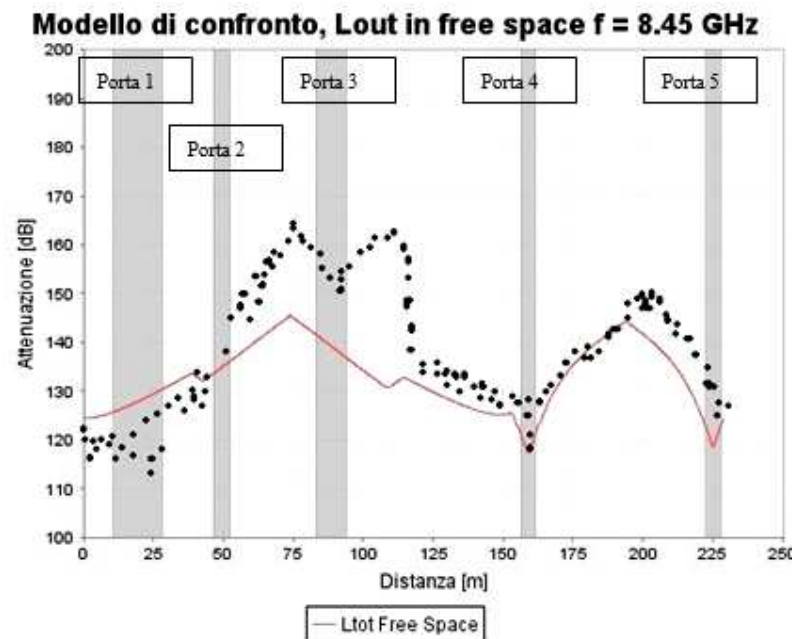


Figura 51: attenuazione totale ottenuta per il modello di confronto considerando l'attenuazione esterna come in free space, si noti, in nero, l'andamento qualitativo dei valori misurati.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Nel caso del modello 2009, viene invece fornita un'unica espressione per la building penetration loss, che quindi racchiude in sé, integrandole in un'unica formula, l'attenuazione interna e quella da penetrazione.

Il termine di attenuazione interna è comunque facilmente riconoscibile e anche in questo modello ha andamento lineare con la distanza interna.

Dalla figura 52 si può notare immediatamente che i due modelli seguono lo stesso andamento per la predizione dell'attenuazione outdoor-indoor, lungo tutto il percorso di misura.

Ciò è dovuto al fatto che entrambi i modelli considerano come punti di penetrazione del segnale solamente le aperture presenti sulle pareti.

Questo fatto spiega le oscillazioni molto pronunciate e la presenza dei massimi di L_{tot} nei tratti tra due aperture e, viceversa, la localizzazione dei minimi in corrispondenza delle aperture.

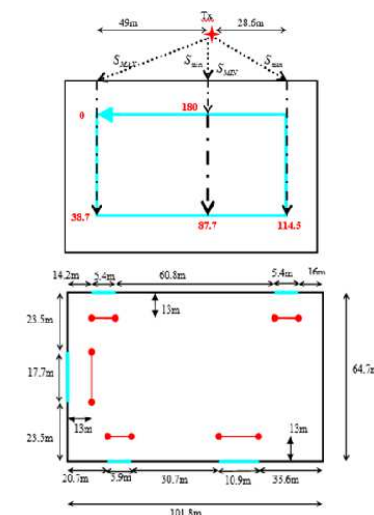
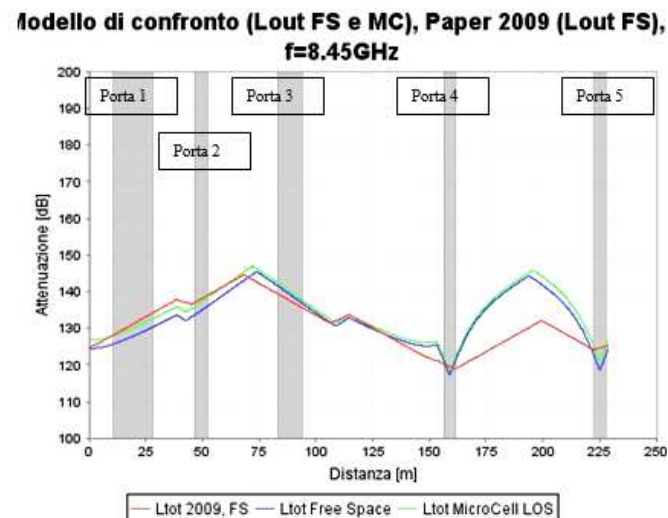


Figura 52: confronto tra il modello di confronto (Lout per il free space e MicroCella LOS) ed il modello 2009 (Lout per il free space), a 8.45GHz. 157

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Una descrizione dettagliata delle analogie e delle differenze tra i due modelli verrà fatta prendendo come esempi gli andamenti quando per entrambi si considera l'attenuazione esterna come in free space.

Quest'ultima considerazione è legittimata dal fatto che il trasmettitore è in visibilità diretta dell'edificio e la distanza tra esso ed il muro è abbastanza ridotta da poter, almeno in prima approssimazione, trascurare le interazioni con gli altri edifici.

Naturalmente poi si provvederà a fornire i grafici anche per L_{out} calcolata diversamente e se ne trarranno le dovute considerazioni.

Bisogna infatti tenere presente che, nell'ambito della propagazione urbana, ogni descrizione dell'ambiente circostante è sempre frutto di un'approssimazione e pertanto le stesse definizioni di area più o meno urbanizzata sono, a loro volta, delle approssimazioni; analogamente, la definizione di MicroCella potrebbe cambiare a seconda dei modelli utilizzati o dell'area in questione.

Risulterà pertanto interessante considerare diverse espressioni per L_{out} , nel caso sia del modello 2009 che del modello di confronto, e studiare i diversi andamenti.

Ciò sarà utile anche per farsi un'idea di quale possa essere l'abbinamento più adeguato tra il modello per la building penetration loss e l'attenuazione esterna per l'ambiente in esame.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Dall'esame della figura 52 si può notare il fatto che i due modelli sono molto vicini tra loro per la maggior parte del measurement course.

In particolare gli andamenti sono sovrapposti fino a quasi dopo la porta 4, da quel momento in poi invece i due modelli tendono a divergere in maniera abbastanza pronunciata.

Nel primo tratto del percorso di misura, fino a circa 40m, il modello 2009 tende a sovrastimare l'attenuazione totale rispetto al modello di confronto, come si nota dall'ingrandimento di questo tratto, presentato in figura 53.

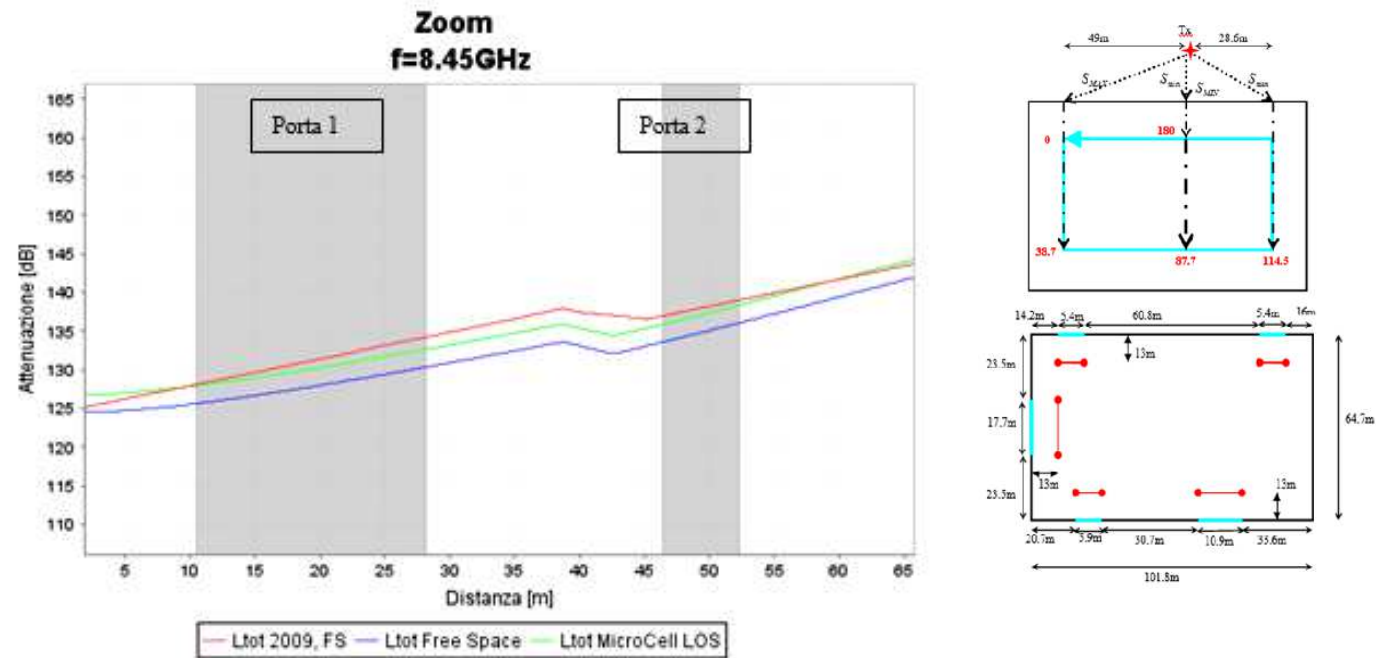


Figura 53: ingrandimento del primo tratto del measurement course.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Successivamente entrambi i modelli presentano un tratto decrescente, che si conclude con un punto di minimo relativo situato in posizione diversa.

Per il modello di confronto questo punto di minimo è situato all'incirca a 43m sul percorso di misura, mentre per il modello 2009 tale minimo è posto poco prima della porta 2, quindi a circa 45m.

La distanza tra i due minimi, pertanto, è di soli 2m, e questa differenza potrebbe dipendere da come è stata definita la distanza d_{var} per il modello 2009.

Infine si noti che, per questo primo tratto del percorso di misura, la differenza tra i valori di attenuazione totale calcolati per i due modelli resta sempre al di sotto dei 5dB.

