

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

CAMPUS DI CESENA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA ELETTRONICA E
DELLE TELECOMUNICAZIONI**

TITOLO DELLA TESI

VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI UN MODELLO RAY TRACING IN AMBIENTI INDOOR.

Tesi in

Propagazione e Pianificazione nei Sistemi d'Area

Relatore

Prof. Ing. Vittorio Degli Esposti

Presentata da

Ing. Ferrino Fantini

Sessione Seconda

Anno Accademico 2012/2013

Parole chiave:

_ IL DIGITALE IN CAMPO RADIO

_ CARATTERIZZAZIONE DEL CANALE RADIO

_ SPERIMENTAZIONI ON SITE INDOOR

_ SIMULAZIONI NUMERICHE INDOOR

_ RAY TRACING & SCALE MODEL

Indice

Pagina:

Introduzione.....pag 6

- PRIMO CAPITOLO -

Il ray tracing e i modelli di previsione deterministica

1.1 introduzione ai modelli di previsione deterministici.....pag 9
1.2 Introduzione al ray tracing ed alle relative problematiche.....pag 12
1.3 Sviluppo dell'approccio Ray Tracing.....pag 15

- SECONDO CAPITOLO -

Validazione in ambiente indoor in banda UHF

2.1 L'ambiente di propagazione Programm Making & Special Event (PMSE) e le misure dell'Università di Bochum.....pag 21
2.2 La descrizione dell'ambiente per la previsione Ray Tracing.....pag 30
2.3 Risultati di confronto Ray Tracing vs. misure: l'effetto della riflettività (conducibilità) delle varie pareti, la ricerca dei parametri ottimi di simulazione, risultati finali.....pag 39

- TERZO CAPITOLO -

Calibrazione e Validazione su un modello in scala

3.1 Le misure di scattering da parete di un modello in scala a 60 GHz.....pag 60
3.2 Confronto Ray Tracing vs. misure.....pag 68
Appendici.....pag77
Bibliografia.....pag 92

INTRODUZIONE

In questo trattato si è cercato di evidenziare l'importanza della simulazione deterministica della propagazione radio ai fini del progetto e dell'installazione di un sistema di trasmissione.

Il canale radio è in continuo mutamento e si è sempre alla ricerca di nuove tecniche per raggiungere il miglior compromesso fra numero maggiore di servizi resi all'utente rispetto al minor utilizzo di quantità di banda disponibile. Per far sì che ciò avvenga è bene studiare e valutare caso per caso l'ambiente in cui ci troviamo ad effettuare le nostre comunicazioni.

L'elaborato si suddivide in due tipologie di simulazione. La prima concorre a simulare gli effetti di ritardo di propagazione del segnale all'interno della grande sala fiere situata a Berlino. In questo caso grazie a gli articoli pubblicati dai ricercatori dell'università di Bochum e ad un continuo scambio di e-mail siamo riusciti a prelevare tutte le informazioni necessarie per impostare il simulatore "3D scat" sviluppato in ambiente matlab e a riprodurre i risultati da noi ricercati mettendoli a confronto con quelli sperimentali. Nel secondo caso sempre con il solito strumento simulativo l'oggetto del nostro studio era incentrato sull'effetto dello scattering su pareti di edifici urbani, con la particolarità che l'edificio urbano era costituito da un modello in scala 1:30 fatto in legno di acero. tale legno sottoposto a onde TE (trasversali elettriche) a 60GHz presenta la stessa riflettività del calcestruzzo a 2 GHz.

I risultati finali sono in entrambi i casi molto soddisfacenti. Ci si accorge comunque che sia la simulazione virtuale numerica che le sperimentazioni su campo sono uno di supporto all'altra. Entrambe richiedono un buon impiego di risorse e di tempo ma nel loro insieme si riesce ad ottenere un modello di caratterizzazione dell'ambiente trasmissivo molto preciso ed accurato.

-PRIMO CAPITOLO-

IL RAY TRACING E I MODELLI DI PREVISIONE DETERMINISTICA

1.1) Introduzione ai modelli di previsione deterministici.

1.2) Introduzione al ray tracing ed alle relative problematiche di accuratezza ecc.

1.3) Sviluppo dell'approccio Ray tracing.

1.1 Introduzione ai modelli di previsione deterministici.

Sullo studio generale dei fenomeni scientifici per raggiungere lo scopo di darne un'interpretazione significativa e per crearne un modello utile ad ottenere risultati previsionali, possiamo adottare varie tipologie d'approccio d'osservazione e caratterizzazione.

Tali modelli previsionali possono assumere un carattere di tipo: euristico, empirico, statistico o deterministico. La scelta del modello si basa su molte variabili che comprendono in linea di massima il grado di accuratezza dei risultati da ottenere, il tipo e dimensione di ambiente in cui ci troviamo e dal tipo di studio che stiamo svolgendo. Nel campo delle telecomunicazioni per trasmissioni basate su canale radio i più adatti e utilizzati sono i modelli deterministici e statistici, che sono diametralmente uno l'opposto dell'altro. I modelli previsionali statistici sono solitamente più rapidi da impostare e meno complessi da creare, a discapito però della precisione ed accuratezza sulle previsioni ottenute. I modelli previsionali deterministici per contro sono molto più laboriosi e richiedono un elevato numero di informazioni pregresse garantendo però una maggiore accuratezza e precisione sui risultati previsionali ottenuti. Tali modelli vengono sfruttati grazie alla loro versatilità sia in ambienti indoor che outdoor.

Per le telecomunicazioni, ma non solo, è fondamentale avere una previsione sulle grandezze fisiche fondamentali, legate al segnale trasmesso e ricevuto, quali: potenza, attenuazione, ritardo ecc. ecc.. Nell'analisi previsionale in generale uno degli spetti più discriminanti è proprio l'ambiente in cui ci troviamo. In tal caso possiamo effettuare due macro suddivisioni di tipo d'ambiente: "ambiente rurale" e "ambiente urbano".

L'ambiente rurale sarà prevalentemente predominato dai seguenti aspetti: trasmissione dell'onda di propagazione in spazio libero, riflettività al suolo e diffrazioni da *Knife-edge* (ovvero diffrazioni causate dalla presenza di ostacoli aventi spigolature).

L'ambiente urbano come si può ben immaginare dal punto di vista della trasmissione si presenta molto più ostile e complesso a causa dell'elevato numero di ostacoli (edifici, arredi urbani, mezzi in movimento ecc. ecc.) che possono intercedere fra gli apparati trasmettenti e quelli riceventi. Tale ambiente è solitamente esaminato sotto gli aspetti di propagazione di tipo: Over-Roof-Top Propagation ORT (trasmissioni sopra gli edifici), Lateral

Propagation (trasmissioni ai lati degli edifici), Indoor Propagation (trasmissioni all'interno degli edifici).

Nella prima parte di questo elaborato ci concentriamo proprio sull'analisi degli ambienti Indoor ove la propagazione dipende fortemente dalla struttura dell'edificio e sorprendentemente dal contesto urbano ove l'edificio è inserito. Volendo adottare a questo punto un approccio di tipo deterministico diventa rigorosamente necessario prendere in considerazione tutti gli aspetti di interazione (chiamati anche eventi) fra l'onda trasmittiva e l'ambiente in cui ci troviamo, quali: riflessione, rifrazione, diffrazione, trasmissione e scattering. Per porre un semplice esempio, nella figura sottostante raffiguriamo una trasmissione indoor:

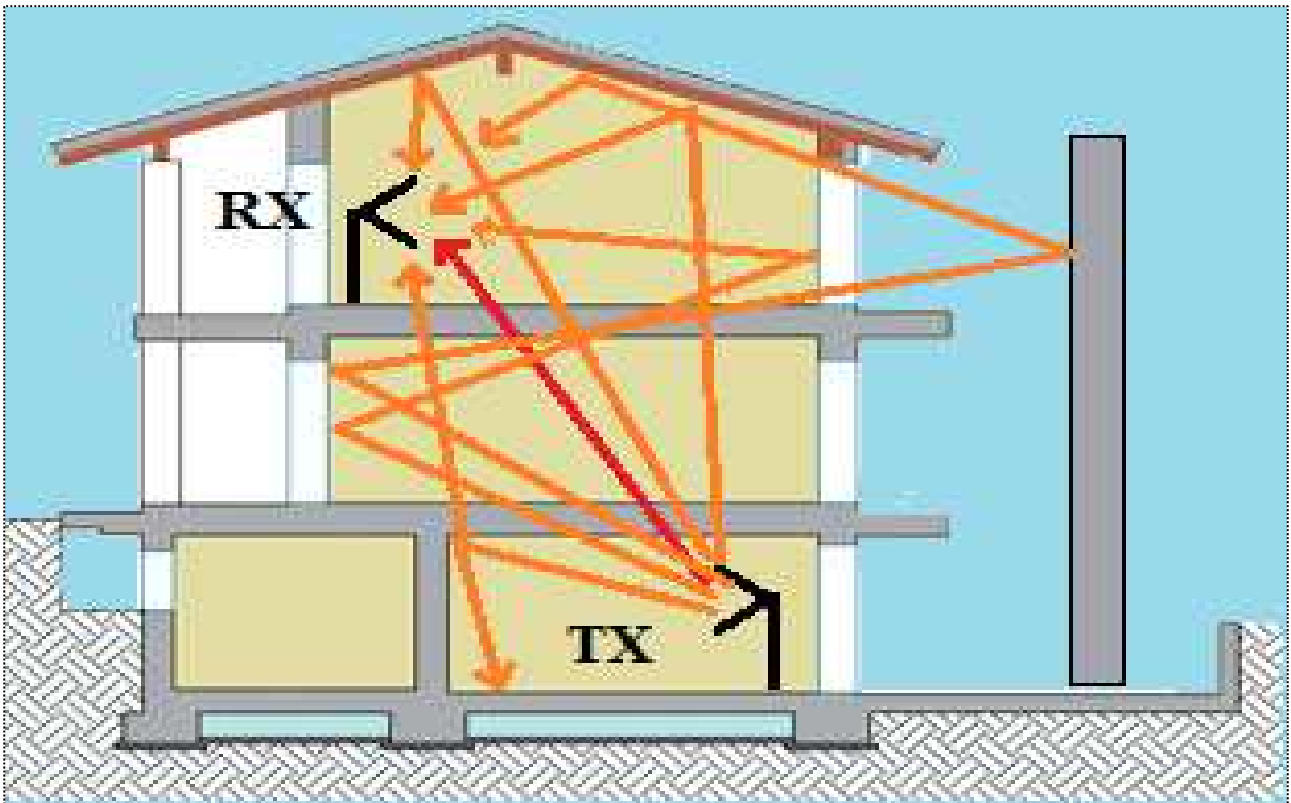


Figura 1 Trasmissione Indoor

Innanzitutto con una veloce introduzione affrontiamo il fenomeno del “multipath” (multi cammino [1]) del segnale che è uno degli aspetti determinanti negli ambienti e trasmissioni di questo tipo. Come si nota in figura ci troviamo all'interno di un edificio in presenza di un solo ricevitore ed un solo trasmettitore (casistica semplificata, in quanto solitamente il numero di apparati interagenti può essere ben maggiore) ed esternamente abbiamo

un ostacolo in elevazione. Tutte le frecce, non in modo esaustivo, costituiscono i cammini multipli che il segnale forma lungo il percorso di trasmissione. Più il percorso fra trasmettitore e ricevitore è complesso ed ostacolato(presenza di muri, arredi, persone) e maggiore sarà il numero di cammini che si andranno a creare. Se i due apparati fossero stati all'interno della stessa stanza e in linea di vista è importante sapere che comunque si sarebbero formati i cammini multipli e fra tutti se ne sarebbe formato uno principale detto cammino diretto, che in figura è stato indicato col colore rosso, mentre i cammini secondari con colore arancione. Uno fra i problemi principali che affliggono questo tipo di trasmissioni è il fading (attenuazione) di tipo "selettivo" ed è legato particolarmente ai cammini multipli per le frequenze di lavoro che oscillano dai 30MHz ai 30GHz. Ovviamente non sono da sottovalutare anche gli aspetti di ritardo e sfasamento di propagazione del segnale.

1.2 Introduzione al Ray Tracing ed alle relative problematiche

Fra i modelli deterministici più utilizzati senza alcun dubbio troviamo il Ray Tracing ed il Ray Lanching. Il primo sfrutta un approccio a “raggi” (di cui entreremo nei dettagli), mentre il secondo adotta un approccio a fasci detti “beam” (che non svilupperemo in questo trattato). Tali modelli sono simulazioni numeriche della propagazione multi cammino, in accordo con la “Teoria Geometrica della Propagazione (GPT)”. Il loro sviluppo e approccio sull’ambiente può avvenire sia in formato bidimensionale (2D) che tridimensionale (3D). Mentre il modello a raggi ha dimensione trasversale nulla i modelli a fasci subiscono un processo di discretizzazione, ovvero si deve entrare in una ottica approssimativa valutando dei fasci di raggi che vengono chiamati per l’appunto “*beam*”. I fasci di raggi o tubi di flusso hanno dimensione trasversale finita avendo subito una discretizzazione spaziale ed in tal caso automaticamente ci si limita nella risoluzione spaziale [1].

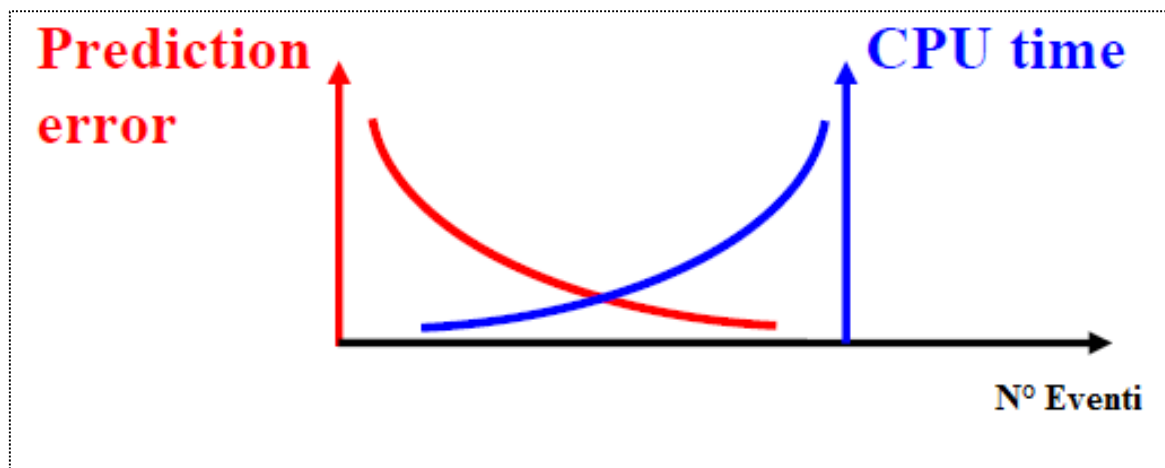
Entrambi i modelli hanno come obiettivo quello di calcolare i raggi (onde elettromagnetiche) che si formano durante la trasmissione all’interno dell’ambiente preso in considerazione. Andando a precisare il numero massimo di interazioni (riflessione, rifrazione, trasmissione, scattering) con l’ambiente ove si sviluppa la simulazione essi possono fornire il campo al ricevitore e valutare gli aspetti di slow/fast fading, sfasamento, scattering, ritardo, e molti altri.