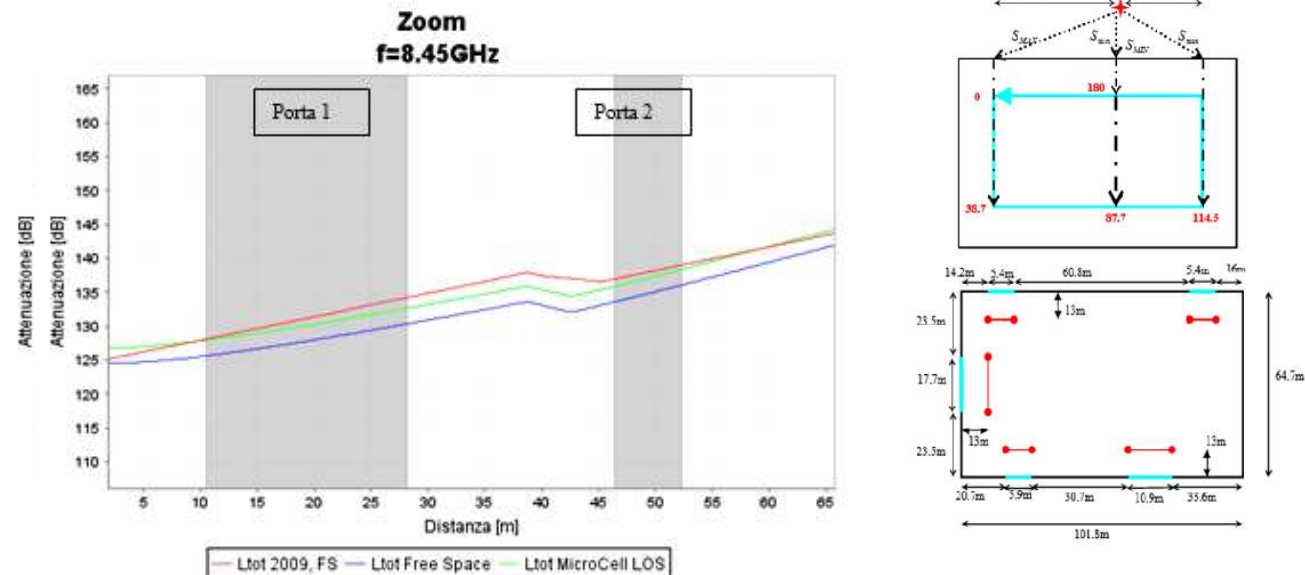


Figura 53: ingrandimento del primo tratto del measurement course.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Nella figura 54 viene riportato l'ingrandimento per il tratto del percorso di misura tra circa 40m e 115m.

Dal grafico si può notare che in corrispondenza della porta 2 le due curve tendono a sovrapporsi ed i valori dell'attenuazione totale previsti dai due modelli si avvicinano molto.

Nonostante, infatti, i due modelli prendano in considerazione grandezze diverse, partono dagli stessi presupposti (penetrazione del segnale attraverso le aperture) e portano a conclusioni molto simili.

Nel caso del modello di confronto, l'andamento di L_{tot} deriva dal fatto che essa dipende dall'angolo di incidenza interno φ .

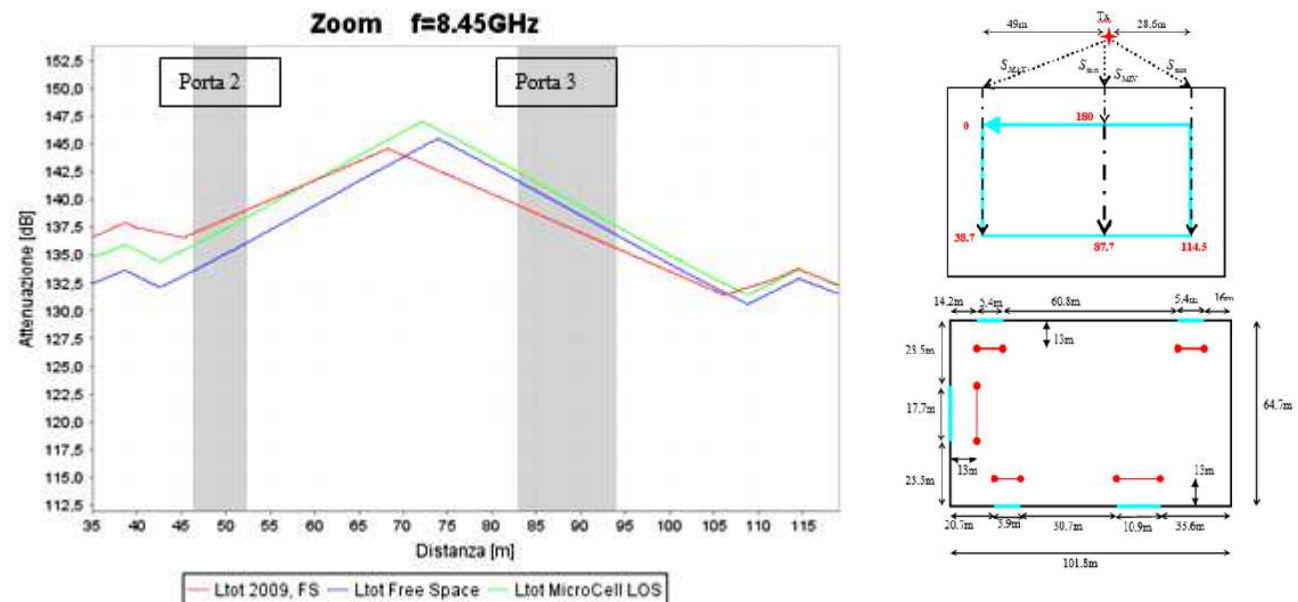


Figura 54: ingrandimento del secondo tratto del measurement course.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Nel tratto compreso tra circa 45m e 65m questo angolo aumenta via via che ci si sposta lateralmente rispetto alla porta 5, e quindi l'attenuazione totale aumenta. Infatti la stessa porta 2 è laterale rispetto alla porta 5 e questo spiega l'andamento crescente di L_{tot} per il modello di confronto, nell'intervallo considerato.

Il modello 2009 ha anch'esso un tratto crescente di L_{tot} che deriva dal fatto che tra i 45m ed i 65m aumenta d_{var} perché ci si allontana sempre più dall'apertura più vicina.

Questo spiega anche perché il punto di massimo assoluto per l'attenuazione outdoor-indoor, nel modello 2009, si raggiunga circa in corrispondenza del punto a 68m del measurement course, in quanto questo punto è a metà strada tra le porte 4 e 5, e per giunta in corrispondenza di $d_{in_MAX} = 51.7\text{m}$. Il punto sul measurement course per il quale si ha il massimo assoluto di L_{tot} è indicato in Fig.55.

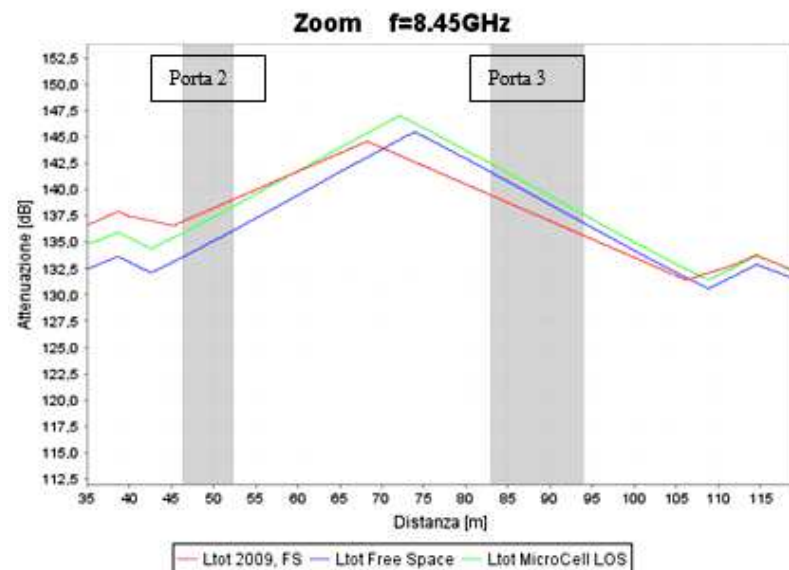


Figura 54: ingrandimento del secondo tratto del measurement course.

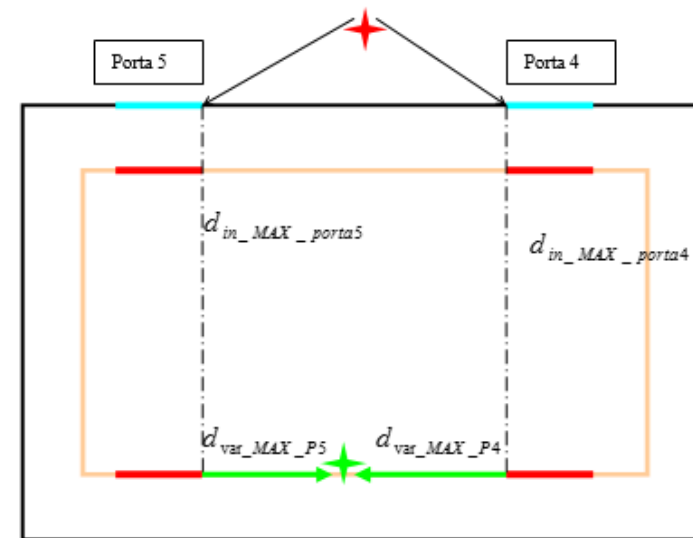


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Per il modello di confronto, invece, si ha il massimo assoluto della curva tra i 72m ed i 74m, a seconda di come viene valutata l'attenuazione esterna.

Questo perché è in corrispondenza di questi punti che d_{in} e φ sono contemporaneamente massimi.

Si nota quindi che per entrambi i modelli il massimo di L_{tot} si verifica nei punti più lontani dalle aperture che sono in visibilità del trasmettitore e nel tratto del percorso di misura compreso tra esse.

Inoltre, nel caso peggiore, la distanza tra i punti di massimo è di appena 6m.

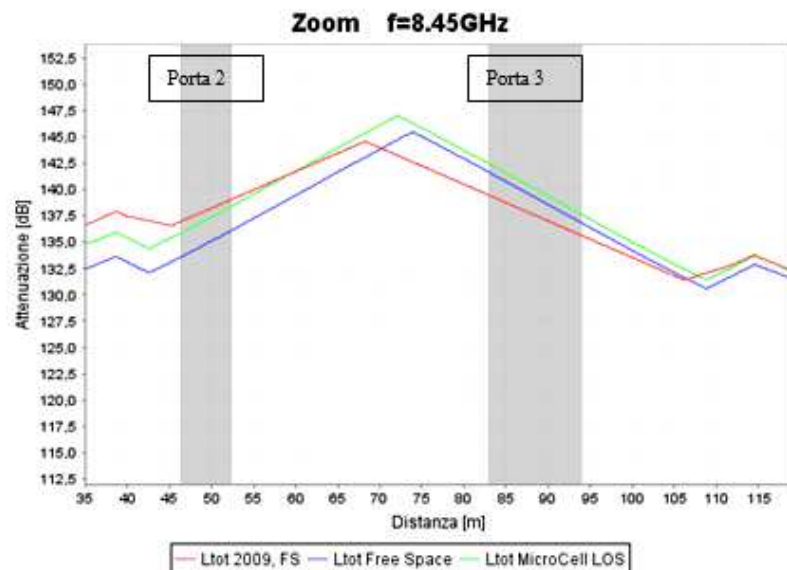


Figura 54: ingrandimento del secondo tratto del measurement course.

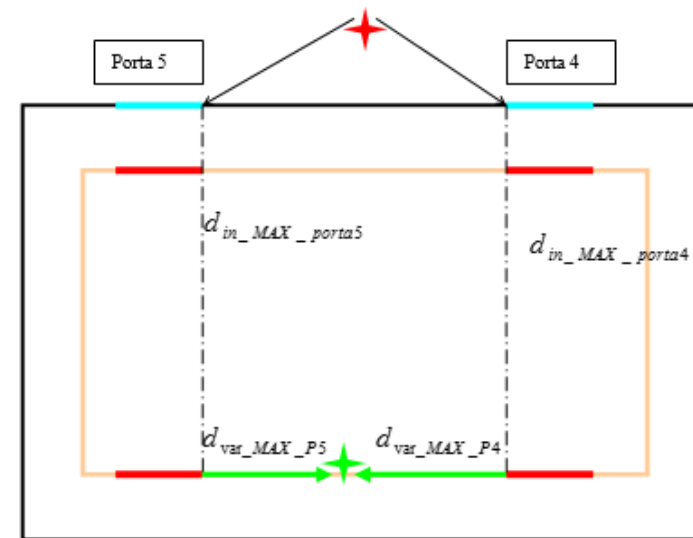


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Da tutto questo si deduce ancora una volta che i due modelli presentano molte analogie e riproducono quasi esattamente lo stesso andamento del segnale.

In aggiunta a tutto questo si può notare che, fino al punto di massimo, la differenza tra i valori previsti dell'attenuazione outdoor-indoor tra i due modelli non arriva a 3dB.

A partire dal punto di massimo assoluto, invece, i due modelli cominciano a discostarsi in maniera più marcata, per poi riavvicinarsi ed intersecarsi nuovamente in corrispondenza di circa 105m.

Comunque, la differenza tra i valori dell'attenuazione totale previsti si mantiene al di sotto dei 5dB.

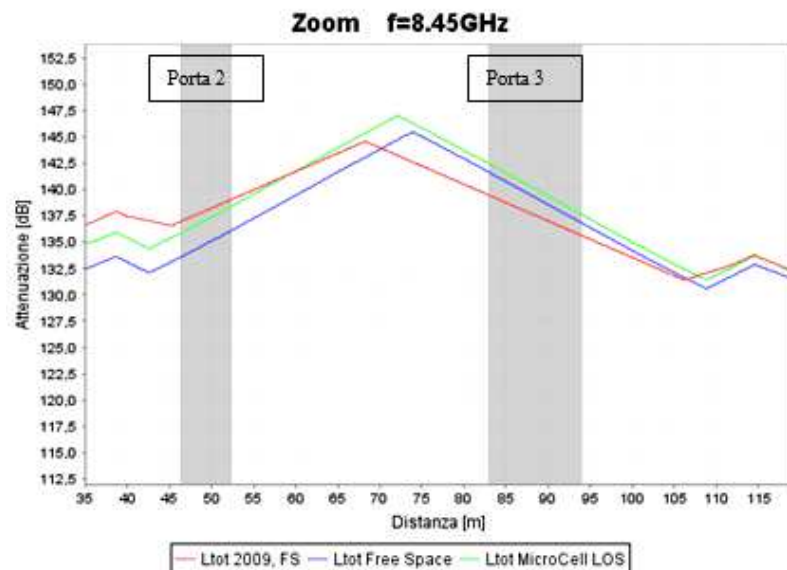


Figura 54: ingrandimento del secondo tratto del measurement course.

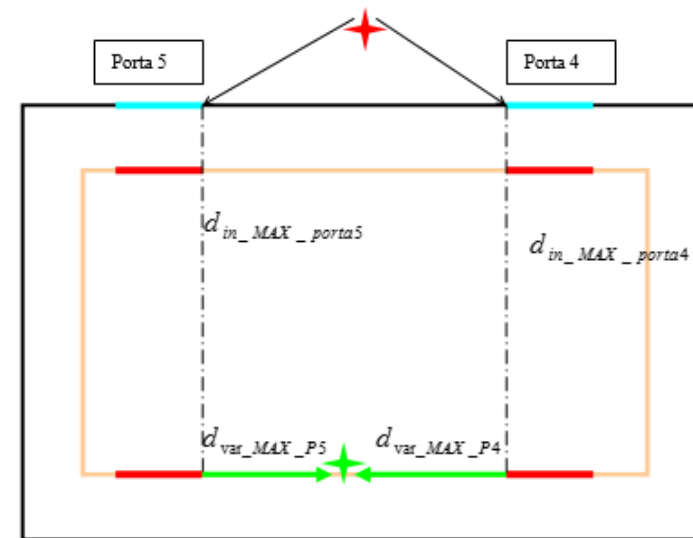


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Nel secondo punto di massimo relativo, che si verifica per entrambi a 115m circa, il modello di confronto ed il modello 2009 prevedono lo stesso valore dell'attenuazione outdoor-indoor, pari a circa 134dB.

Nella figura seguente (figura 56) viene riportato l'ingrandimento del grafico per il tratto del measurement course compreso tra circa 115m e 180m.

Anche in questo caso si nota una corrispondenza notevole tra i valori previsti dai due modelli, almeno nella prima parte del tratto in esame. Infatti, tra 115m e circa 140m, le curve di previsione del modello di confronto e del modello 2009 si trovano pressoché sovrapposte.

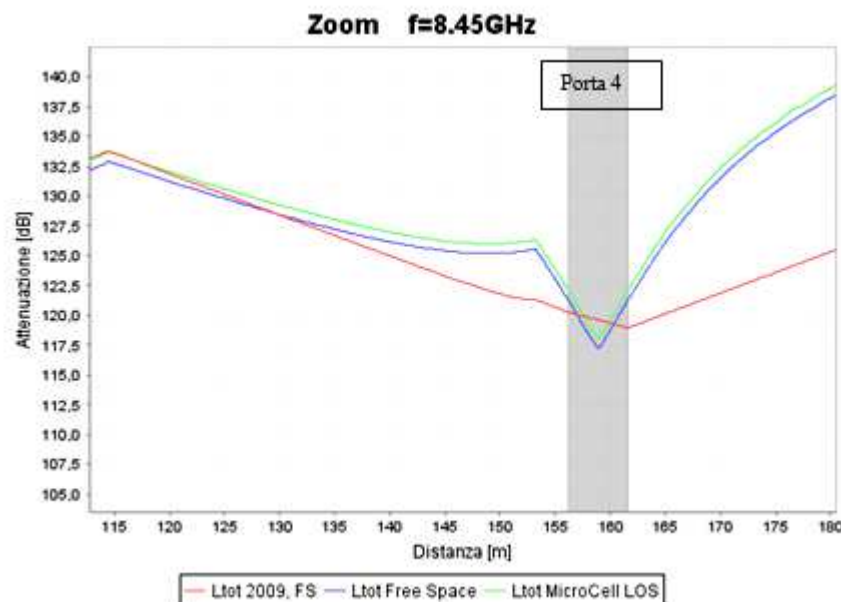


Figura 56: ingrandimento del terzo tratto del measurement course.

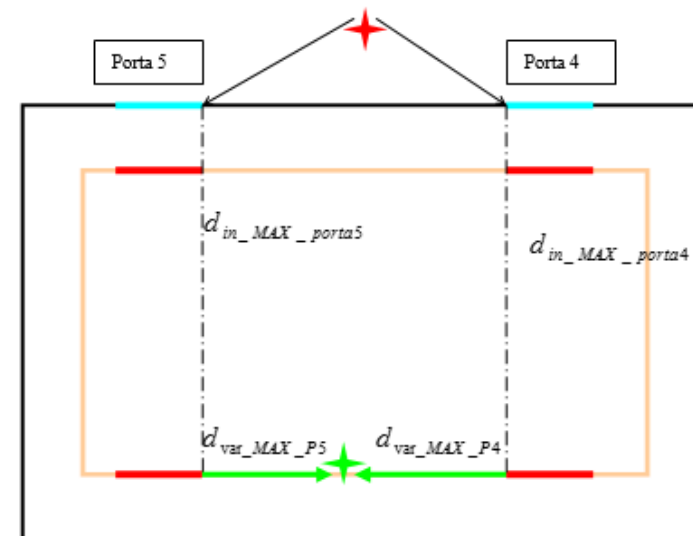


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Si noti che tutto il tratto compreso tra le porte 3 e 4 è anche quello in cui il modello di confronto approssima meglio i dati misurati.

Lo scostamento tra le due raggiunge gli 8dB in corrispondenza di circa 150m.

Sulla porta 4 il modello di confronto raggiunge il punto di minimo assoluto di L_{tot} , mentre il modello 2009 raggiunge questo punto esattamente alla fine della porta 4 ovvero circa 3m più a destra rispetto al modello di confronto.

È da questo punto di minimo in poi che i valori previsti dai due modelli cominciano a discostarsi notevolmente l'uno dall'altro.

A partire da 165m, infatti, il modello 2009 si mantiene ben al di sotto del modello di confronto e questo fatto fa sì che sottostimi largamente i dati reali, dal momento che lo stesso modello di confronto, nel tratto finale del measurement course, fornisce valori di L_{tot} al di sotto di quelli misurati.

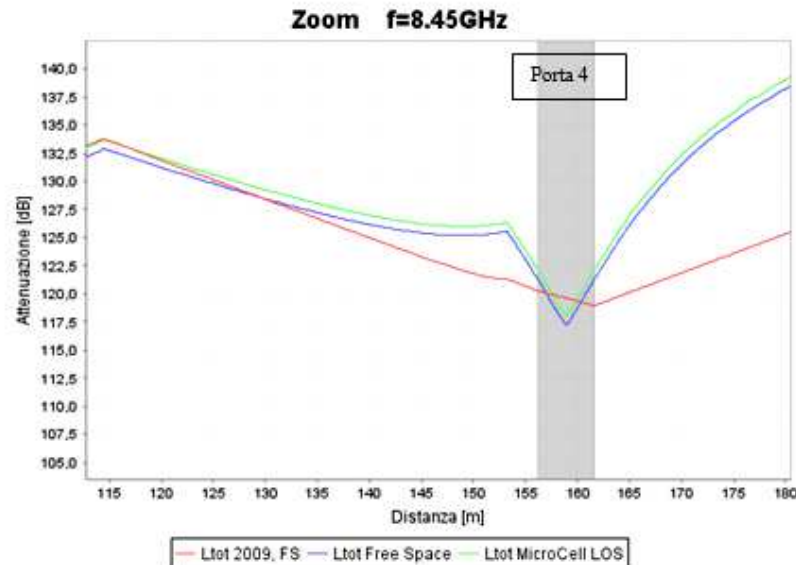


Figura 56: ingrandimento del terzo tratto del measurement course.

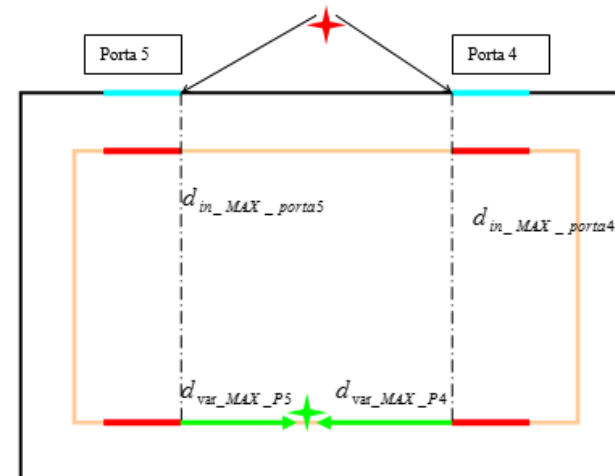


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

L'ultimo tratto del measurement course viene presentato in figura 64 e in essa si vede chiaramente quanto appena affermato.