Come anticipato i principali pregi di questi modelli sono accuratezza e precisione sui risultati ottenuti, a discapito di un elevato numero di informazioni pregresse (grandi database) da fornire in input all’elaboratore con la conseguenza di un aumento esponenziale del tempo computazionale e dei costi. I database non comprendono solo informazioni di tipo morfologico e geometrico ma è anche di grande importanza fornire parametri elettromagnetici dei materiali che compongono l’ambiente simulativo (edifici, muri, suolo ed oggetti in genere). Le principali fonti a disposizione per prelevare dati utili a creare il database sotto l’aspetto geometrico possono essere: aerofotogrammetrie, mappe catastali progetti esecutivi o cartine di intere città, ma ognuna di queste fonti spesso o è troppo difficile da consultare e troppo ricca di dettagli(caso delle mappe catastali e progetti esecutivi) o al caso contrario è troppo approssimativa e inaccurata dovendo nella maggior parte dei casi intervenire direttamente con rilievi su sito

portando tutto ciò ad una ulteriore perdita di tempo e aumento dei costi. Comunque bene o male per l'aspetto geometrico una fonte di informazione è sempre messa a disposizione mentre per gli aspetti elettromagnetici non si possiede pressoché quasi nulla e a fronte di materiali composti diventa anche difficile "caratterizzarli".

Al volume delle informazioni inserite nel database di input e al numero di eventi (interazioni) che andremmo ad impostare per la nostra previsione è legato il tempo computazionale. Queste tre variabili interagiscono fra loro in modo direttamente proporzionale, ovvero più aumentiamo il numero di eventi (solitamente 4 per gli ambienti indoor), più arricchiamo il database di input e più aumenterà il tempo computazionale per il calcolo dei risultati previsionali. In tal caso tempi computazionali alti comportano a risultati molto affidabili e vicini ai valori sperimentali reali.

Il grafo mostra gli andamenti esponenziali fra "errore di previsione" e "tempo di elaborazione (CPU time)", e come ci si aspetta sono inversamente esponenziali.

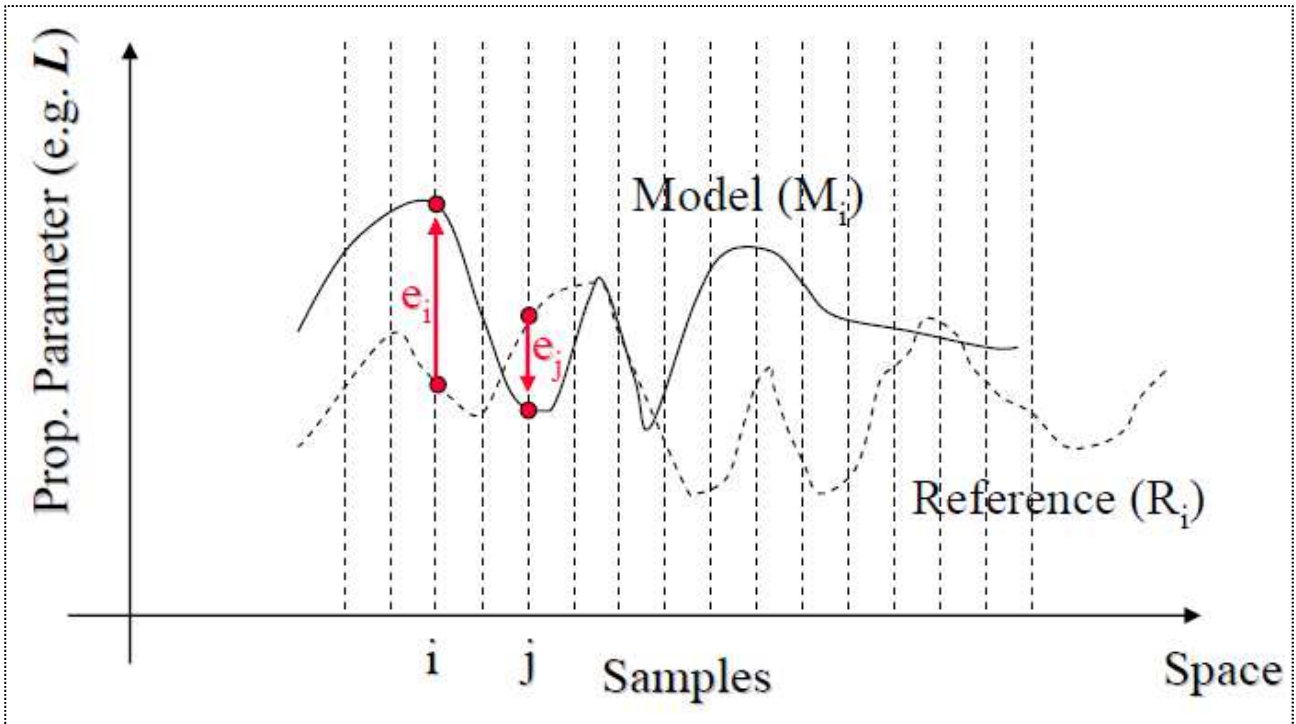


La previsione dei risultati per tutte le problematiche e aspetti elencati precedentemente non può avere ovviamente certezza assoluta.

I modelli come il ray tracing sono sì precisi ma i risultati forniti discostano inevitabilmente dai dati reali. Tale scostamento è calcolabile adottando un approccio statistico, nello specifico calcolando parametri come "errore medio" e "deviazione standard dell'errore". Definiamo prima di tutto l'errore come

- $e_i = M_i - R_i$

ove “M i-esimo” è il modello previsionale ottenuto del parametro di interesse e “Reference i-esimo” è il modello reale effettivo. Nel grafico è riportato lo scostamento suddetto coi relativi andamenti:



Definiamo anche:

- Errore medio:
$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i$$

- Deviazione standard dell'errore:
$$(e) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i - \bar{e})^2}$$

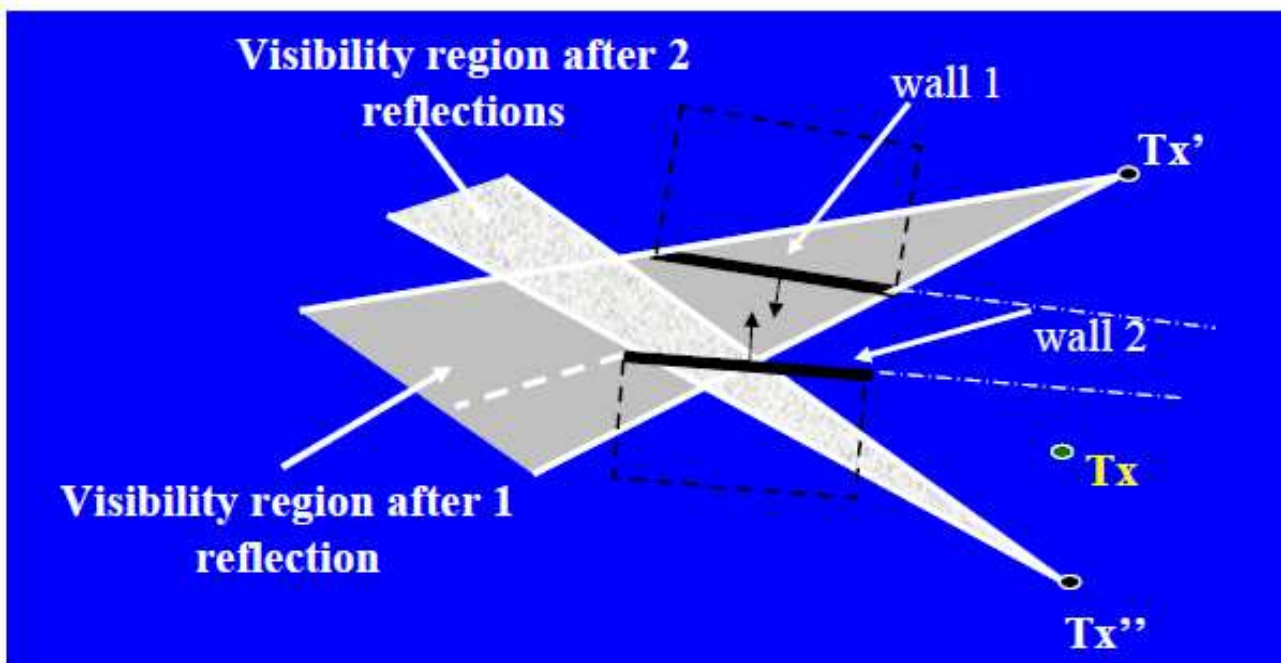
Il parametro “N” nelle formule precedenti è il numero di eventi da noi impostato.

Solitamente modelli che presentano valori di *CPU time* elevati vengono definiti *modelli impraticabili*. Modelli con valori di “*errore medio*” alti significa che c’è una deviazione sul carattere del modello ottenuto; ed infine per elevate “*deviazioni standard dell’errore*” portano ad avere modelli a scarsa accuratezza.

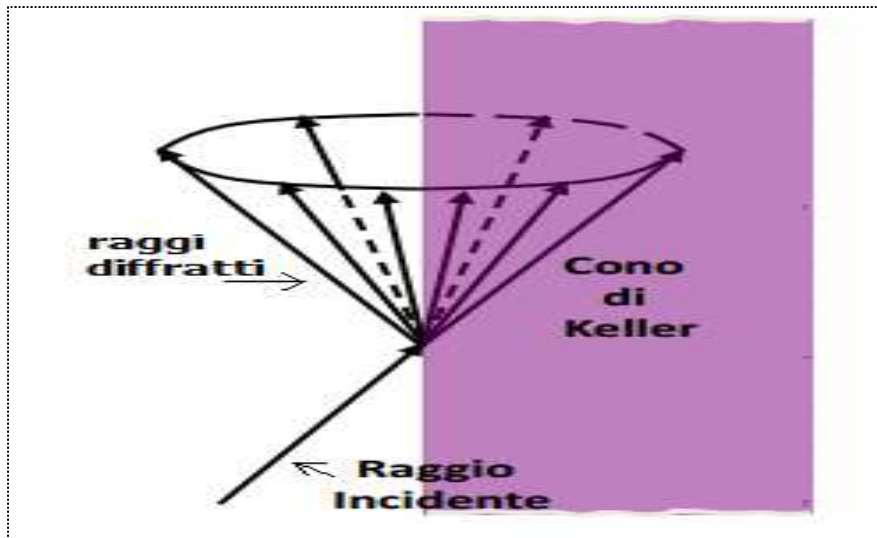
1.3 Sviluppo dell'approccio Ray Tracing

Vedremo in seguito il metodo e le procedure di calcolo adottate dall'algoritmo per determinare gli eventi di riflessione rifrazione diffrazione e scattering.

Innanzitutto si affrontano gli aspetti di riflessione e rifrazione del segnale. A causa di questi due effetti dobbiamo procedere con l'individuare le "regioni di visibilità" di uno dei terminali radio, ad esempio il trasmettitore, a mezzo di un processo iterativo e sfruttando la teoria delle immagini. Ad ogni nuova iterazione si genera virtualmente una nuova posizione del trasmettitore e di conseguenza una nuova regione di visibilità vera e propria. Nello schema a seguito è esposto graficamente il concetto.

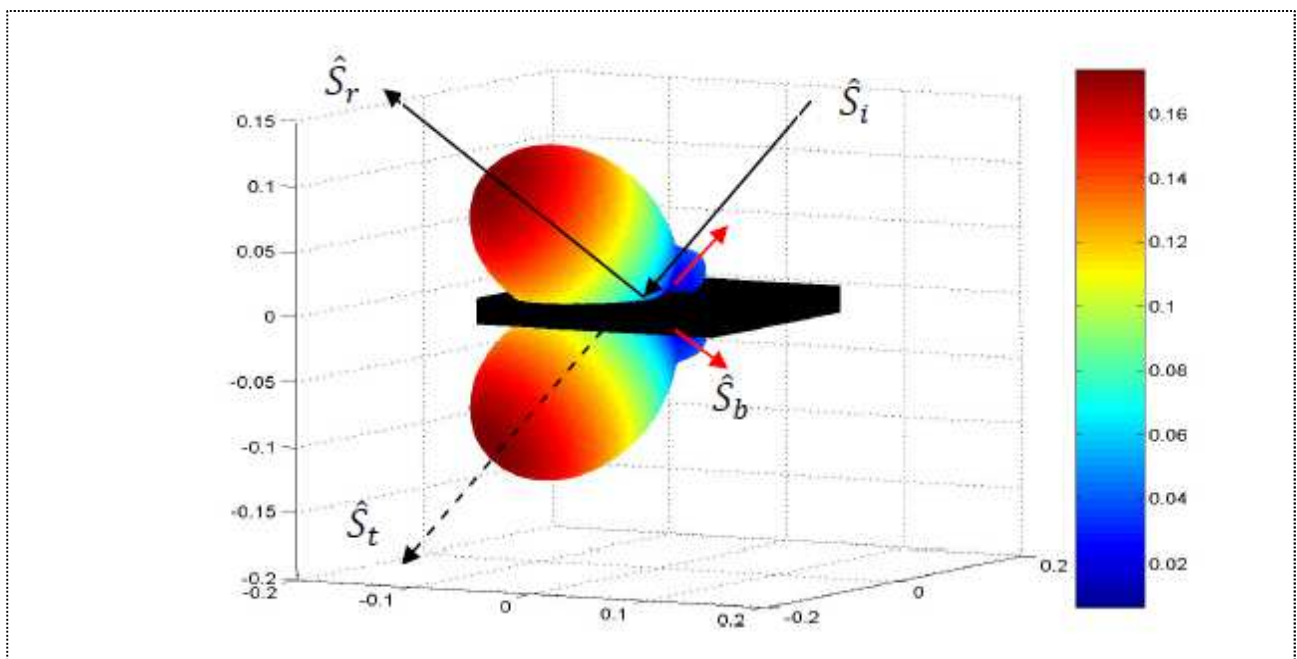


Proseguendo si trattano le diffrazioni, qui il concetto e il calcolo di regione di visibilità è leggermente più complesso portando ad un maggior onere computazionale. Ponendoci a livello 2D la regione di visibilità ove risiedono i raggi diffranti è l'intero spazio attorno al vertice dell'ostacolo incontrato. A livello 3D invece dobbiamo ricorrere per tale calcolo al "cono di Keller", sfruttando l'area perimetrale di un cono tridimensionale che si forma nell'intorno dello spigolo dell'ostacolo. I raggi una volta subita l'incidenza sullo spigolo si diramano obbligatoriamente con varie angolazioni sull'area del cono. A seguire un esempio grafico.



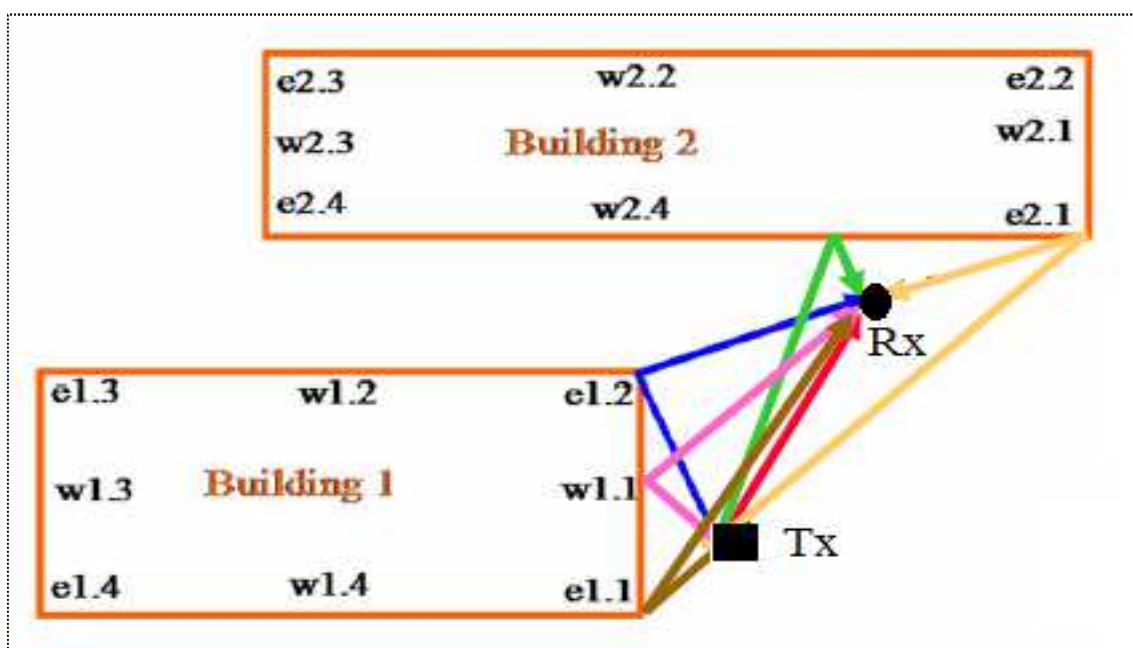
Terzo aspetto fondamentale è la “diffusione” o “scattering”. I raggi che urtano le superfici dell’ambiente circostante diffondono (“scatteranno”) parte della propria potenza incidente verso altre direzioni. Si va a formare nel punto d’urto come una sorgente secondaria di propagazione di nuovi raggi. La nuova sorgente assumerà direzione e verso secondo varie modellizzazioni come ad esempio il modello *Lambertiano*, quello *Direttivo* o quello di *Backscattering*. Per intraprenderne meglio il concetto riportiamo un esempio di diffusione secondo il modello di *Backscattering*.