Le curve relative ai due modelli tornano ad intersecarsi in corrispondenza della porta 5, fornendo, in quest'ultimo tratto del percorso di misura, valori di attenuazione totale nuovamente molto simili.

In realtà bisognerebbe verificare se l'utilizzo di un modello più articolato per l'attenuazione interna, applicato sia al modello di confronto che al modello 2009, possa fornire un andamento ancora più simile tra i due e caratterizzato da una maggiore corrispondenza con i dati reali.

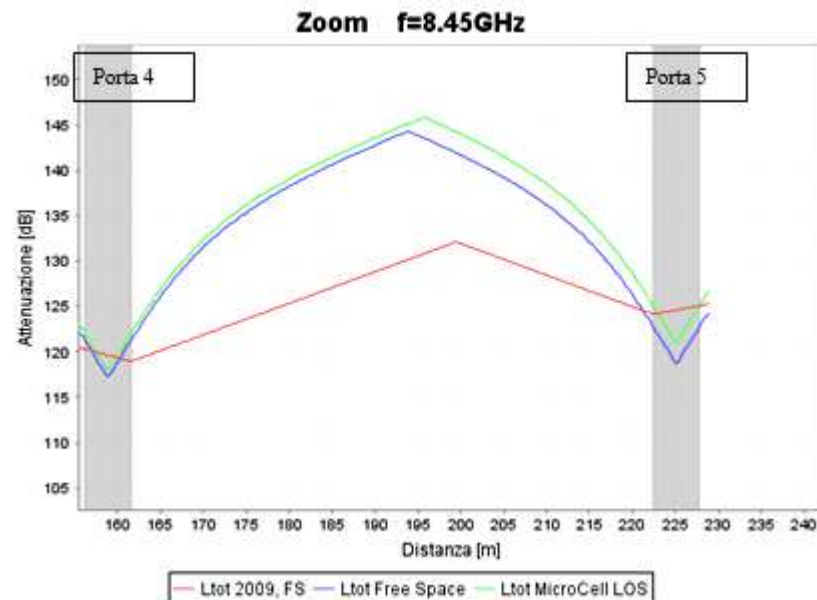


Figura 56: ingrandimento del quarto tratto del measurement course.

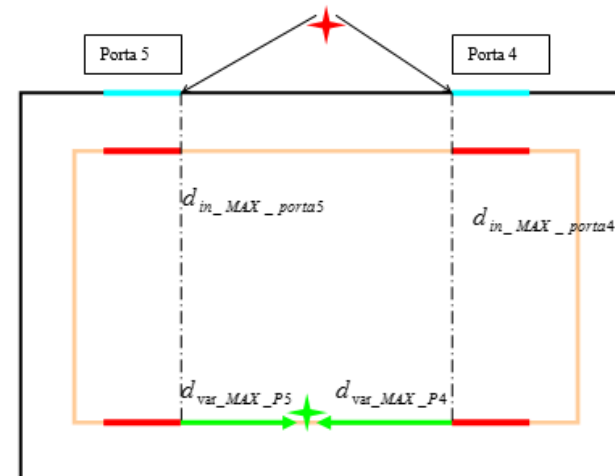


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Ciò che si può dedurre da tutti i ragionamenti fin qui svolti sul confronto tra modello di confronto e modello 2009 è che i due possono, in un certo qual modo, essere considerati equivalenti ed applicabili agli stessi ambienti caratterizzati da aperture in visibilità del trasmettitore.

Pur considerando parametri diversi, infatti, riproducono lo stesso andamento dell'attenuazione totale, in linea con quelli che sono i dati reali.

In particolare il modello 2009 risulta anche di più semplice applicazione, in quanto non richiede elaborazioni complesse per la determinazione degli angoli interni ed esterni.

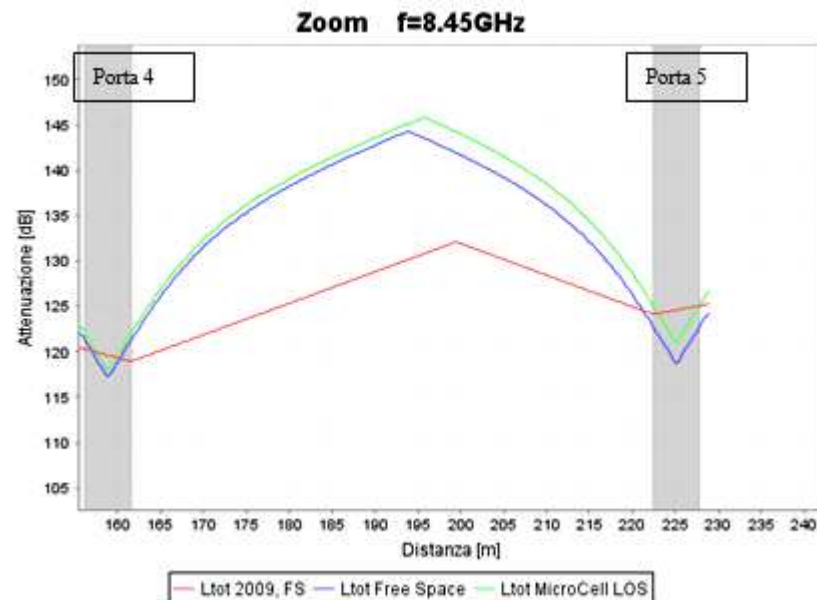


Figura 56: ingrandimento del quarto tratto del measurement course.

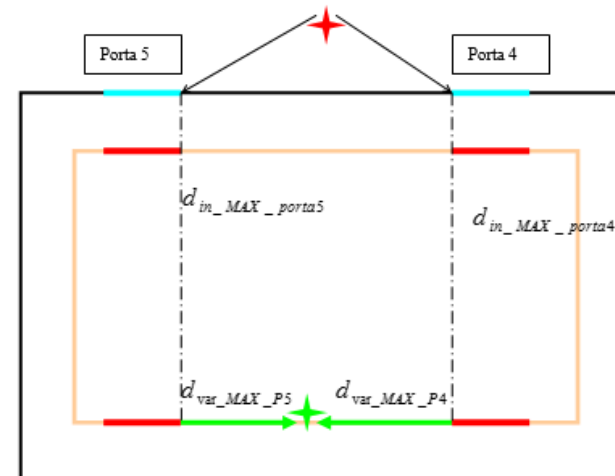


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Per quanto riguarda la distanza esterna, è sufficiente conoscere la distanza fisica tra il trasmettitore e l'apertura o le aperture considerate.

Per quanto riguarda le distanze interne, per come è stata definita la distanza d_{var} , occorre solo conoscere la distanza del punto di interesse da un punto posizionato davanti all'apertura illuminata (o dei punti posizionati davanti alle aperture illuminate, se queste sono più di una).

Per quanto riguarda i parametri relativi alle perdite dei muri, si possono utilizzare i valori medi per i diversi tipi di materiale documentati, ad esempio, dal COST 231.

In realtà essi sembrerebbero un po' sottostimati, ma sarebbe sufficiente aumentarne il valore, considerando il fatto che l'incidenza del segnale può avvenire anche in direzione radente alle aperture.

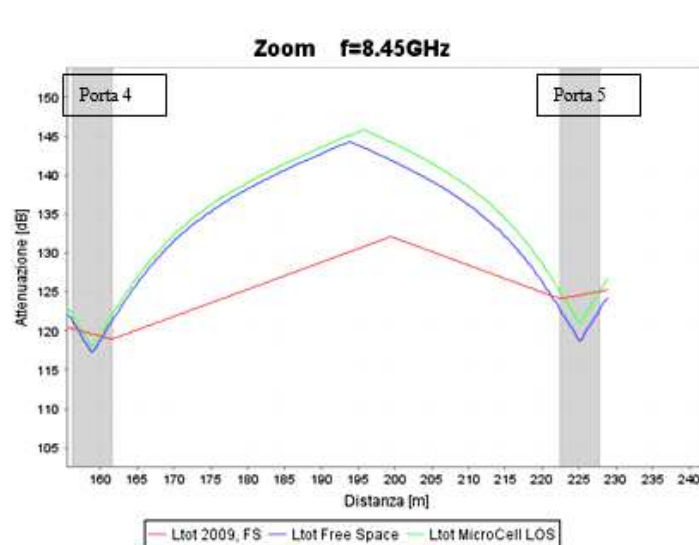


Figura 56: ingrandimento del quarto tratto del measurement course.

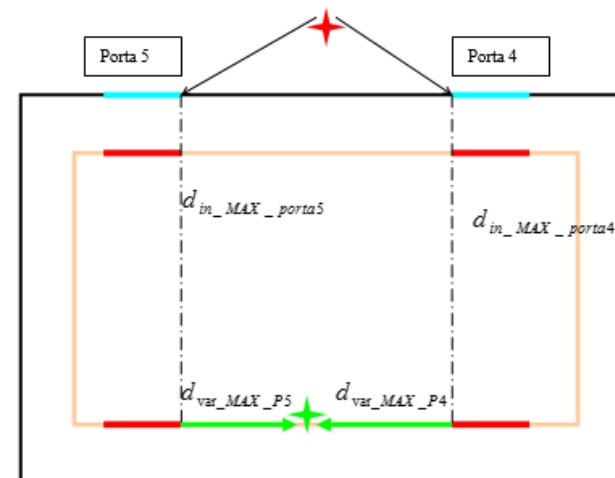


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Nel seguito vengono riportati i grafici e le considerazioni sul paragone tra i due modelli, considerando espressioni diverse per l'attenuazione esterna.

L'attenuazione totale del modello 2009 verrà graficata considerando per il modello per MicroCella LOS ed i due modelli di Kitao e Ichitsubo.

Tutti i grafici riportati nel seguito sono stati realizzati per la frequenza di 8.45GHz .

La scelta di utilizzare 8.45 GHz deriva dal fatto che essa è anche la frequenza della campagna di misura per il modello di confronto e quindi permette un paragone diretto del modello 2009 con esso.

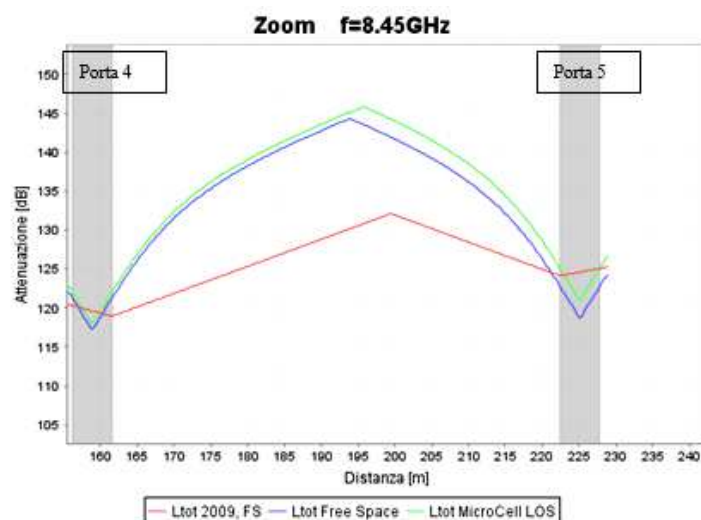


Figura 56: ingrandimento del quarto tratto del measurement course.

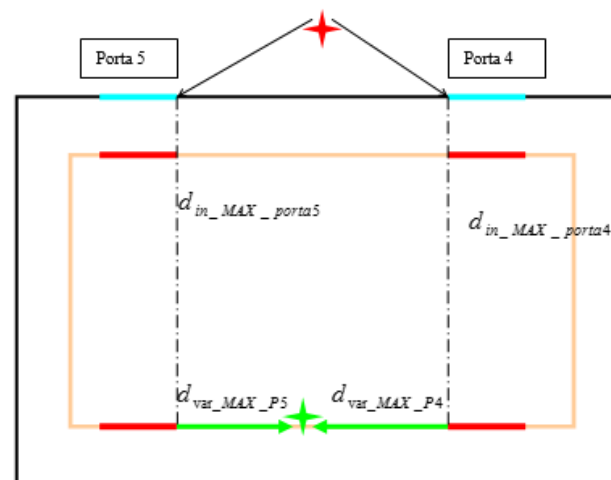


Figura 55: posizione del punto in cui si ha il massimo assoluto di L_{tot} per il modello 2009, si noti che la distanza interna perpendicolare in questo punto è la massima possibile.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Vediamo i risultati di previsione del modello 2009 nel caso si utilizzi, come modello per l'attenuazione esterna, L_{out} per MicroCella in LOS.

L'andamento a 8.45GHz è interessante perché permette di valutare se considerare l'attenuazione esterna come per il caso di MicroCella permetta delle previsioni più accurate da parte del modello 2009 o che seguano meglio l'andamento del modello di confronto.

Dal grafico di figura 57 si evince che l'utilizzo di L_{out} per il caso di MicroCella LOS non comporta vantaggi dal punto di vista della corrispondenza dei valori previsti dal modello 2009, rispetto al modello di confronto.

Al contrario, nel tratto iniziale del measurement course si ha un'ulteriore sovrastima dell'attenuazione totale, mentre, nel tratto finale, essa non è compensata da un andamento che si avvicini in maniera considerevolmente maggiore a quello del modello di confronto.

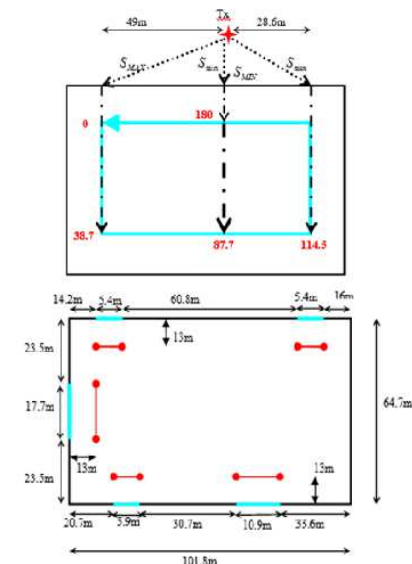
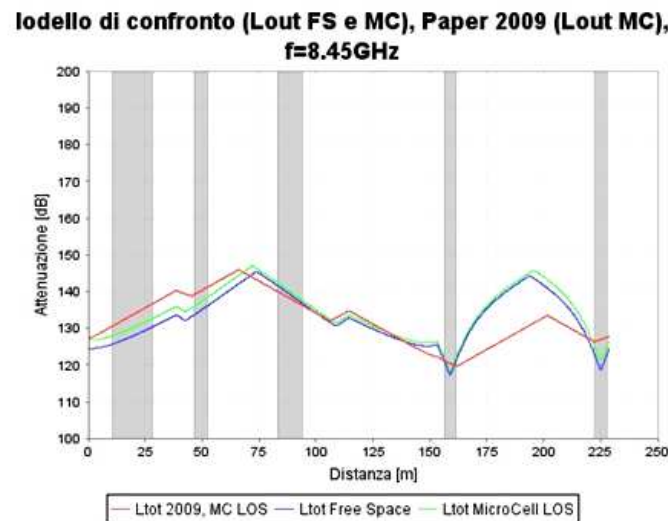


Figura 57: modello 2009 con L_{out} per MicroCella LOS, alla frequenza di 8.45GHz .

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

In figura 58 e 59 vengono graficati gli andamenti del modello 2009, considerando L_{out} calcolata mediante il primo ed il secondo modello di Kitao ed Ichitsubo.

Per il modello di confronto invece si utilizzano ancora L_{out} per il free space e per il caso MicroCella LOS, in quanto, come già detto nella descrizione del modello di confronto, i modelli di Kitao e Ichitsubo tendono a spostare la posizione dei massimi e dei minimi di L_{out} , in posizioni diverse rispetto ai dati reali.

**Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(1)),
 $f=8.45\text{GHz}$**

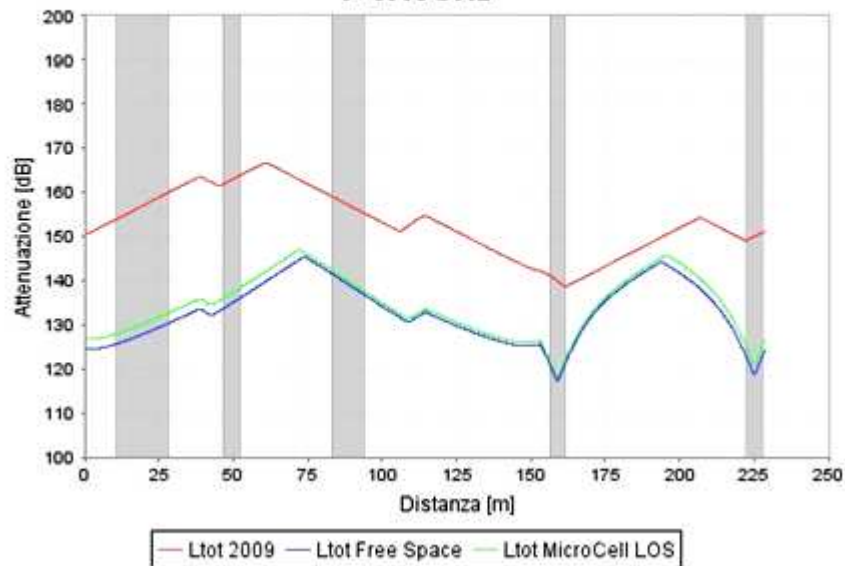


Figura 58: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (1), alla frequenza di 8.45GHZ.

**Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(2)),
 $f=8.45\text{GHz}$**

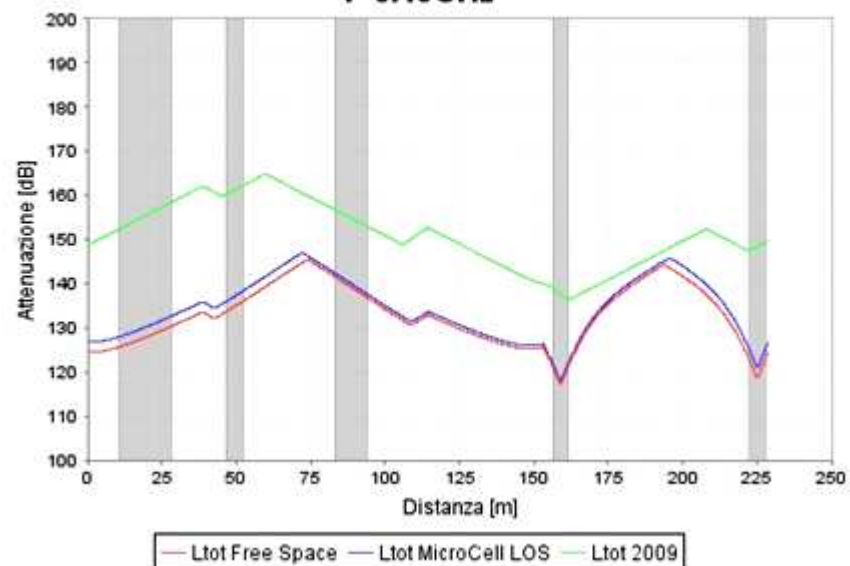


Figura 59: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (2), alla frequenza di 8.45GHZ.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Si noti la differenza sostanziale tra i due grafici precedenti e quelli ottenuti considerando l'attenuazione esterna come in free space o in MicroCella LOS.

Nel caso di utilizzo dei modelli di Kitao e Ichitsubo, la sovrastima dell'attenuazione totale è evidente soprattutto nel primo tratto del percorso di misura.

Inoltre la posizione dei massimi e minimi, per il modello 2009, viene modificata e lo scostamento arriva a oltre 12m.

**Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(1)),
 $f=8.45\text{GHz}$**

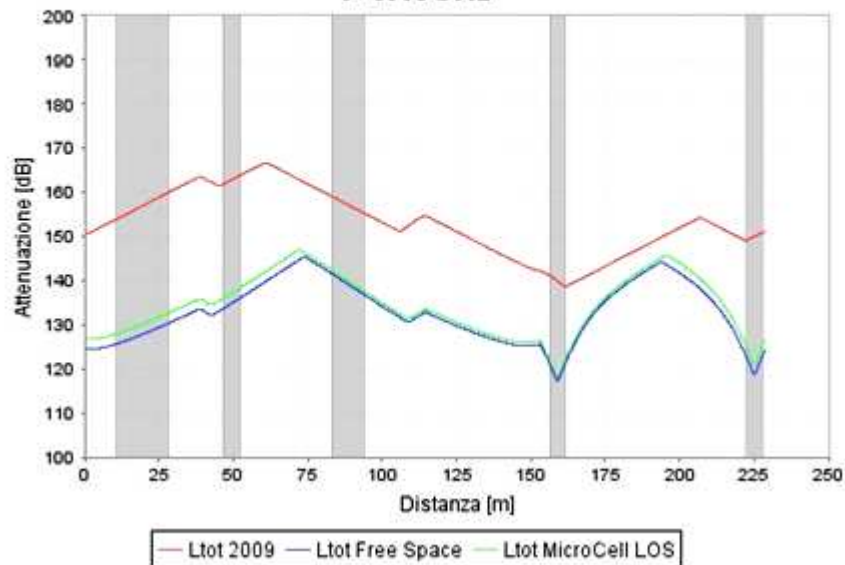


Figura 58: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (1), alla frequenza di 8.45GHZ.

**Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(2)),
 $f=8.45\text{GHz}$**

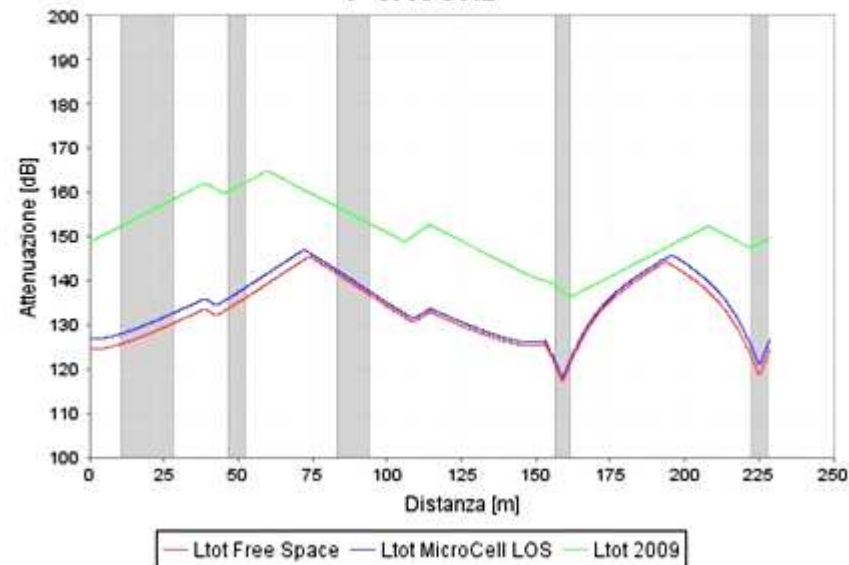


Figura 59: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (2), alla frequenza di 8.45GHZ.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

Si veda, a titolo di esempio, la posizione del massimo assoluto, che, per il modello 2009, si posiziona a circa 61m quando L_{out} è calcolata con i modelli di Kitao e Ichitsubo, mentre per il modello di confronto (e per i dati reali) sta a circa 73m.