In figura, “ \hat{S}_i ” sta ad indicare il vettore potenza del raggio incidente, “ \hat{S}_r ” il vettore potenza del raggio riflesso dalla superficie, “ \hat{S}_b ” il vettore potenza di backscattering e “ \hat{S}_t ” il vettore potenza del raggio trasmesso.

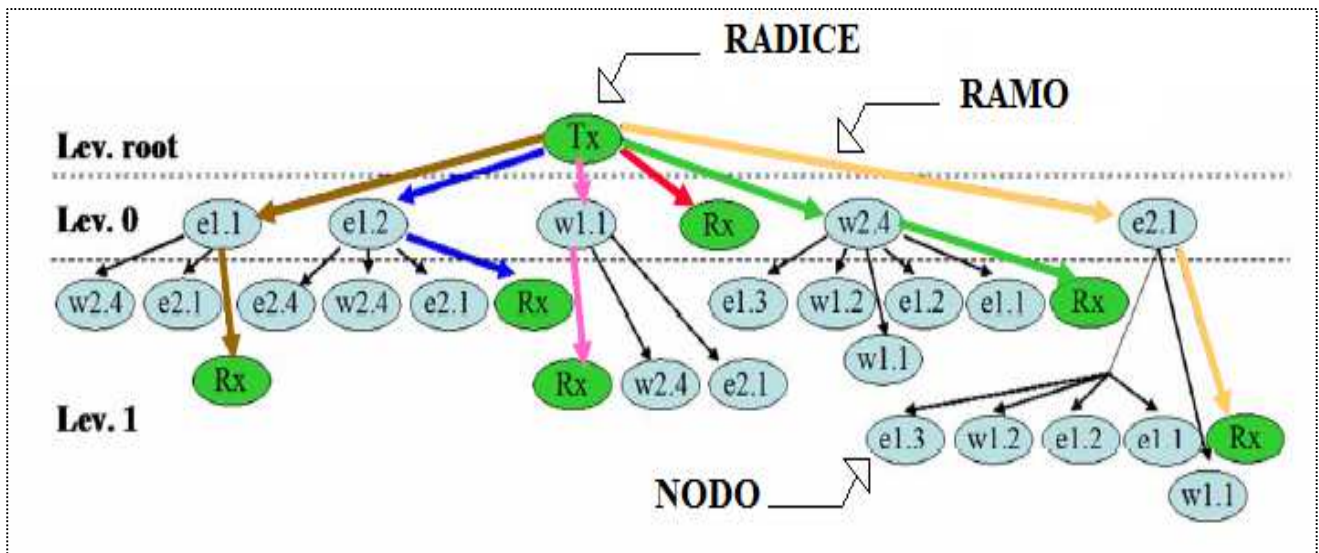


Come è facile pensare all'interno di un ambiente molto complesso è difficile orientarsi e contabilizzare tutti gli effetti diretti e indiretti degli eventi trasmissivi. In aiuto interviene il metodo del "view tree" affiancato dal metodo di "backtracking". Il view tree consiste in una classificazione ad albero degli eventi più rilevanti e tiene traccia in modo ordinato ogni interazione col nostro ambiente. Nel dettaglio il trasmettitore è la radice dell'albero, gli oggetti (muri, arredi ed ostacoli) o parte di loro, sono rappresentati dai nodi e tutte le interazioni sono i nostri rami. La formazione del view tree implica un grosso impiego di tempo e all'aumentare del numero di oggetti nell'ambiente il tempo cresce esponenzialmente. Vediamo come un tipico esempio di multipath, viene classificato col view tree. Prendiamo due edifici abbastanza vicini, ed effettuiamo una trasmissione con due terminali radio nelle vicinanze di essi. Individuiamo per ogni edificio gli elementi che posso interagire con la nostra trasmissione:

- "e_i" edge building (spigolo edificio) .
- "w_i" wall building (parete edificio).



Sebbene ci troviamo in un ambiente così povero di elementi, le interazioni scaturite sono notevoli e l'albero delle visibilità a seguito riportato è abbastanza corposo.



A questo punto avendo riassunto il filone generale della procedura di calcolo si intuisce che i parametri del segnale che andremo a calcolare a ricevitore saranno composti dalla sommatoria di una serie di contributi generati dal totale delle interazioni. Il segnale ha perciò subito inevitabilmente uno spreading sia spaziale che temporale. Le caratteristiche più note ed utili per capire gli andamenti del segnale nel contesto adottato sono quelle di Angle Spread, Delay Spread e Power Received.

Il Ray tracing 3D è sicuramente uno dei metodi più utilizzati ed affidabili per raggiungere ad analisi previsionali accurate ma anche fra i meno semplici e malleabili da utilizzare. Ne esistono versioni meno complesse che adottano approcci differenti come quello "2D+2D" che consiste nel scomporre la propagazione in un ambiente in due piani, uno verticale e uno laterale.

Il principale obiettivo futuro per migliorare i modelli deterministici e quindi anche quello del Ray Tracing è quello di adottare tecniche e procedure per velocizzare i calcoli e decrementare così il CPU time, fra l'altro si cerca di integrare in modo sempre più efficiente gli elementi deterministici e statistici come lo scattering diffuso.

-SECONDO CAPITOLO-

VALIDAZIONE IN AMBIENTE INDOOR IN BANDA UHF

2.1) *L'ambiente di propagazione Programm Making and Special Event (PMSE) e le misure dell'Università di Bochum*

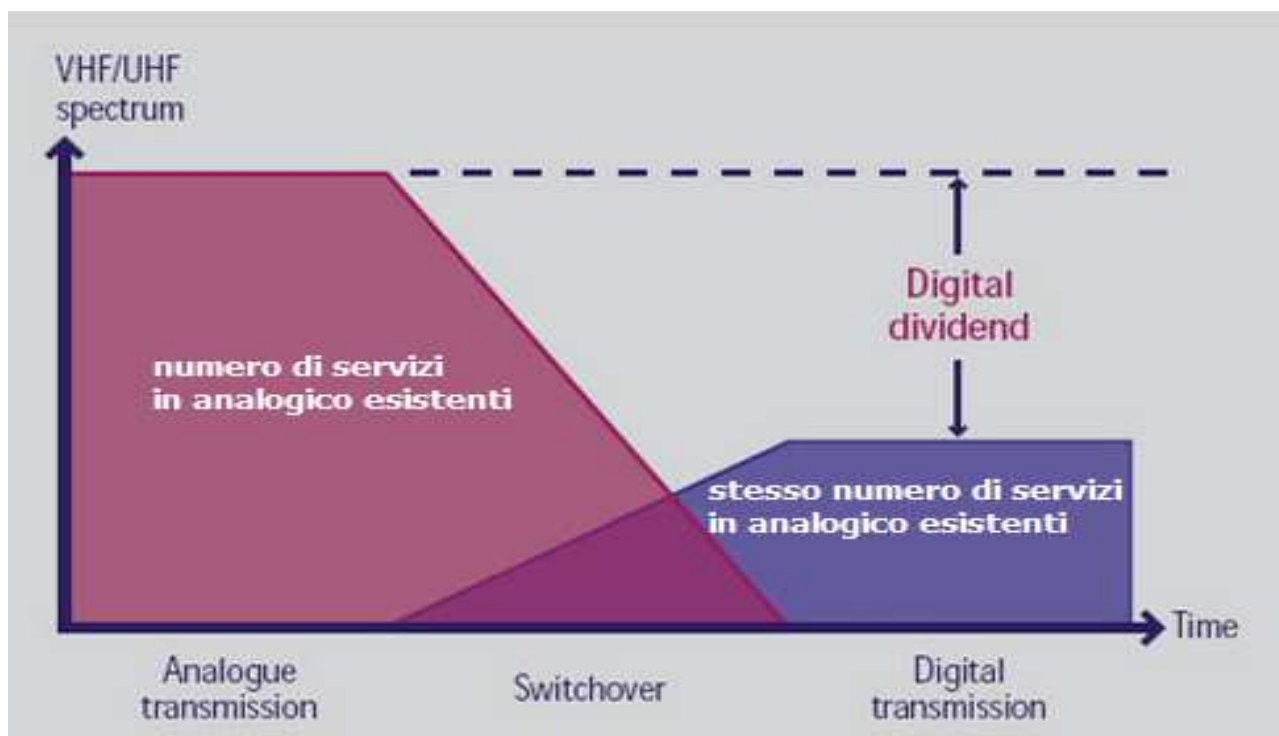
2.2) *La descrizione dell'ambiente per la previsione RT: il database, le caratteristiche dei materiali ...*

2.3) Risultati di confronto RT-misure: la descrizione dell'ambiente, l'effetto della riflettività (conducibilità) delle varie pareti, la ricerca dei parametri ottimi di simulazione, risultati finali

2.1 L'ambiente di propagazione Programm Making and Special Event (PMSE) e le misure dell'Università di Bochum.

È necessario prima di tutto una piccola introduzione allo scenario in cui andremo ad incentrarci.

Con lo sviluppo di nuove tecnologie, avendo sempre più un crescente bisogno di banda nel campo delle trasmissioni radio, l'approccio digitale sulla gestione del sistema delle telecomunicazioni, in alternativa al già esistente analogico, si è rivelato un'ottima soluzione, ottenendo così grandi risultati e miglioramenti. Il grafico riportato ci mostra in termini di efficienza il risparmio dello spettro in banda che si ha, passando da un sistema analogico a quello digitale a parità di servizi resi.



Alcune applicazioni di notevole importanza che sfruttano il canale radio, in cui si trova l'esigenza di raggiungere nuovi traguardi e sviluppi, sono per esempio le applicazioni PMSE (Programme Making and Special Event). PMSE è un termine adottato particolarmente in Europa che denota l'uso di attrezzature wire-less allo scopo di supportare: diffusioni di tipo broadcasting radio, news gathering (servizi per il giornalismo on site), raccolte dati audio/video (in occasione di eventi speciali di tipo culturale, sportivo,

conferenze di lavoro e molto altro). Nel dettaglio degli esempi sopra riportati può essere chi deve gestire multi microfoni e telecamere wire-less in ambienti più o meno grandi e indoor o outdoor. Attrezzature PMSE spesso operano all'interno dello stesso spettro di trasmissione di altri servizi già presenti nel canale trasmissivo; essendo tutto ciò possibile grazie alla loro bassa potenza irradiata. La banda di frequenza di lavoro utilizzata solitamente è l'UHF(Ultra High Frequency) compresa fra 1 a 5 GHz.



Sopra. Attrezzatura PMSE

Per quello che ci riguarda, in coerenza con le applicazioni sopra descritte, andremo ad osservare i risultati sperimentali ottenuti dall' Institute of Microwave Systems, Ruhr-Università di Bochum in Germany, per applicazioni PMSE nella grande sala fiere a Berlino [2]. In seguito illustreremo e confronteremo questi risultati sperimentali con i nostri ottenuti grazie al simulatore "3Dscat" sviluppato su piattaforma "matlab" e basato su algoritmo di calcolo previsionale a raggi Ray Tracing [4].

Come anticipato le applicazioni PMSE operano con una larghezza di banda relativamente stretta e tipica attorno ai 200KHz, ad una frequenza di lavoro nell'UHF. Queste bande sono gestite all'interno dei così detti "spazi bianchi", ovvero spazi che si trovano fra i canali di trasmissione già esistenti ma purtroppo tali spazi sono sempre più radi creando disagio nella gestione di multi apparecchiature. L'accesso dinamico in frequenza potrebbe sembrare la

soluzione da percorrere e quindi è necessario uno sviluppo accurato, per mezzo di sperimentazioni on site o per via numerica, di un nuovo modello del canale radio.

In particolare lo studio effettuato dalla Bochum si basa sulla determinazione del parametro "Delay Spread" (ritardo di propagazione) ricavato a mezzo di prove pratiche all'interno della grande sala fiere a Berlino [2]. Incominciamo con una breve introduzione di qualche formula matematica utilizzata. Il "Delay Spread Efficace" (ovvero la radice quadrata del valore medio del ritardo), abbreviato " τ_{rms} ", della risposta impulsiva del canale $h(t)$, è stato calcolato come il secondo momento del Power Delay Profile " $p(t)$ ". La " $p(t)$ " è la potenza del segnale ricevuto in funzione del tempo di ritardo.

Espressioni matematiche:

$$\triangleright \tau_{rms} = \sqrt{\left(\frac{\int_0^{\infty} (t-D)^2 p_{\alpha}(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{\alpha}(t) dt} \right)},$$

dove $p_{\alpha}(t)$ è la potenza sogliata. Si è dovuti ricorrere a ciò a causa della forte influenza del rumore sul Delay Spread.

$$\triangleright p_{\alpha}(t) = \begin{cases} |h(t)|^2 & \text{if } |h(t)|^2 > \alpha_{\tau} \\ 0 & \text{if } |h(t)|^2 \leq \alpha_{\tau} \end{cases},$$