Se ne deduce quindi che, sebbene gli autori del modello 2009 suggeriscano di utilizzare, in combinazione al loro modello per la building penetration loss, uno dei due modelli di Kitao e Ichitsubo, nel caso in esame tali modelli di L_{out} non risultano adatti.

In particolare il primo modello di Kitao e Ichitsubo, pur prendendo in considerazione anche l'altezza del ricevitore non è adatto per l'ambiente urbano considerato ed il secondo modello lo è ancora meno, perché il suo range di validità è completamente diverso dalle caratteristiche dell'ambiente considerato.

Queste considerazioni avvalorano ancora di più il fatto che sia comunque necessario scegliere la giusta combinazione tra modelli per L_{out} , L_{in} ed L_{pen} , in relazione all'ambiente esaminato.

Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(1)), $f=8.45\text{GHz}$

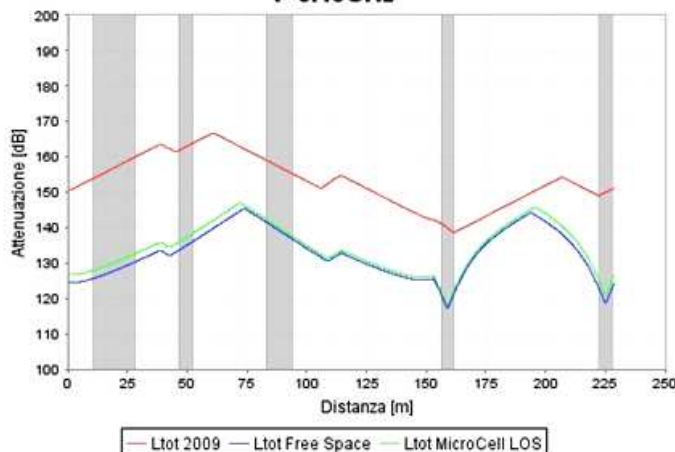


Figura 58: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (1), alla frequenza di 8.45GHZ.

Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(2)), $f=8.45\text{GHz}$

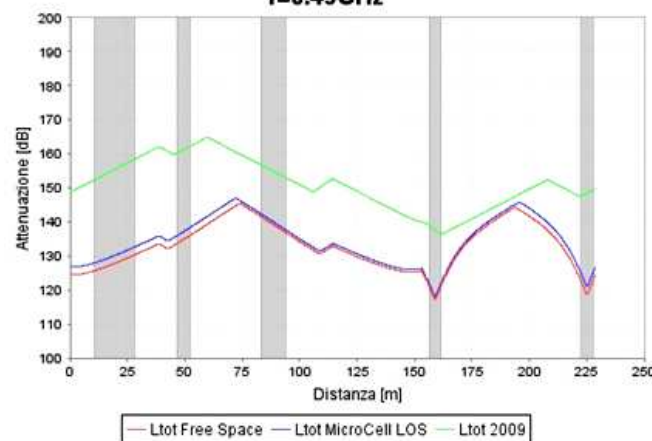
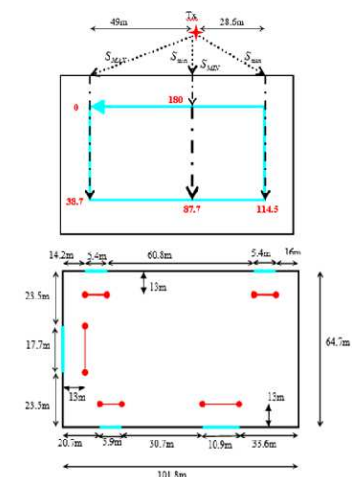


Figura 59: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (2), alla frequenza di 8.45GHZ.



CONFRONTI TRA I MODELLI

Modello 2009 e modello di confronto per $f = 8.45\text{GHz}$

D'altra parte è possibile che si possa risolvere il problema della sottostima di L_{out} , nei punti del measurement course dove essa si verifica, modificando il modello usato per L_{in} , piuttosto che quello usato per l'attenuazione esterna.

Nel caso in esame, è di gran lunga preferibile l'utilizzo del modello per il free space nel calcolo dell'attenuazione esterna, integrandolo successivamente con la building penetration loss per il calcolo dell'attenuazione totale outdoor-indoor.

Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(1)), $f=8.45\text{GHz}$

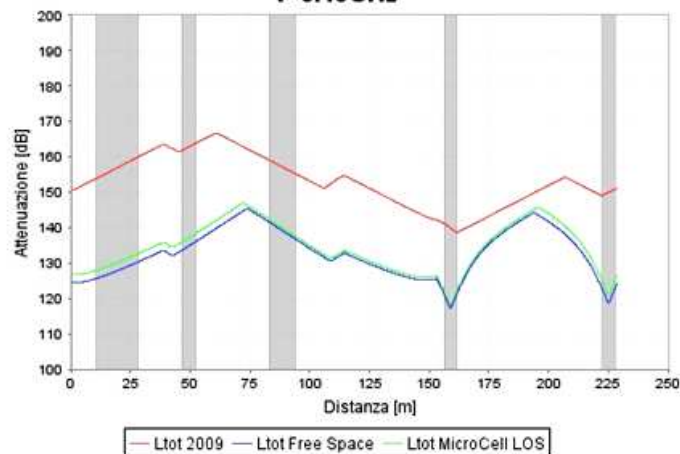


Figura 58: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (1), alla frequenza di 8.45GHZ.

Modello di confronto (Lout FS e MC), Paper 2009 (Lout K&I(2)), $f=8.45\text{GHz}$

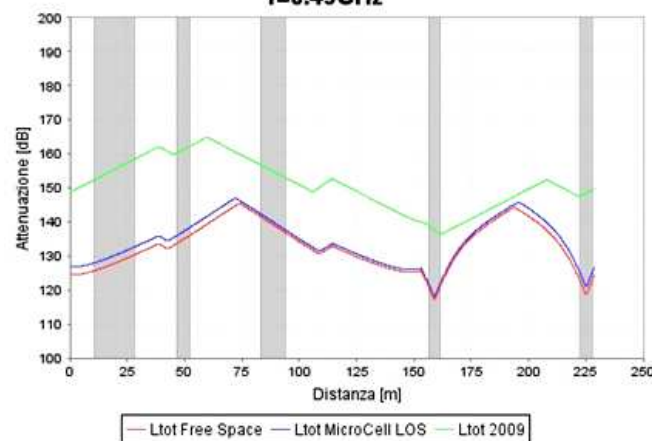
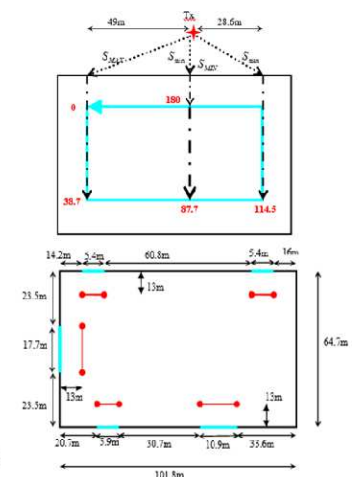


Figura 59: modello 2009 con Lout da Kitao e Ichitsubo (2), alla frequenza di 8.45GHZ.



CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Una volta terminati i confronti tra tutti i modelli considerati ed il modello di confronto, si è pervenuti alla conclusione che i modelli che maggiormente si avvicinano all'andamento dei dati reali sono sicuramente il modello di confronto ed il modello del 2009, i quali prevedono l'ingresso del segnale dalle aperture presenti sulle pareti in visibilità del ricevitore.

Come si può vedere dalla figura 60, infatti, le misurazioni dimostrano come l'attenuazione complessiva outdoor-indoor sia fortemente dipendente dalla posizione del punto di misura rispetto alle aperture.

Essa è molto elevata nei punti del measurement course compresi tra due aperture, e molto inferiore davanti alle porte, segno che le porte stesse rappresentano un punto di ingresso preferenziale per il segnale.

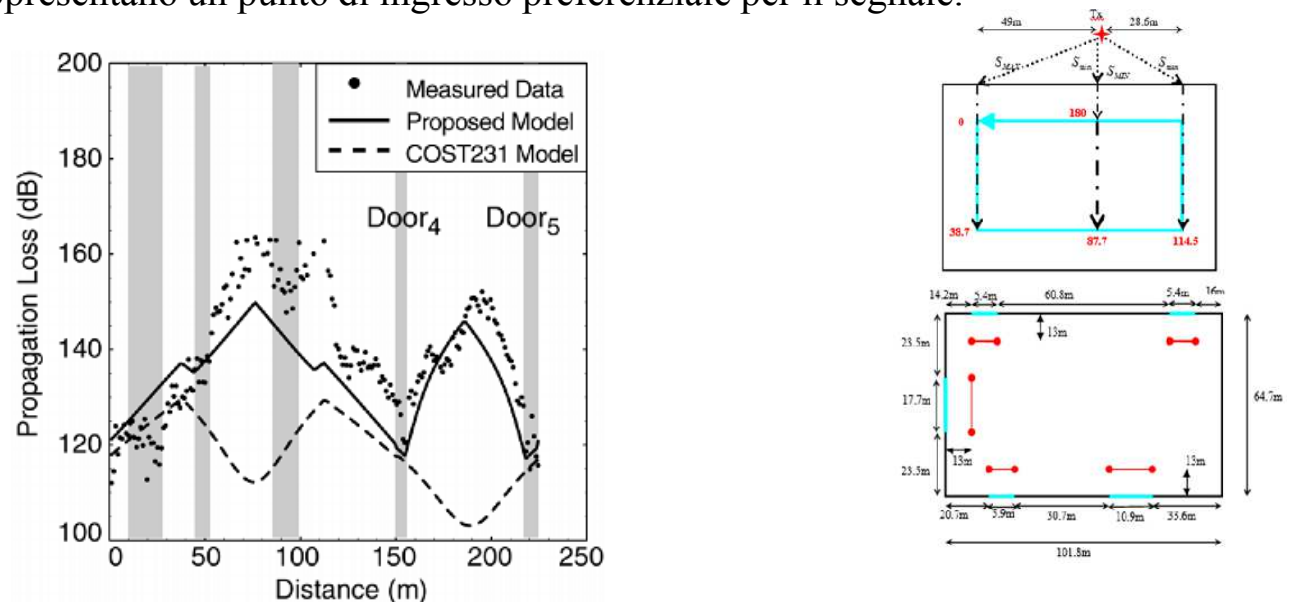


Figura 60: immagine dal paper sul modello di confronto relativa ai valori di attenuazione misurati e calcolati per il percorso di misura in esame.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Il modello di confronto ed il modello 2009 hanno lo stesso andamento oscillante dei valori misurati e pertanto si prestano a rappresentare in maniera più appropriata l'andamento reale dell'attenuazione, per gli ambienti aventi tipologia simile a quello considerato.

I modelli come il COST 231, invece, sottostimano in modo più marcato l'attenuazione totale, e non rappresentano adeguatamente i punti di massimo e minimo della curva.

Ciò è dovuto principalmente al fatto che prevedono l'ingresso del segnale da qualunque punto sulla parete, a prescindere dal tipo di materiale che lo costituisce, sia esso cemento armato o vetro.

In tal senso si focalizzano più sulla variabile distanza (l'ingresso del segnale avviene nel punto del muro situato più vicino al ricevitore, in modo tale che la propagazione interna sia perpendicolare al muro in direzione del ricevitore), che sul problema della diversa attenuazione subita dal segnale nel propagarsi attraverso materiali diversi.

Il fatto che, inoltre, la propagazione avvenga in direzione perpendicolare, non permette di tenere conto dell'angolo interno di propagazione, che, nel modello di confronto, viene considerato una variabile importante.

A questo proposito però si deve sottolineare il fatto che il modello 2009, adeguatamente modificato per i nostri scopi, pur non considerando esplicitamente l'angolo interno, consente di seguire in maniera corretta le oscillazioni dell'attenuazione complessiva.

Si ricordi infatti che nel modello del 2009 è stata introdotta la variabile d_{var} per tenere conto del ricevitore posizionato in punti non direttamente davanti alle aperture.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Le distanze, nel modello del 1998, sono state anch'esse considerate come nel COST 231, e quindi le oscillazioni dipendono dalla distanza complessiva tra trasmettitore e ricevitore, piuttosto che dall'angolazione reciproca tra i due.

Si ricordi, a proposito di questo modello, che esso tende a sottostimare i valori di L_{tot} e che le variabili utilizzate per lo studio dell'attenuazione outdoor-indoor (distanza, area dell'ambiente in esame, numero di pareti in LOS) potrebbero non essere pienamente descrittive della situazione in esame, in quanto mancano i termini che dovrebbero tenere conto degli angoli di incidenza e ricezione.

Infine, il modello del 2004 definisce in maniera diversa dal COST 231 la distanza totale tra antenna in trasmissione e antenna in ricezione, ma comunque prevede che il segnale si trasmetta attraverso i muri in cemento armato e, pur prendendo in considerazione l'angolo di incidenza, non permette di seguire l'andamento oscillante dell'attenuazione totale e tende, anch'esso, nel complesso, a sottostimare il valore di L_{tot} .

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Un'ultima considerazione, che merita di essere evidenziata, riguarda il fatto che il modello di confronto stesso produca una sottostima dell'attenuazione outdoor-indoor, come si può chiaramente verificare osservando il grafico di figura 60.

Ci si è pertanto chiesti quale sarebbe stato l'andamento dei valori previsti dal modello di confronto, se si fosse utilizzata un'espressione leggermente diversa per L_{in} .

Come è stato precedentemente evidenziato, l'attenuazione interna è stata rappresentata mediante andamento lineare, crescente con la distanza ed il coefficiente di attenuazione lineare interno utilizzato è stato $\alpha_{in}=0.348$ dB/m.

Tale valore è proprio quello misurato durante la campagna di misura che ha portato all'espressione finale di L_{pen} per il modello di confronto.

Vale la pena riassumere brevemente la procedura seguita per l'ottenimento di α_{in} :

- La procedura di misura è stata effettuata due volte per due diverse posizioni del trasmettitore;
- Il ricevitore è stato posizionato direttamente davanti ad un'apertura per eliminare ogni possibile dipendenza angolare di α_{in} ;
- Il ricevitore è stato spostato perpendicolarmente rispetto alla porta, per una distanza complessiva di 38m, le misurazioni venivano prese a passo regolare e le medie calcolate sulla distanza di 1m.

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Il dubbio maggiore è relativo al fatto se sia lecito utilizzare un coefficiente di attenuazione lineare interna privo di qualunque dipendenza angolare, perché, in fondo, l'ambiente interno è molto complesso ed il multipath subito dal segnale all'interno di una stanza influenza fortemente il segnale ricevuto.

È lecito, quindi, domandarsi se non sarebbe più adeguato l'utilizzo di un α_{in} contenga in sé un'eventuale dipendenza dalle possibili angolazioni dei raggi ricevuti.

Inoltre il valore di α_{in} utilizzato nel modello di confronto era stato misurato solo per l'ambiente in esame e non può essere applicato in maniera generale ad altri ambienti; in pratica il modello di confronto, così come è stato definito, lascia intendere che per ogni edificio e per ogni stanza si dovrebbe procedere alla misura diretta di α_{in} .

A questo proposito ci si è rifatti alle considerazioni contenute nel COST 231, in cui vengono citate numerose campagne di misura, il cui scopo era anche quello di poter definire parametri il più generali possibile, da utilizzare nell'espressione dell'attenuazione outdoor-indoor, affinché essa fosse applicabile a scenari molto diversi tra loro.

Si è quindi provveduto ad utilizzare per α_{in} nel modello di confronto il valore suggerito proprio dal COST 231, pari a 0.6dB/m.

Il risultato ottenuto è molto interessante, in quanto, utilizzando $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$ si ottengono per il modello di confronto, risultati pressoché uguali ai valori misurati.

Le uniche discrepanze si hanno ancora una volta nel primo tratto del measurement course, in cui si ottiene una sovrastima di L_{tot} .

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Si veda la figura 61, in cui viene riportato il grafico di figura 60, con, in aggiunta, i valori previsti dal modello di confronto, quando si utilizza $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$ e si calcola l'attenuazione esterna come in free space.

Si nota immediatamente che, da dopo la porta 2, i dati previsti dal modello seguono in maniera estremamente precisa i valori misurati.

Ciò avviene per la gran parte del percorso di misura ed il modello così modificato si rivela più rispondente ai dati reali, rispetto a quello originario.

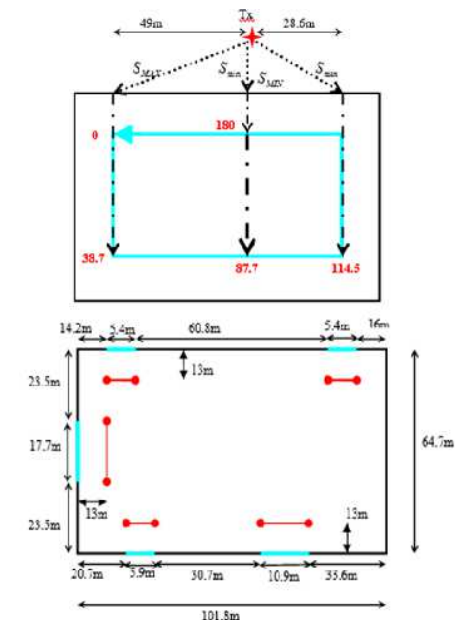
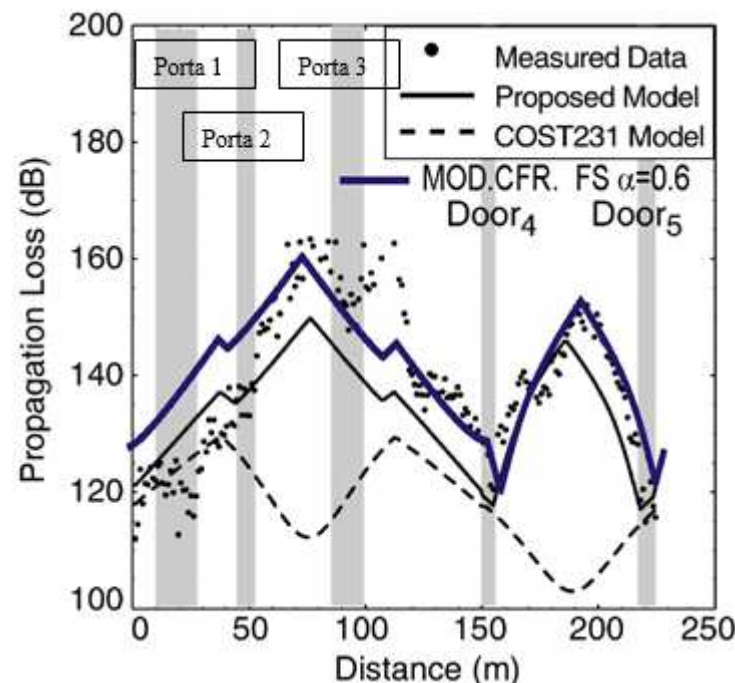


Figura 60: modello di confronto per $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$ e attenuazione esterna in free space, paragone con i dati misurati

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Analogamente si è graficato, per $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$, il modello di confronto anche considerando l'attenuazione nel caso di MicroCella LOS, e se ne riporta l'andamento nella figura seguente.

Anche in questo caso vi è un buon accordo con i dati misurati, ma la corrispondenza è più precisa nel caso dell'attenuazione esterna considerata come in free space.