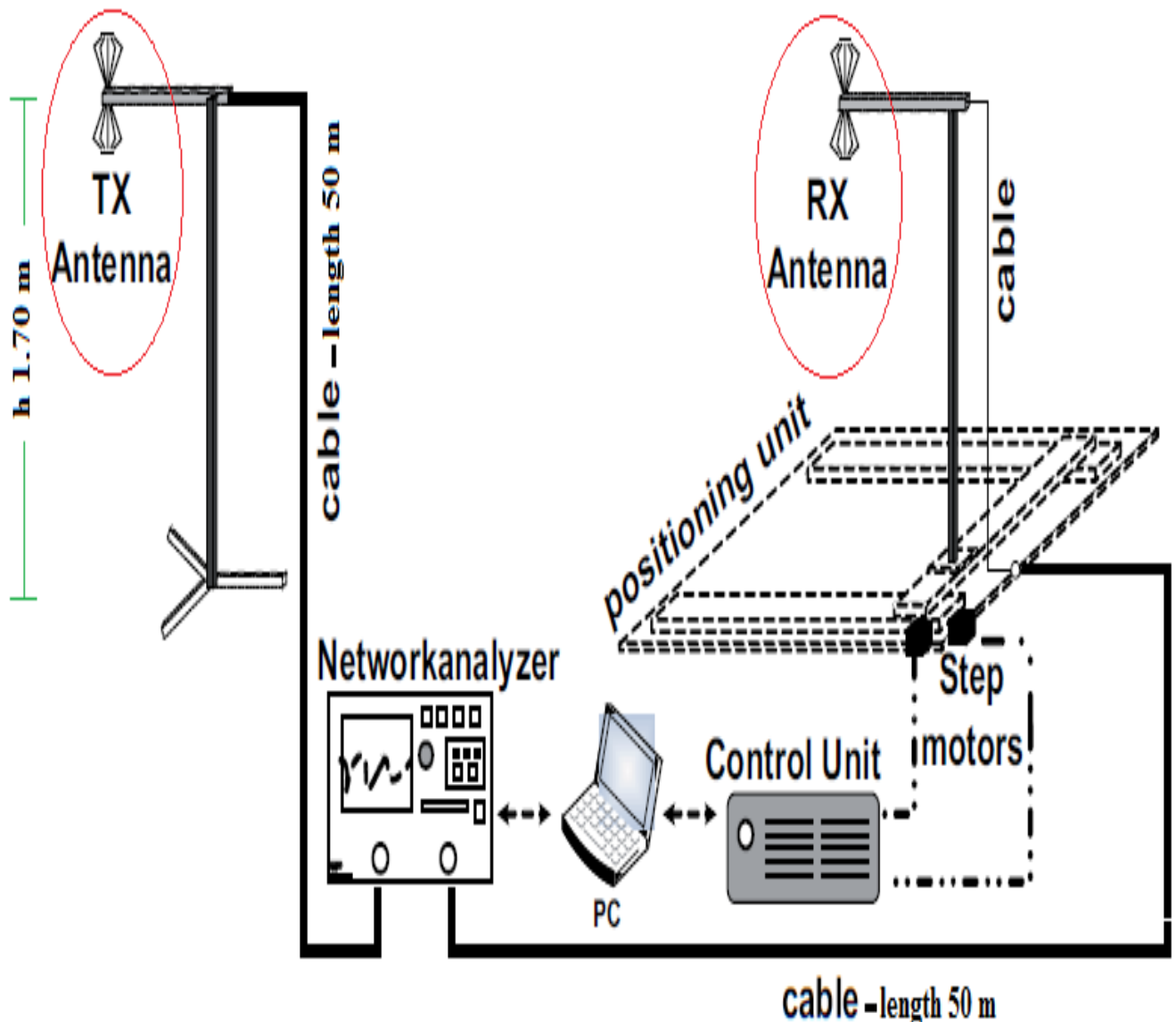
Guardando l'espressione del τ_{rms} troviamo anche il parametro " D " che rappresenta l'eccesso di ritardo ed è così determinato:

$$\triangleright D = \frac{\int_0^{\infty} t p_{\alpha}(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{\alpha}(t) dt}.$$

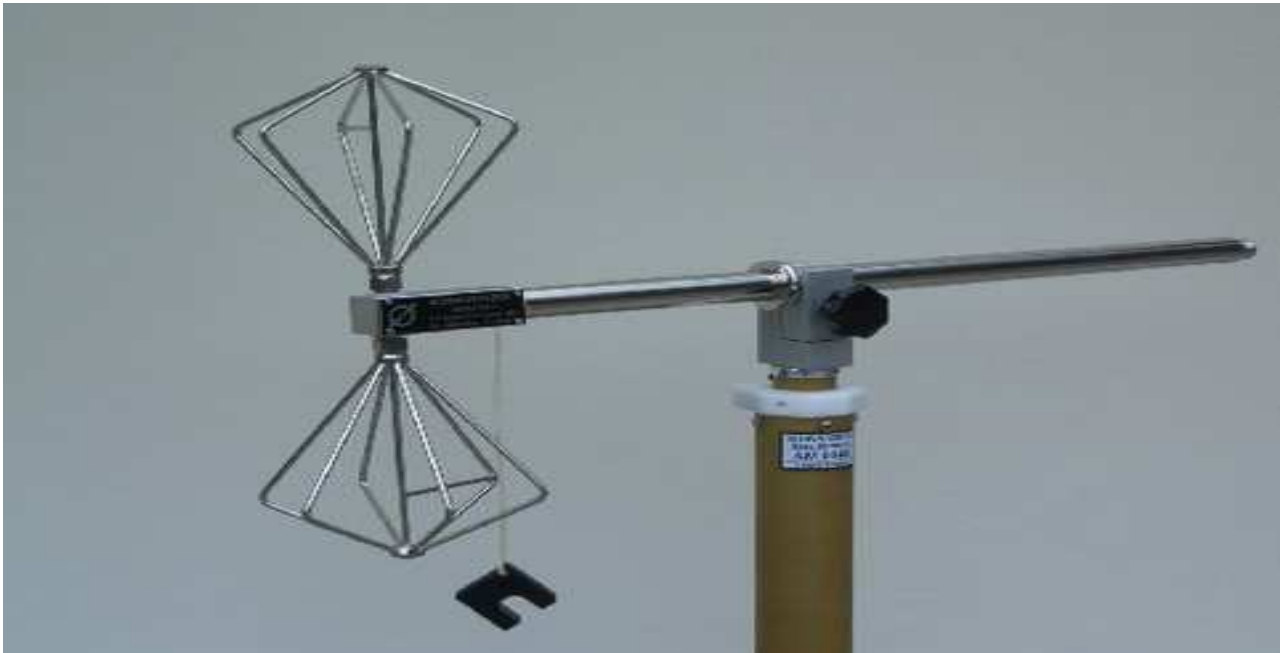
Inoltriamoci a questo punto ad analizzare e a prendere atto dei setup adottati per l'intera campagna di simulazioni.

In linea generale possiamo distinguere due tipi di settaggi. Il primo è mirato ad una analisi dei parametri su small scale, cioè per tenere conto delle piccole variazioni (su distanze corte) in prossimità della posizione dove viene rilevata la misura. Il secondo è atto a prendere in considerazione gli effetti su large scale, cioè l'analisi degli andamenti su lunghe distanze, riuscendo così ad integrare le differenze locali delle misure su small scale.

Prendiamo conoscenza della strumentazione necessaria impiegata, completa di relativi cavi di collegamento, come ci mostra l'immagine seguente.

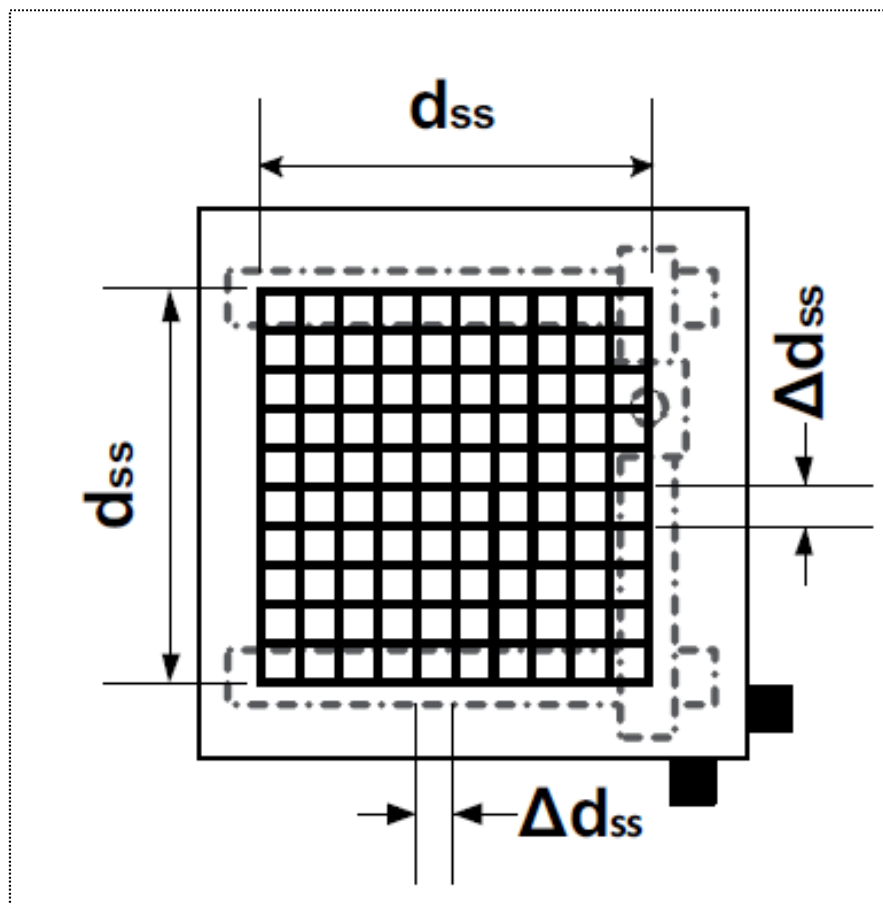


Proseguendo con la descrizione del materiale iniziamo dalle antenne trasmittente e ricevente, che sono di tipo biconico, marca/modello Schwarzbeck/SBA-9113 (per le specifiche tecniche demandiamo all'appendice A) e fissate su due pali della stessa altezza, in modo che le misure avvengano sempre ad unica quota di 1,70 metri. Mostriamo una foto del tipo di antenna:



Il palo sostenitore dell'antenna ricevente a differenza di quello dell'antenna trasmittente ha la facoltà di muoversi su una guida mobile (detta anche Position Unit - PU) posta a terra per effettuare posizionamenti variabili a corto raggio, potendo così raccogliere una matrice di dati locali. Si hanno in due porte di un analizzatore vettoriale di rete (Vector Analyzer Network - VNA), per mezzo di due cavi coassiali della lunghezza di 50 metri l'uno, collegate le due antenne, per la raccolta ed analisi dei dati e per l'emissione del segnale trasmittente. Il VNA spazia un intervallo di frequenze che va da 300 MHz (chiamata frequency low) a 3000 MHz (chiamata frequency up) con un passo di frequenza Δf pari a 200KHz. Per quanto concerne al rapporto segnale rumore "SNR(Signal Noise Rapport)", parametro molto importante, è notevolmente alto, grazie all'applicazione di un filtro "IF" con larghezza di banda di 1 Hz. Questi filtri sono spesso utilizzati in campo radio per tali scopi. Infine la potenza d'uscita è mantenuta a livelli minimi $P_{out} = 13$ dBm.

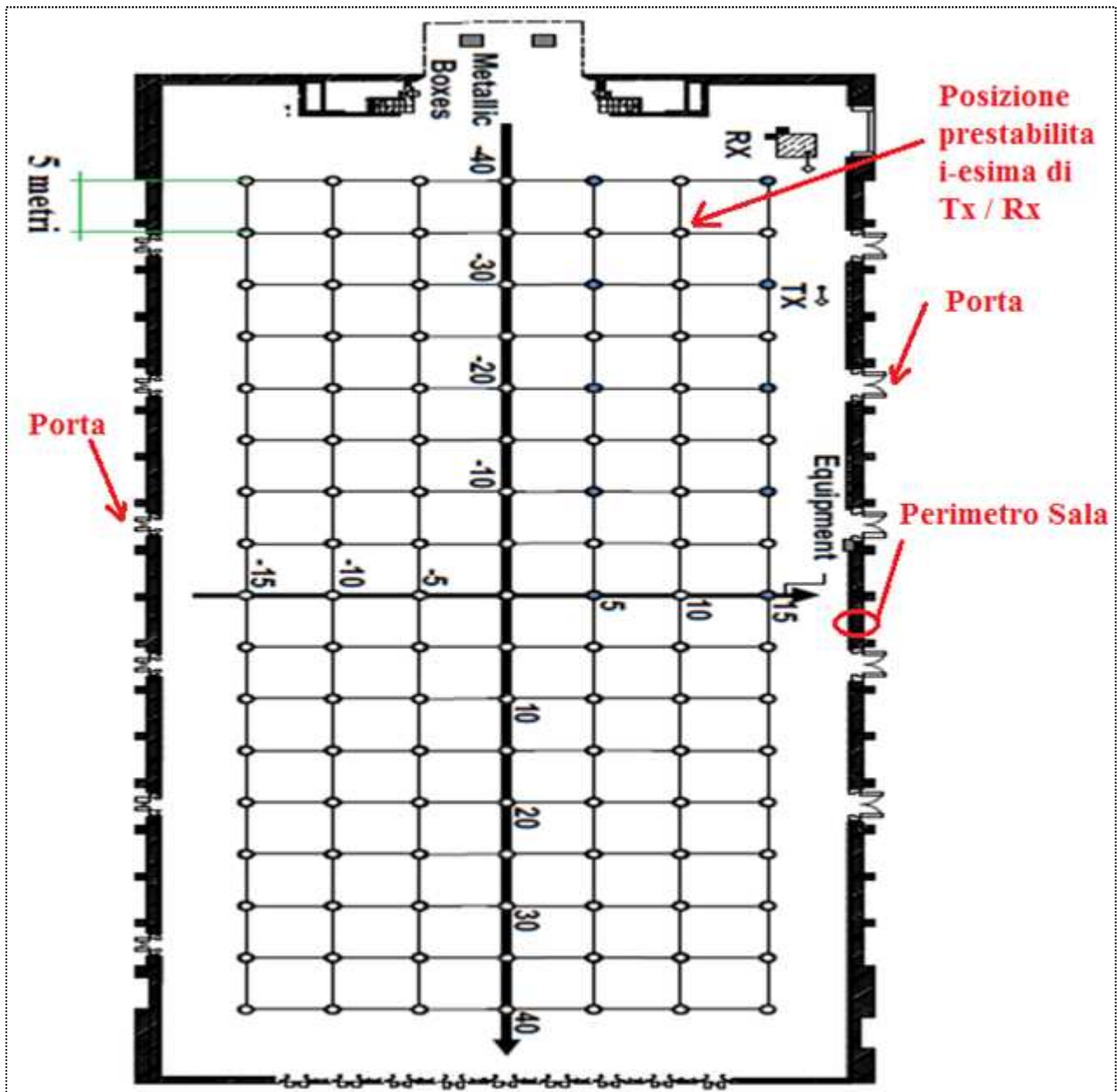
Entrando nel dettaglio dei posizionamenti che gli apparati trasmettenti e riceventi assumeranno durante la campagna di simulazioni, osserviamo la figura sottostante che ci mostra la griglia rappresentante tutti i posizionamenti assunti dal ricevitore per le relative misurazioni in small scale.



Questa griglia misura, di lato perimetrale, d_{ss} pari a 1 metro ed un passo matriciale di sezione quadrata Δd_{ss} pari a 10 centimetri. Queste lunghezze adottate non sono di certo casuali, anzi corrispondono alle lunghezze d'onda " λ_l " e " λ_u " relative alle frequenze sopra citate "frequency low" e "frequency up". Il sostanzioso array di dati ottenuto, è ottimo per caratterizzare gli effetti di fading rapido nello small scale.

In modo del tutto equivalente al rilievo delle misure in small scale, si adotta per il large scale una suddivisione a griglia con dimensioni adattate al perimetro della sala fiere di Berlino.

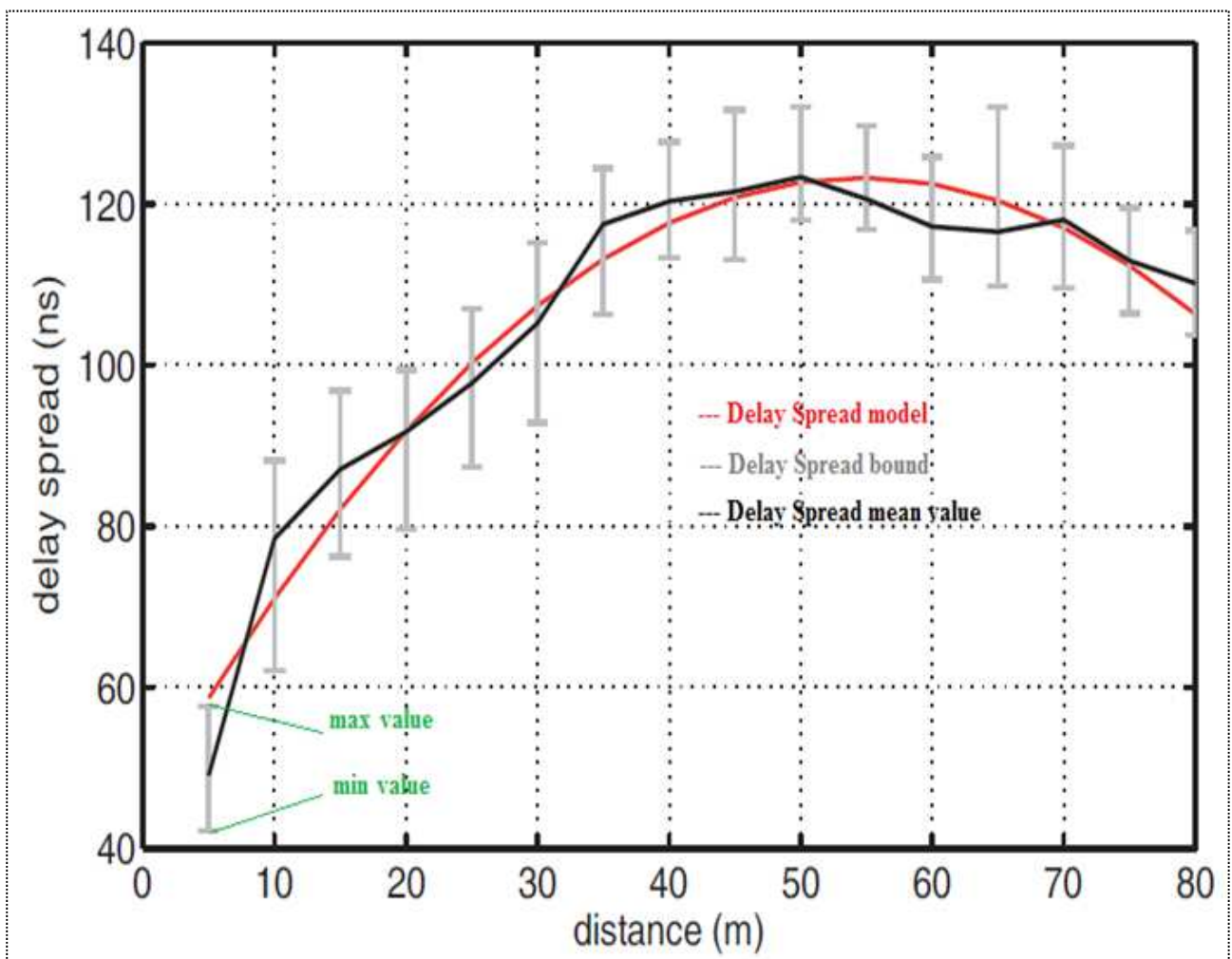
Guardiamone il seguente schema.



In questo caso la sezione quadrata matriciale della griglia presenta un lato pari a 5 metri. Cerchiamo di capire a questo punto la dinamica di un ciclo intero sperimentale. Per quanto possa essere fisicamente impegnativo, è in se molto semplice, in pratica per ogni posizionamento del ricevitore il trasmettitore dovrà effettuare trasmissioni da ogni posizionamento rimanente sulla griglia. Il ciclo completo della campagna di misure per il large scale (proprio quello di nostro interesse ai fini simulativi) terminerà quando il ricevitore avrà percorso tutte le posizioni del grigliato.

Avendo collocato tutta la strumentazione e iniziando il lungo lavoro, ci si accorge fin da subito che l'effettuare misure per ogni punto della griglia/matrice comporterebbe un onere temporale che forse non è oltretutto necessario. Ragionando in termini di simmetrie per gli assi X ed Y (Z è fisso) si può pensare di effettuare le sperimentazioni solo per una porzione della griglia, ad esempio per il quadrante ricompreso nel range di coordinate X [0 ÷ - 15] e Y [0 ÷ - 40], prevedendo che l'andamento dei risultati per il resto della sala saranno del tutto simili ovviamente a meno di un piccolo grado d'imprecisione, che non influirà sulla modellazione della funzione di trasferimento del canale.

Portata a termine la prima parte di lavoro, quella più pratica di raccolta dati, non rimane altro che elaborarli. Per ottenere un grafico sull'andamento del ritardo di propagazione, si decide di porre sull'ordinata il valore in nano secondi del ritardo stesso e in ascissa la distanza che intercorre fra il ricevitore e trasmettitore (in metri) per il corrispondente valore. Mostriamo la curva dei valori ottenuta.



Bisogna premettere che nel riportare i dati sopra graficati, è stata fissata una soglia di 10 dB al di sopra del rumore di fondo, ignorando quindi tutto ciò che ne è al di sotto. Notiamo più andamenti all'interno del grafo. Prima di tutto si notano dei "bound" con valore minimo e massimo per valori di distanze fissi. Come abbiamo spiegato precedentemente sullo svolgimento dinamico della campagna di misure, sono stati rilevati più valori di ritardo per distanze uguali fra trasmettitore e ricevitore, dal semplice fatto che per collocamenti differenti all'interno della sala, il contributo del ritardo stesso è differente. Da ciò se ne comprende quanto possa essere importante all'interno di una simulazione numerica avere una descrizione dell'ambiente più dettagliata possibile. Tracciati i "bound" in colore grigio possiamo in colore nero tracciare una spezzata che passa per il valore medio di tutti i valori ottenuti per ogni singola distanza. Di conseguenza in fine si è ricavato l'andamento di modello, ovvero la curva di colore rosso.

Analizziamo ora un po' il grafico dal punto di vista scientifico. Facendo riferimento all'andamento del modello dei valori medi associamo il valore minimo di Delay Spread che troviamo in corrispondenza della distanza minima di 5 metri pari a 50 nano secondi [ns]. Alla distanza di 50 metri invece troviamo il valore di picco massimo di 120 [ns], oltre a tale distanza fino a 80 metri l'andamento risulta decrescente. Come ci spettavamo inizialmente passando da distanze brevi a quelle più crescenti risulta un andamento crescente di Delay Spread essendo giustificato senza alcun dubbio dal fatto che aumentando la distanza, aumentano anche i cammini multipli (effetto multipath) provocando maggiori ritardi. La giustificazione invece dell'andamento decrescente oltrepassati i 50 metri è che per lunghe distanze i cammini secondari sono molto attenuati finendo così sotto la soglia prestabilita di rumore ed annullando conseguentemente il loro contributo.

2.2 La descrizione dell'ambiente per la previsione Ray Tracing

Appresa tutta la campagna di misurazione effettuata dai ricercatori dell'università di Bochum, sarà in nostro intento usufruire del simulatore indoor RT(Ray tracing) "3DScat" sviluppato in ambiente MATLAB, al fine di riprodurre i risultati e andamenti sperimentali visionati nel paragrafo precedente.

Il funzionamento dell'applicativo 3DScat consiste nel calcolo e scrittura in appositi file d'uscita, delle caratteristiche elettromagnetiche dei raggi captati al ricevitore (come ad esempio potenza ricevuta, guadagno in ricezione nella direzione di arrivo, angolo di arrivo e ritardo del singolo raggio ricevuto ecc ecc..) a patto di fornire uno specifico database in ingresso composto da più file che vedremo nel dettaglio in seguito. Ovviamente più il database sarà curato sotto ogni aspetto e migliore sarà l'accuratezza e precisione dei risultati previsionali ottenuti. Per capire meglio in cosa consiste formulare il database d'ingresso visioneremo ogni singolo file che lo compone ed in riferimento alla sala fiere di Berlino. Il programma deve conoscere sostanzialmente lo scenario architettonico di propagazione con le posizioni assunte dal trasmettitore/ricevitore e le relative proprietà di radiazione delle antenne utilizzate. Lo scenario di propagazione è formato da due file in formato ASCII. Il primo file descrive geometricamente: "oggetti" che si trovano all'interno dell'ambiente di propagazione, l'ambiente stesso e se necessario anche gli ostacoli più incisivi presenti nel contesto urbano circostante(solitamente edifici, alberi..). Per la maggiore tutta la casistica fa riferimento a muri ed arredi. Il metodo descrittivo vero e proprio è quello di associare tali oggetti a dei poligoni, proseguendo poi con la descrizione delle coordinate dei vertici del poligono stesso. Ne risulta alla fine una sagoma. Premetto che è fondamentale fissare fin dall'inizio un sistema di riferimento tridimensionale cartesiano detto anche riferimento assoluto o riferimento ambientale. Proseguendo all'interno dello stesso file, conoscendone l'importanza e l'incidenza che possono avere sulla diffrazione, si effettua la descrizione degli spigoli, specificando in questo caso le coordinate degli estremi e gli identificativi dei muri(o muro singolo) che lo formano comprensivo di ampiezza d'angolo (es. con ampiezza d'angolo a 0° si tratta di un semplice muro singolo). Infine si termina la compilazione del file con la definizione di tutte le eventuali discontinuità presenti nelle pareti che possono

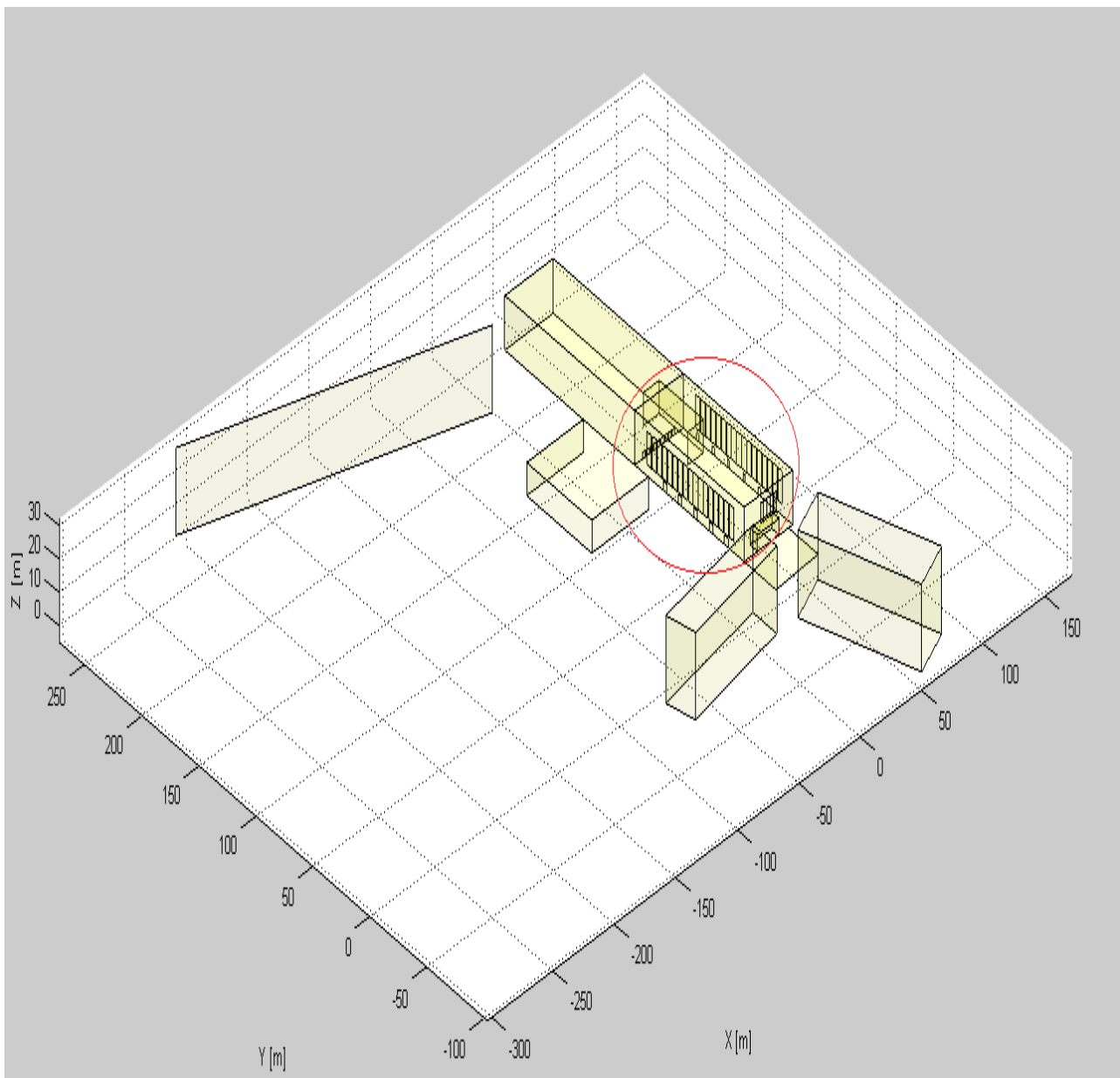
essere rappresentate da: buchi, porte o finestre. In questo caso per convenzione si è imposto che tali discontinuità debbano essere sempre di forma rettangolare e quindi ci si limita ad inserire le coordinate dei due vertici opposti. In appendice B è stato riportato integralmente il file "Salafiere.data" opportunamente commentato in colore rosso. Tale file ha subito più variazione in fase di compilazione, perché per riuscire ad ottenere risultati simili a quelli sperimentali, ci siamo dovuti spingere anche alla parziale descrizione del contesto urbano circostante, limitandoci ai soli edifici adiacenti. E' molto interessante come l'applicativo grazie ad una specifica funzione che ha al proprio interno riesca ad elaborare tutte le informazioni geometriche inserite nel file "Salafiere.data" e riesca a fornirci un elaborato architettonico tridimensionale. In tal modo a colpo d'occhio si riesce ad avere riscontro immediato di eventuali errori o mancanze confrontando il risultato ottenuto con la realtà. Vogliamo ora riportare una serie di immagini e ricostruzioni 3D inerenti al nostro ambiente di simulazione. Nella prima immagine(estratto di una foto aerea) abbiamo individuato la sala fiere di Berlino cerchiandola in rosso.

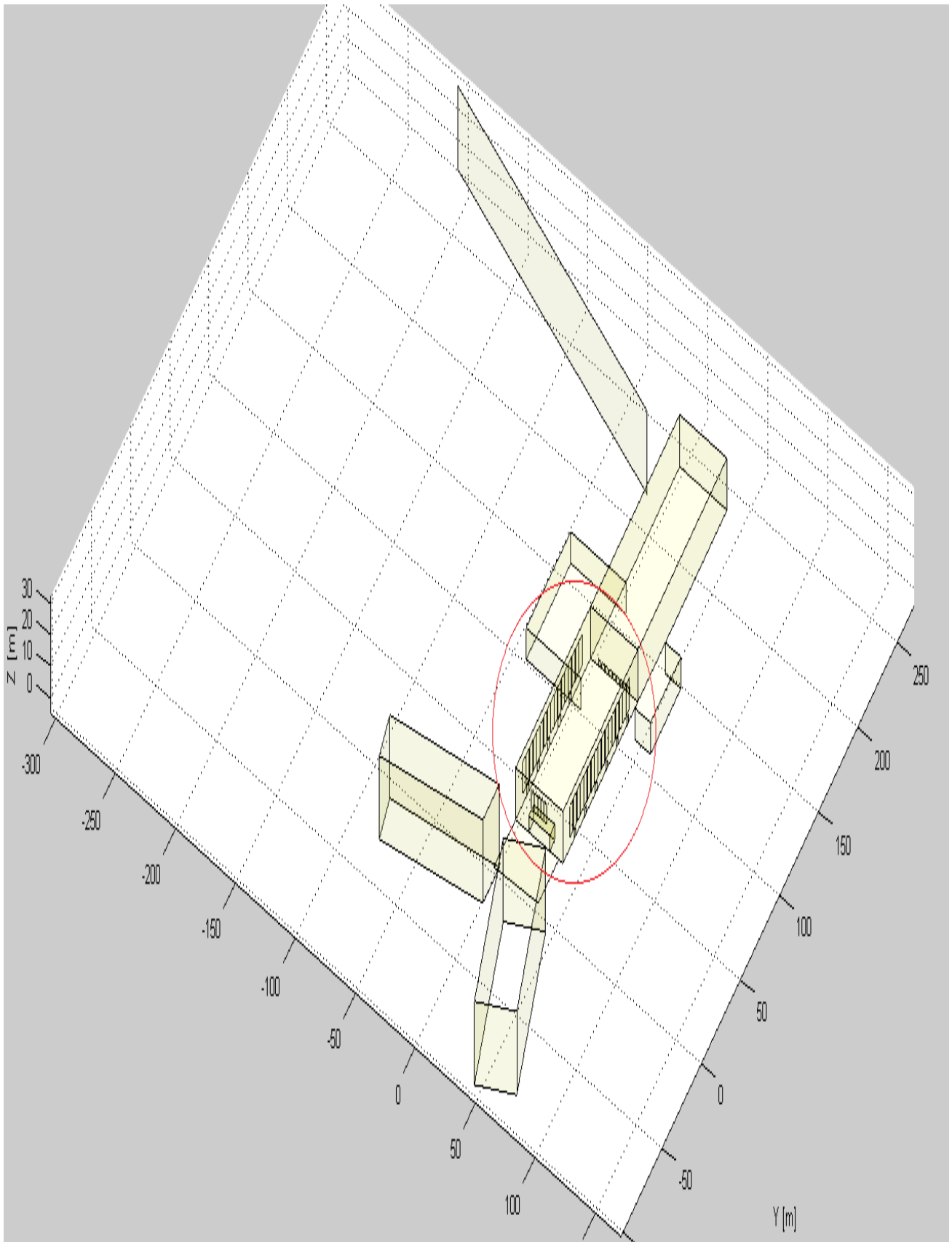


A questo punto inseriamo il sistema di riferimento assoluto e andiamo ad individuare nel contesto urbano quali principali ostacoli (solo edifici nel nostro caso) posso generare forti interazioni col nostro segnale di propagazione. Nella prossima immagine troviamo in colore blu le sagome individuate che vogliamo inserire nel nostro database e in colore rosso la sagoma della nostra sala.