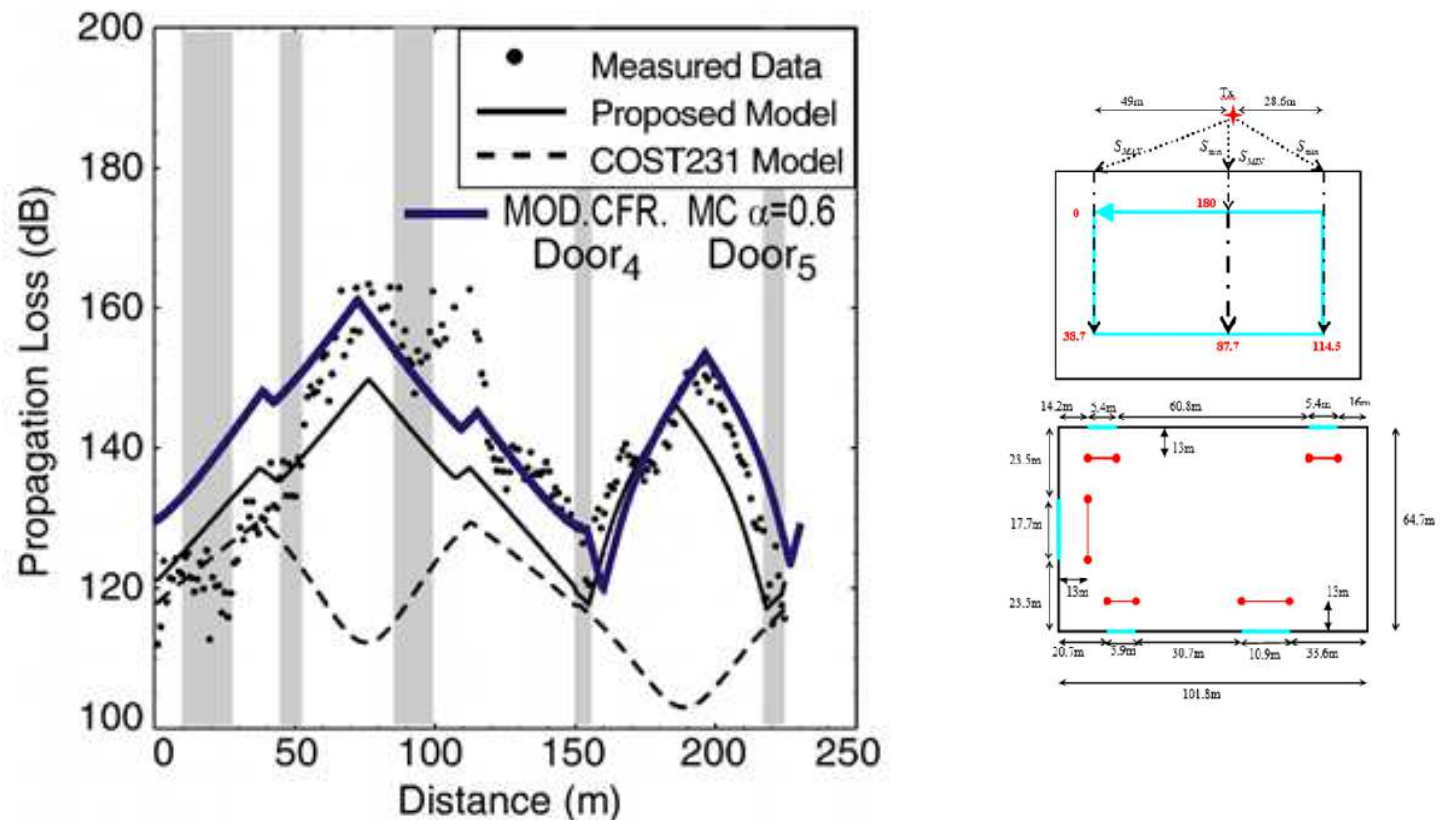


Figura 62: modello di confronto per $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$ e attenuazione esterna in MicroCella LOS, paragone con i dati misurati

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Vale la pena graficare anche l'andamento del modello 2009, con attenuazione esterna calcolata per il caso in free space, per verificare se l'andamento previsto dal modello è anch'esso in linea con i dati misurati (figura 63).

Il modello 2009 segue anch'esso in maniera abbastanza buona i dati sperimentali, seppur non in modo così preciso come il modello di confronto.

In realtà, ciò potrebbe dipendere da come è stata definita d_{var} per il modello in esame.

È possibile che una diversa definizione renda i valori previsti più precisi.

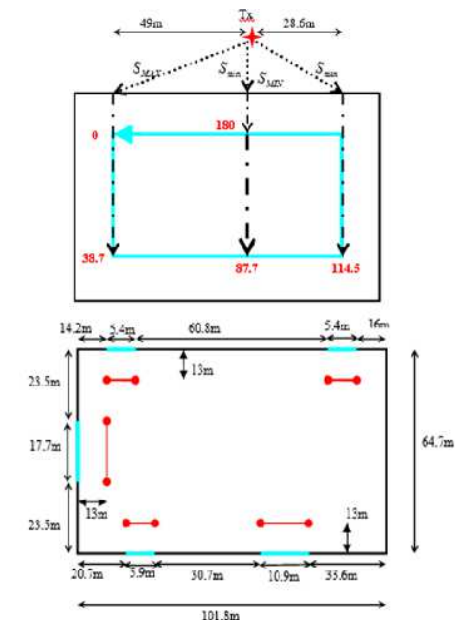
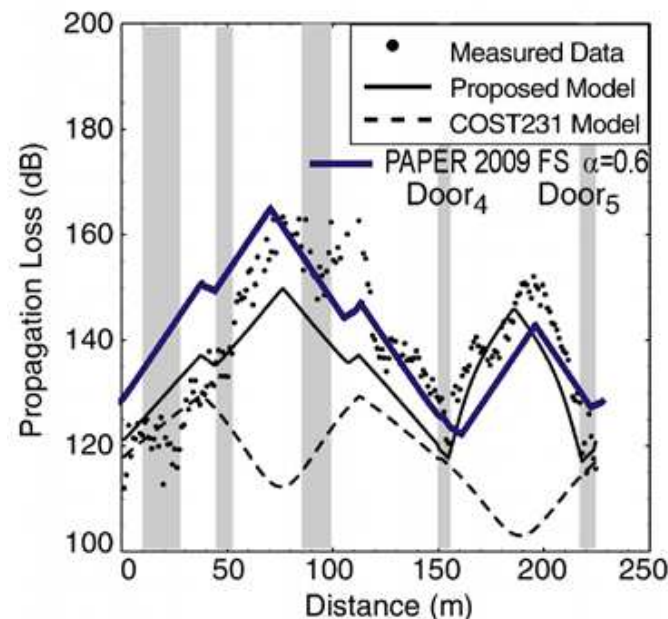


Figura 63: modello 2009 per $\alpha_{in}=0.6$ dB/m e attenuazione esterna in free space, paragone con i dati misurati

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Infine, per completezza, viene riportato l'andamento di L_{tot} , valutato per $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$, nel caso del COST 231, e si potrà notare, ancora una volta, che esso non segue l'andamento reale dell'attenuazione.

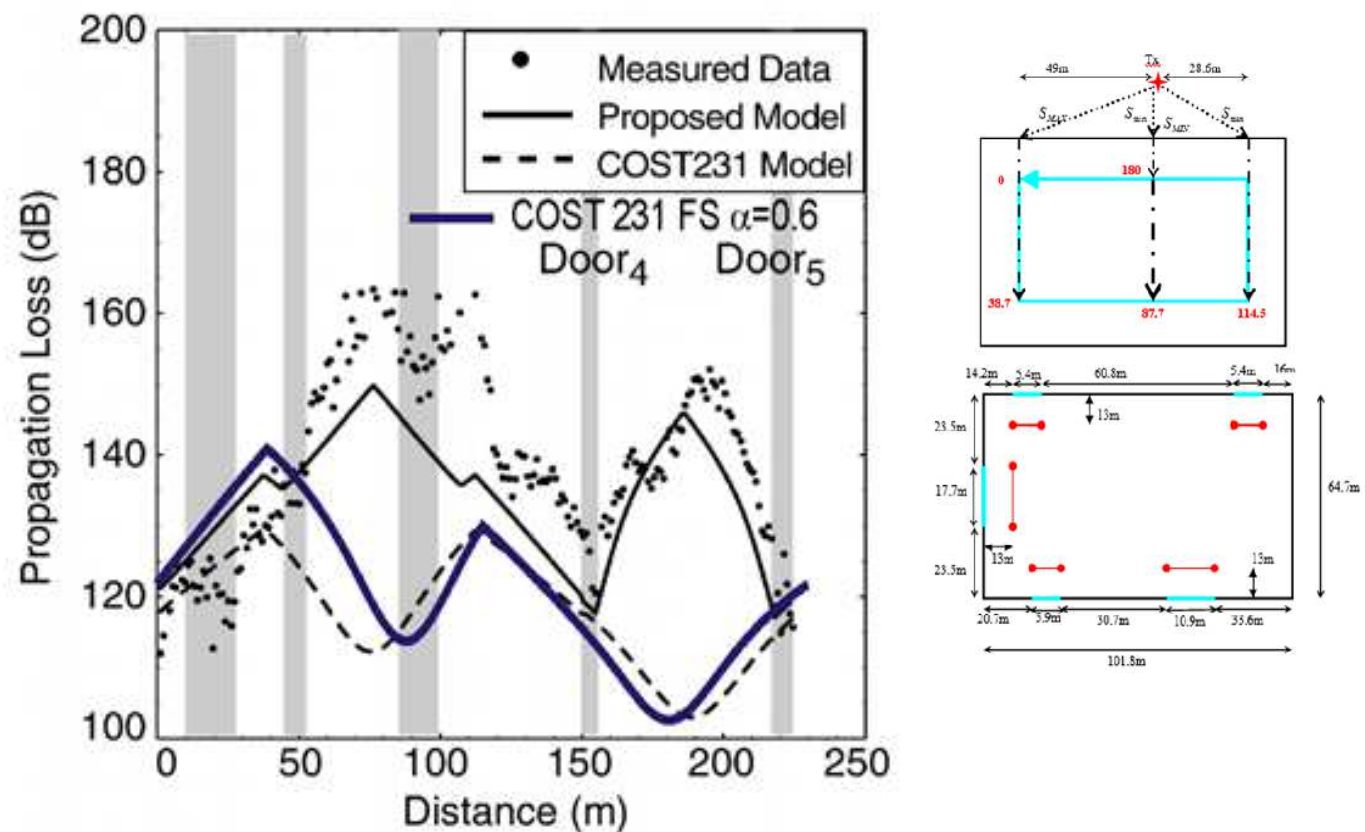


Figura 64: modello COST 231 per $\alpha_{in}=0.6 \text{ dB/m}$ e attenuazione esterna in MicroCella LOS, paragone con i dati misurati

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

A questo punto è possibile trarre le conclusioni finali.

Per prima cosa si è ricavato che i modelli di attenuazione outdoor-indoor, che prevedono l'ingresso del segnale attraverso le aperture presenti sulle pareti, permettono di seguire in maniera più precisa le oscillazioni dell'attenuazione realmente subita dal segnale.

Al contrario, i modelli che non definiscono punti di ingresso preferenziale del segnale, tendono a sottostimare l'attenuazione totale e non consentono di prevedere in maniera efficiente in punti di massimo e di minimo di L_{tot} , e quindi non permettono di ottenere previsioni accurate di quella che sarà l'attenuazione complessivamente subita dal segnale.

In secondo luogo, dal confronto tra i vari modelli, si è ancora una volta avvalorata l'ipotesi che l'angolo di incidenza esterno e quello interno hanno notevole influenza sull'andamento di L_{tot} ; in particolare si intendono gli angoli di incidenza sulle e dalle aperture presenti sulle pareti in visibilità del trasmettitore.

D'altra parte si è evidenziato come i parametri calcolati nell'ambito della COST Action 231, per le perdite dovute ai muri e per il coefficiente di attenuazione lineare interno, si rivelano estremamente validi ed efficaci a fini dell'applicazione anche a modelli diversi dal COST 231; se infatti applicati a modelli che considerano la penetrazione attraverso porte e finestre permettono di seguire in modo molto preciso i dati misurati per l'attenuazione outdoor-indoor.

MODELLI DI PROPAGAZIONE OUTDOOR-INDOOR

CONFRONTI TRA I MODELLI

Considerazioni finali e conclusioni

Infine si sottolinea il fatto che sarebbe interessante eseguire una campagna di misura ad hoc per testare il modello di confronto ed il modello 2009 in un ambiente analogo, ma diverso da quello considerato qui.

Se fosse inoltre possibile un'integrazione tra i due modelli, che permetta di eliminare i termini esplicitamente angolari del modello di confronto, si potrebbe ottenere un modello estremamente semplice ed efficace per la previsione dell'attenuazione outdoor-indoor, che lo renderebbe di facile utilizzo nel cell-planning, in ambiente urbano, dove tempi e costi per la progettazione sono variabili chiave non sottovalutabili.