Tutte i rilievi delle misure necessarie sono state ricavate da mappe catastali, rilievi topografici e piantine in scala degli edifici. Come si potrà constatare nella descrizione della sala fiere di Berlino abbiamo avuto una maggiore cura dei dettagli architettonici perché giustamente hanno un'influenza maggiore rispetto ai particolari degli edifici esterni. Da tutto ciò si riesce ad immaginare quanto dispendio di tempo ci sia nel creare questo primo file. Vediamo ora due ricostruzioni in 3D del nostro ambiente sotto due punti di osservazione differenti per coglierne tutti i particolari.





Passiamo al secondo file di input, ovvero all'inserimento dei parametri elettromagnetici dei materiali. Senz'altro meno oneroso dal punto di vista di impiego di tempo, il file dei materiali fa riferimento ad ogni singolo elemento (richiamandone il nome) inserito nel primo file. Si andranno a specificare le seguenti caratteristiche elettromagnetiche e fisiche: costante dielettrica relativa (ϵ_R), conducibilità (σ), spessore in metri, attraversabilità e bilateralità dell'oggetto. Per i primi tre parametri non c'è molto da dire una volta venuti a conoscenza dell'essenza del materiale, mentre per gli ultimi due spieghiamo velocemente cosa si intende. Per attraversabilità si intende che una parete sia attraversabile dall'onda incidente o meno, ad esempio una parete metallica non presenta questa facoltà e quindi il parametro in questione andrà disabilitato. Per quanto riguarda la bilateralità invece si intende che entrambe le facce dell'oggetto possano generare riflessione o meno. In tal caso è bene ed opportuno che un oggetto attraversabile debba essere anche bilaterale. In appendice B1 è riportata la stesura del file opportunamente commentato.

Come ultimo step, formulando gli ultimi tre o quattro file, forniamo i dati necessari per individuare posizione e proprietà di radiazione dell'antenna trasmittente e ricevente. Nei primi due file, che hanno lo stesso format, andremo ad inserire i seguenti parametri: 1) Le posizioni (coordinate in metri) che assumeranno le antenne trasmettenti o riceventi nell'arco della simulazione rispetto al sistema di riferimento assoluto, 2) La potenza, che dovrà essere espressa in unità logaritmica e indifferentemente se in dBm o dBW facendo poi attenzione che il valore calcolato in uscita sarà espresso nella stessa unità di misura, 3) La frequenza, che deve essere espressa per convenzione in scala di misura del Mega Hertz [MHz], 4) Il percorso all'interno del database ove risiede il file di radiazione che può essere diverso per il ricevitore rispetto al trasmettitore, 5) In fine, i tre angoli che permettono di definire come è orientato il sistema di riferimento solidale all'antenna rispetto al riferimento assoluto, e quindi permettono di orientare l'antenna all'interno dell'ambiente di propagazione. I restanti file sono per l'appunto il sopracitato citato file di radiazione delle antenne coinvolte nella simulazione. All'interno di essi ci si limita ad osservare il diagramma di radiazione (ddr) dell'antenna che è assegnato rispetto ad un sistema di riferimento (ovviamente deve essere noto) solidale con l'antenna stessa, e quindi in generale differente da quello assoluto. In questo caso non avendo modellato

l'antenna biconica utilizzata in fase sperimentale, abbiamo utilizzato un antenna a dipolo $\lambda/2$ 3D.

Avendo dato tutte le informazioni pregresse necessarie all'applicativo, ora non ci rimane altro che settare, seguiti dal buon senso la simulazione ed analizzare i risultati d'uscita. Tutti i parametri di settaggio sono resi disponibili dal software all'interno di uno specifico file ed in particolare modo sono a noi interessanti quelli riguardanti lo scattering, la riflessione e la diffrazione. I parametri che andremo ad elencare in seguito, si possono abilitare o meno con un flag di tipo "0" o "1" o qualora venga richiesto assegnare direttamente il valore numerico.

- Abilitazione dello scattering coerente (ovvero si può scegliere se eseguire la somma delle potenze trasportate considerando o meno le interferenze costruttive e distruttive causate dalle loro differenti fasi);
- Abilitazione dello scattering lato trasmettitore o lato ricevitore (è possibile infatti una sola interazione di questo tipo, con l'utilizzo di un particolare modello di scattering "distribuito");
- Discretizzazione delle coordinate θ e φ . nel calcolo dei punti di scattering;
- Considerazione o scarto dei raggi che subiscono sia scattering, sia riflessione (o diffrazione);
- Scelta del tipo di modello di scattering diffuso che si vuole adottare e tutti i relativi valori parametrici sul controllo della quantità di potenza incidente che viene ridistribuita per effetto di diffusione.

Oltre ai sopracitati non mancano una serie di parametri che tengono in considerazione del numero massimo dei raggi che si diffondono nell'ambiente, tipo:

- numero massimo di interazioni, cioè di "rimbalzi" ammessi per ciascun raggio;
- numero massimo di riflessioni ammesse per ciascun raggio;
- numero massimo di diffrazioni ammesse per ciascun raggio;
- numero massimo di riflessioni e diffrazioni, indica il numero massimo di riflessioni e diffrazioni (contate assieme) ammesse per ciascun raggio;
- numero massimo di trasmissioni ammesse per ciascun raggio. Essendo infatti un simulatore a raggi pensato prevalentemente per l'ambiente indoor deve necessariamente considerare la penetrabilità dei muri. Qui

entra in gioco tutta la teoria delle regioni di visibilità e delle sorgenti immaginarie.

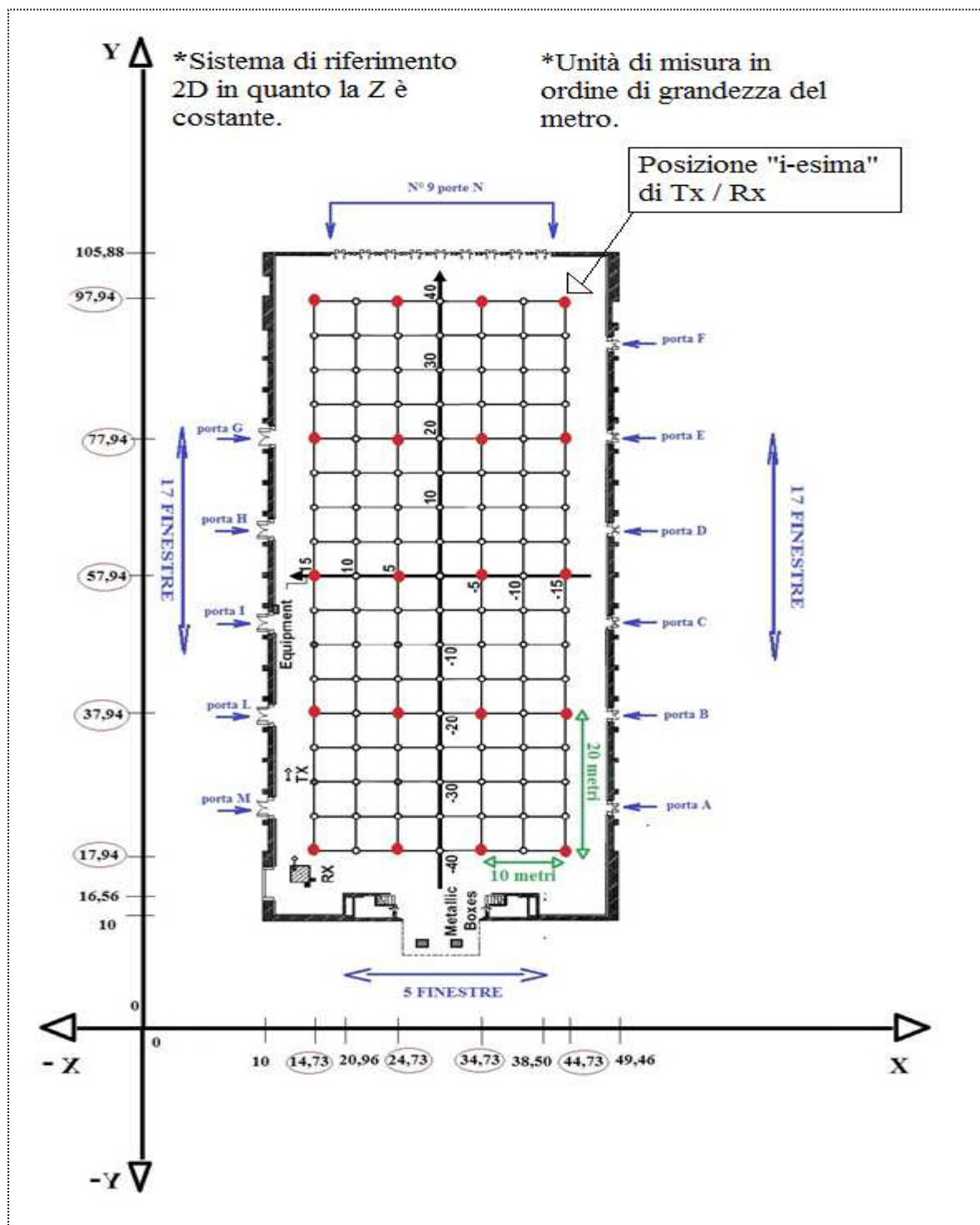
Terminata la fase di settaggio, a questo punto vediamo come gestire con buona flessibilità i risultati d'uscita. Prendiamo atto che in base ai valori assegnati in particolare modo all'ultimo elenco di parametri, andremo ad incidere notevolmente sul volume dei dati d'uscita e sul tempo computazionale di simulazione (anche sull'ordine temporale di decine di ore).

Una volta effettuata tutta la simulazione il Ray Tracing genera dei file di output contenenti matrici di informazioni utili per effettuare un post processing mediante l'uso di funzioni predisposte di calcolo ai fini di filtraggio. Essenzialmente tali funzioni ci permettono di ricavare da ogni singolo valore elettromagnetico inerente ad ogni singolo raggio ottenuto durante tutta la campagna di trasmissioni:

- Matrice di canale (modulo e fase di ogni singolo coefficiente);
- Potenze ricevute da ogni singola antenna;
- Profilo potenza-ritardo(power delay profile);
- Delay Spread e Angle Spread;
- Plotting dei vari raggi all'interno dello scenario di simulazione.

Per permetterci di gestire al meglio la simulazione abbiamo creato un ulteriore script di controllo ad hoc. Quest'ultimo nasce in particolar modo dall'esigenza di riprodurre la serie di spostamenti a matrice del trasmettitore e ricevitore adottati negli esperimenti dell'università di Bochum[1]. La griglia matriciale da noi ricostruita per l'intera campagna di misure differisce da quella sperimentale in quanto la singola sezione è rettangolare anziché quadrata (con lato 5 metri) con misure 10 metri per 20 metri. Tale decisione è stata presa in quanto la sala presenta caratteristiche speculari e quindi i risultati ottenuti, a fronte di un risparmio in tempo computazionale, saranno di uguale validità. All'interno dello script specifichiamo fin da subito le coordinate iniziali di trasmettitore e ricevitore rispetto al sistema di riferimento assoluto, in seguito (grazie all'utilizzo di due cicli "for" uno all'interno dell'altro) agiremo in modo che ad ogni posizione sulla matrice del ricevitore il trasmettitore dovrà muoversi su tutti i restanti punti ed effettuare le trasmissioni. I risultati di ogni singola trasmissione verranno salvati in uno specifico database d'uscita. Vediamo nello schema a seguito l'inquadramento matriciale adottato

all'interno della sala. Abbiamo evidenziato in rosso le nostre posizioni sulla suddivisione adottata dai colleghi della Germania.

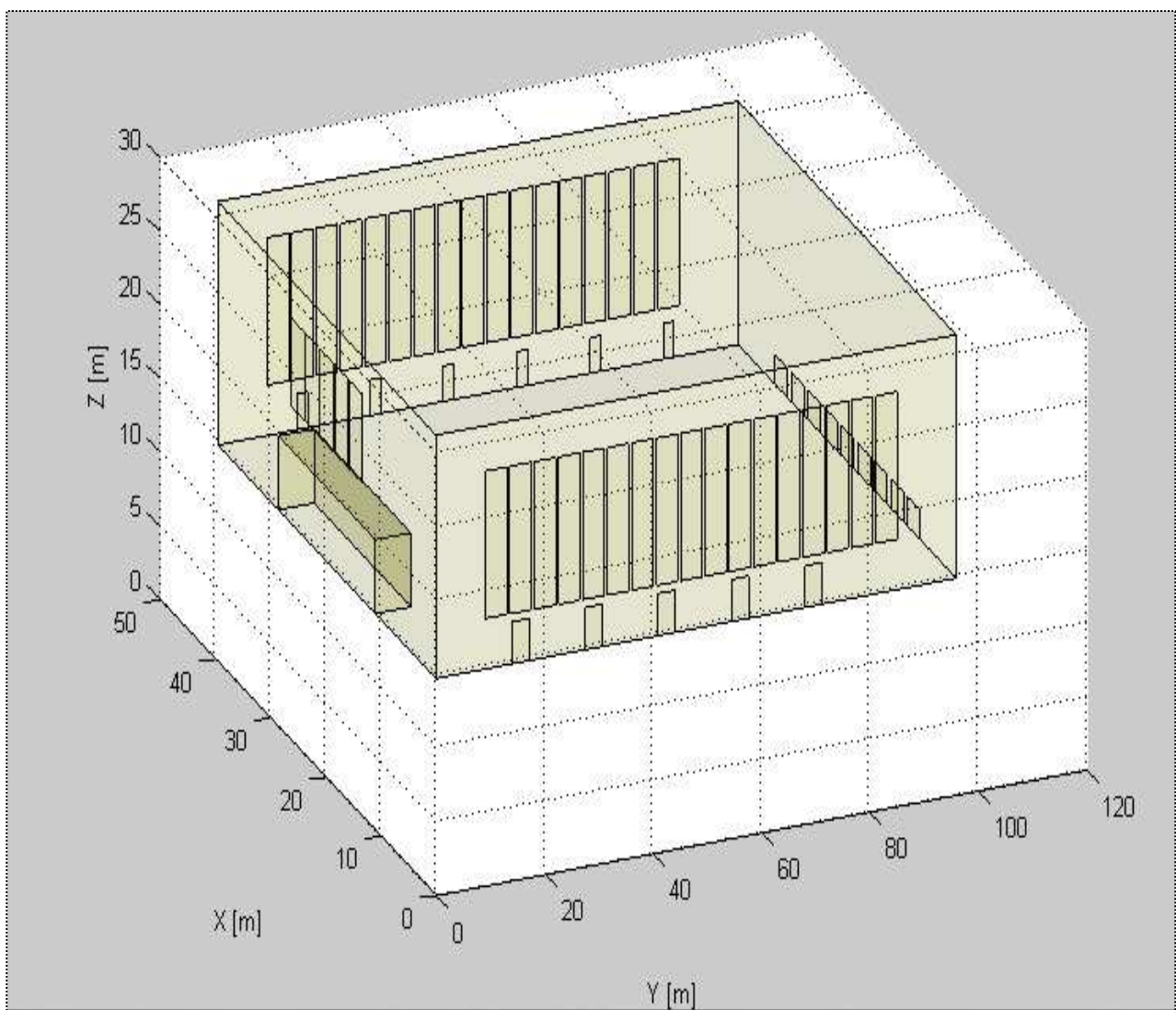


Avendo premesso tutto il necessario per poter procedere al mostrare l'iter percorso al raggiungimento dei risultati simulativi più soddisfacenti, dedicheremo tutto il prossimo capitolo a ciò.

2.3 Risultati di confronto Ray Tracing vs. misure: l'effetto della riflettività (conducibilità) delle varie pareti, la ricerca dei parametri ottimi di simulazione, risultati finali.

In questo paragrafo mostreremo e detaggeremo i vari step che ci hanno permesso di raggiungere risultati soddisfacenti ed eguagliabili a quelli sperimentali effettuati dai ricercatori dell'università di Bochum illustrati nei paragrafi precedenti.

Partiamo subito col premettere che, nel primo database costituito, il file che include tutta la descrizione dell'ambiente era composto solo da informazioni inerenti alla sala fiere di Berlino come ci mostra la ricostruzione 3D riportata:



A questo punto abbiamo messo a mano (settando l'opportuno file) alle caratteristiche fisiche ed elettromagnetiche dei materiali, nel modo che ritenevamo più consono una volta studiata la natura del materiale:

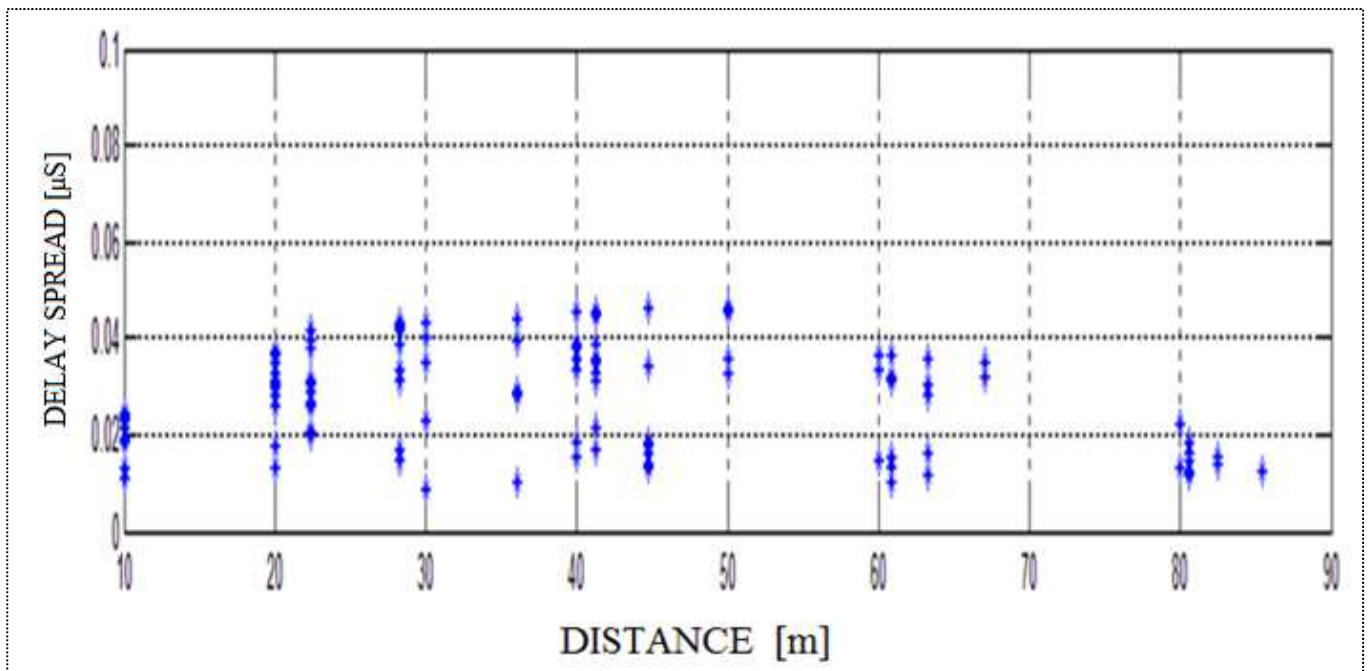
Riferimento / Parametro	ϵ	σ	Spessore [m]	Bilatera	attraversabile
Parete	5	2e-2	0.45	True	True
Rivestimento palco	4,4	1e-3	0.45	True	True
Palco interno	5	2e-2	0	False	False
Finestra	2,4	1e-12	0.45	True	True
Porta aperta	1	0	0.45	True	True
Porta chiusa	5	0	0.45	True	True

Vogliamo ora rendere noto anche il primo settaggio fatto ai parametri inerenti alla simulazione riportandoli nella prossima tabella (ovviamente solo i più importanti). Ricordiamo che dove appare un "uno" il parametro di riferimento è abilitato e il contrario quando appare uno zero, altrimenti verrà espresso direttamente il valore numerico pertinente (per la descrizione esaustiva dei parametri si demanda direttamente al manuale 3DScat del'Ing. Franco Fuschini e l'Ing. Enrico Vitucci [4]).

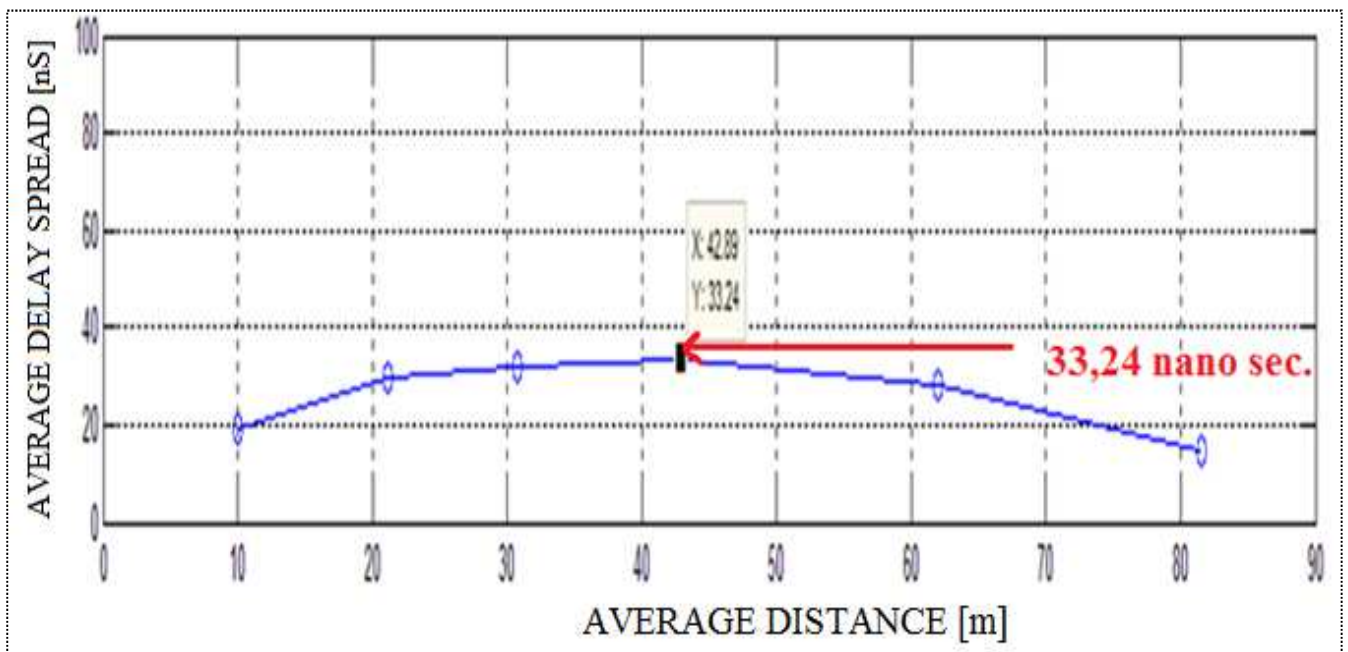
PARAMETRO	VALORE
ENABLE SCAT_TX	0
ENABLE SCAT_RX	0
N_MAX_INTERACTIONS	1

N_MAX_REFL	1
N_MAX_DIFF	0
N_MAX_REFL_WITH_SCAT	0
N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	0
N_MAX_REFL_AND_DIFF	0
N_MAX_TRANSM	10

Questo settaggio è stato fatto per “indagare” l’ambiente ed avere in poco tempo una risposta da analizzare a colpo d’occhio, per notare eventuali anomalie. Non abbiamo fatto altro che impostare come numero massimo di interazioni e riflessioni pari a 1. Lanciando l’applicativo otteniamo due tipi di visualizzazioni dei risultati. La prima ci mostra tutti i singoli valori di ritardo che i raggi subiscono durante ogni singola trasmissione, in base alla distanza esistente fra ricevitore e trasmettitore. La seconda invece è semplicemente una media dei suddetti valori e distanze per capirne meglio il senso dell’andamento. A questo punto è lecito chiedersi quanti valori andremo ad ottenere nel primo caso e quindi sapendo che le posizioni totali in sala che possono assumere il trasmettitore e il ricevitore sono 20 e tenendo conto che per ogni posizione del ricevitore il trasmettitore si muove su tutte le altre, otteniamo un totale di 400 posizioni, di cui 20 posizioni sono coincidenti ovvero a distanza nulla e perciò non prese in considerazione; il totale finale perciò è di 380 trasmissioni effettuate e di conseguenza 380 valori di ritardo. A seguito riportiamo la prima visualizzazione di risultati:



Seconda visualizzazione dei risultati:



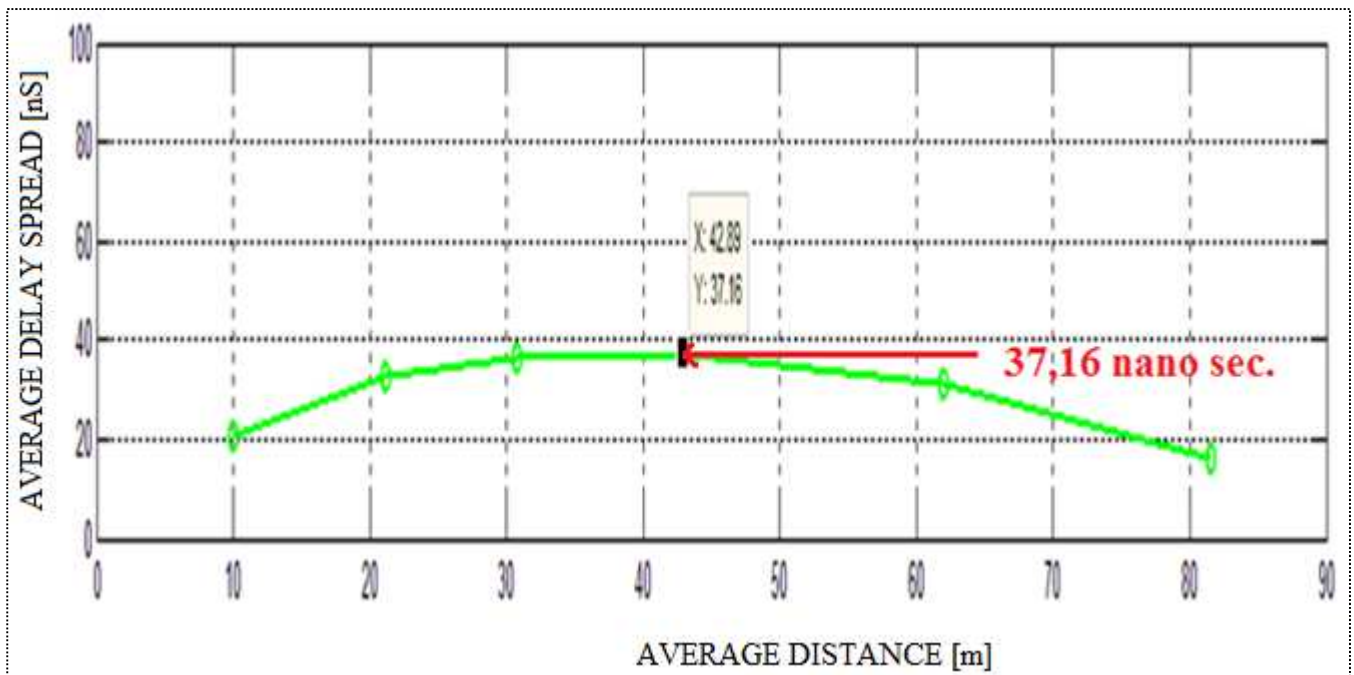
Sicuri e confortati dai risultati ottenuti, notiamo fin da subito che la seconda visualizzazione presenta un andamento del tutto rassomigliante alle curve sperimentali e ciò ci fa pensare che la nostra simulazione coi dati forniti in input sia ben impostata sulla buona direzione. Ciò non toglie il fatto che il valore di Delay Spread sia nettamente sottostimato. Infatti con un semplice

comando di matlab posizionandoci sul valore di picco dell'andamento medio vediamo che alla distanza di 43 metri circa abbiamo un valore massimo medio di ritardo di 33,24 nano secondi rispetto ai circa 123 nano secondi dei risultati sperimentali.

Proseguendo per gradi e dato che ne abbiamo la possibilità, vogliamo vedere l'effetto delle diffrazioni e dello scattering sul canale radio. Non dobbiamo fare altro che abilitare le diffrazioni (specificandone il numero massimo per ogni trasmissione) e lo scattering uno alla volta. Quindi effettuiamo la prima delle due simulazioni come riporta la tabella dei settaggi seguente:

PARAMETRO	VALORE
ENABLE_SCAT_TX	0
ENABLE_SCAT_RX	0
N_MAX_INTERACTIONS	1
N_MAX_REFL	1
N_MAX_DIFF	1
N_MAX_REFL_WITH_SCAT	0
N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	0
N_MAX_REFL_AND_DIFF	0
N_MAX_TRANSM	10

Senza riportare ogni volta tutti i 380 valori, visualizzeremo solo l'andamento medio che è più utile ai nostri fini.

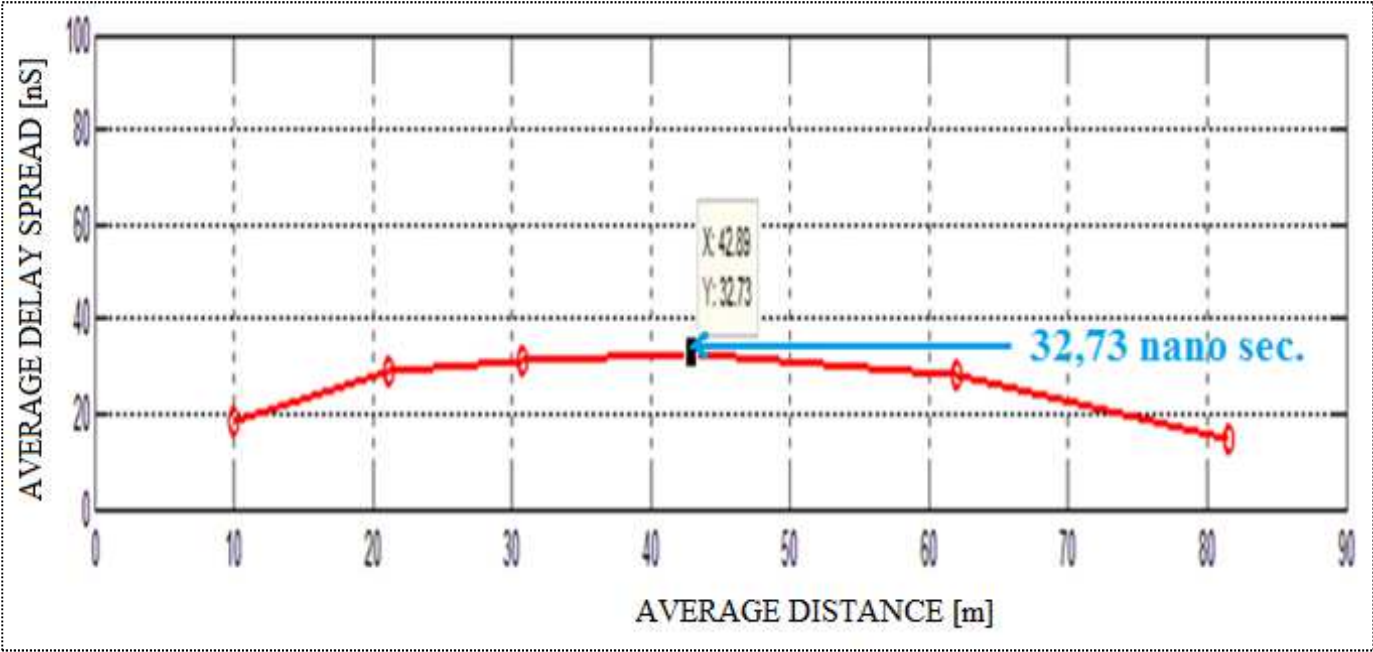


Come possiamo notare il valore del ritardo in ordinata è lievemente aumentato quindi sebbene abbiamo impostato un valore di diffrazioni piuttosto basso l'influenza sui risultati è stata apprezzabile. Ora lanciamo la seconda simulazione attivando lo scattering (disabilitando le diffrazioni) sia dal lato ricevitore che trasmettitore. Il settaggio è il seguente:

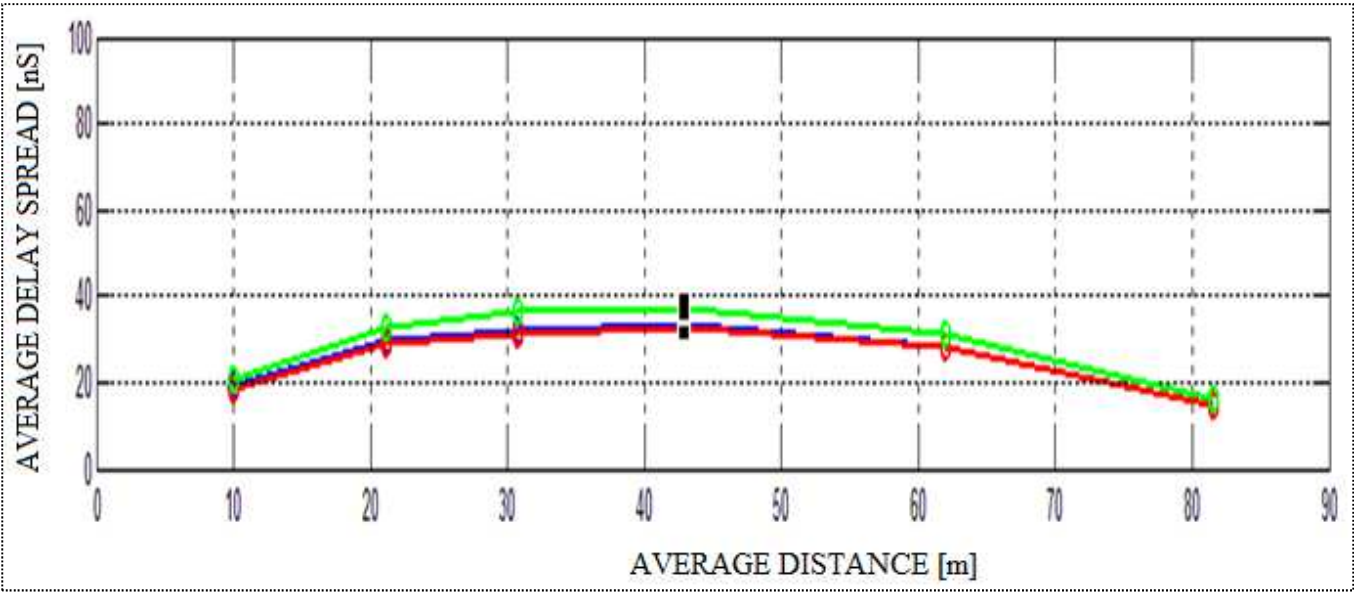
PARAMETRO	VALORE
ENABLE SCAT_TX	1
ENABLE SCAT_RX	1
N_MAX_INTERACTIONS	1
N_MAX_REFL	1
N_MAX_DIFF	0
N_MAX_REFL_WITH_SCAT	0
N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	0
N_MAX_REFL_AND_DIFF	0

N_MAX_TRANSM	10
---------------------	-----------

Ottenendo quanto segue:



In tale caso l'influenza dello scattering non è stato incisivo in termini di ritardo di propagazione. Anzi possiamo confermare osservandone il valore che addirittura sia diminuito. Una diminuzione talmente lieve da non essere presa neppure in considerazione. Per confronto diretto riportiamo nel prossimo grafico la sovrapposizione delle tre precedenti curve ricavate.



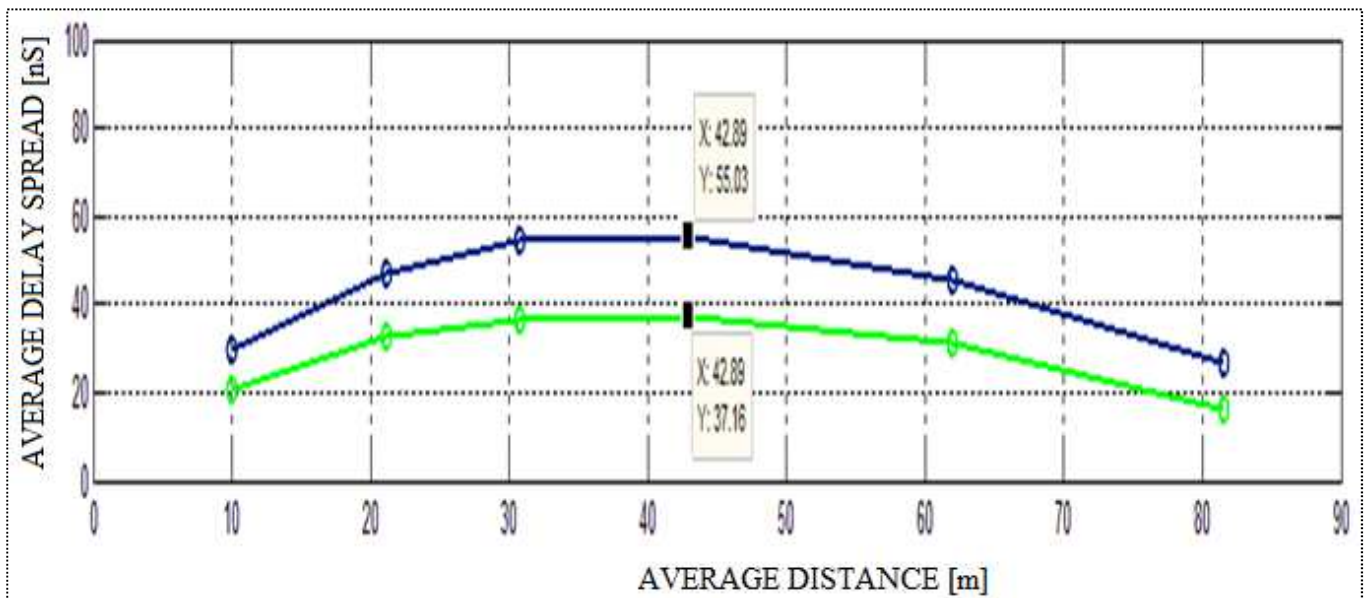
Giunti a questo punto dati i risultati precedenti, decidiamo di aumentare il numero di interazioni e riflessioni lasciando impostato il numero massimo di diffrazioni pari a uno, disabilitando però momentaneamente lo scattering. Vogliamo graficare fin da subito la sovrapposizione fra la curva, già mostrata e ottenuta con diffrazioni, riflessioni ed interazioni pari ad uno e la nuova curva. In sostanza non facciamo altro che raddoppiare il valore di "N_MAX_INTERACTION" e "N_MAX_REFL". Il tutto è riassunto nelle rispettive tabelle di settaggio riportate in seguito:

PARAMETRO	VALORE
ENABLE SCAT_TX	0
ENABLE SCAT_RX	0
N_MAX_INTERACTIONS	1
N_MAX_REFL	1
N_MAX_DIFF	1
N_MAX_REFL_WITH_SCAT	0
N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	0
N_MAX_REFL_AND_DIFF	0
N_MAX_TRANSM	10

+

PARAMETRO	VALORE
ENABLE SCAT_TX	0
ENABLE SCAT_RX	0
N_MAX_INTERACTIONS	2
N_MAX_REFL	2
N_MAX_DIFF	1
N_MAX_REFL_WITH_SCAT	0
N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	0
N_MAX_REFL_AND_DIFF	0
N_MAX_TRANSM	10

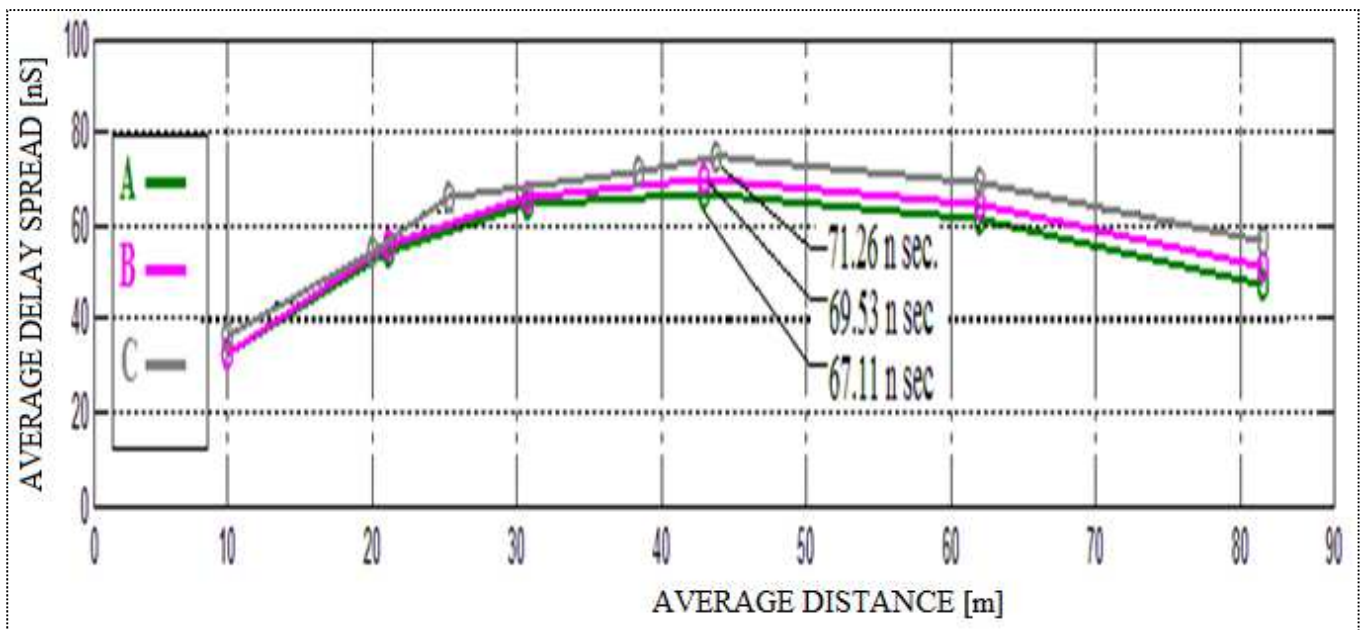
Osserviamo i risultati di questa nuova sovrapposizione:



Come ci si aspettava, con nostro piacere, notiamo che il valore di Delay Spread ha subito un notevole aumento, corrispondente a circa un 20% in più. A dire il vero un incremento di questo tipo dettato dall'aumento di riflessioni era atteso, in quanto per ambienti così grandi e scarsi di elementi d'arredo, l'incidenza maggiore sul ritardo è dovuta proprio dalle riflessioni. Intuendo approssimativamente il comportamento del nostro mezzo trasmissivo abbiamo deciso di aumentare a piccoli step il numero di riflessioni, diffrazioni, riflessioni da scattering, diffrazioni da scattering e la combinazione di riflessioni/diffrazioni da scattering. A dire il vero, nello svolgimento di questi step, si è arrivati ad un punto in cui abbiamo deciso di tenere fisso i valori delle diffrazioni e dei parametri legati allo scattering, aumentando solo quelli delle riflessioni e interazioni. Prima di proseguire con la carrellata di nuovi grafici, vogliamo aprire una piccola parentesi sul tempo di computazione nell'eseguire tutti i calcoli necessari per l'ottenimento dei risultati e sull'impiego delle risorse. Inizialmente, per lo svolgimento delle prime simulazioni essendo dotato di piattaforma matlab, ho usato un portatile personale di ultima generazione, attendendo un tempo computazionale medio di alcune decine di minuti. Con l'incremento dei vari parametri (in particolar modo dello scattering) si è verificata una dilatazione esponenziale dei tempi di calcolo e quindi ho avuto la necessità di appoggiarmi ad una "macchina server" più performante (oserei dire dedicata per questo tipo di operazioni), presso il centro universitario. In alcuni casi(quei più spinti) si sono verificati tempi massimi di diverse decine di ore. Chiusa la parentesi, ora in modo schematico vogliamo riportare in una tabella riassuntiva tutti i parametri di settaggio dei vari step compiuti e poi la sovrapposizioni di tutti le curve ottenute.

PARAMETER NAME SIMULATION	ENABLE SCAT_TX	ENABLE SCAT_RX	N_MAX_INTERACTIONS	N_MAX_REFL	N_MAX_DIFF	N_MAX_REFL_WITH_SCAT	N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	N_MAX_REFL_AND_DIFF	N_MAX_TRANSM
A	1	1	4	4	1	3	1	3	10
B	1	1	5	5	2	3	1	3	10
C	1	1	6	6	3	3	1	3	10

Sovrapposizione degli andamenti:



La prima cosa che si nota è che l'aumento del numero di riflessioni ed interazioni non apporta un incremento uniforme del Delay Spread per tutte le distanze; inoltre è facile notare che la maggior parte dell'incremento è concentrato per valori di distanza medio alta. Quest'ultimo effetto è giustificato dal fatto che più il raggio si trova lontano e maggiore sarà il ritardo di propagazione. Aspetto da non sottovalutare, che ricordiamo, è che la

simulazione di tipo “C” incomincia ad avere tempi d’esecuzione di alcune decine di ore e quindi non conviene proseguire alzando ulteriormente il numero delle interazioni, riflessioni e scattering.

Arrivati a questo punto, dopo vari confronti e riflessioni si è deciso di entrare più a fondo in merito alle caratteristiche dei materiali di costruzione. In riferimento a questo aspetto abbiamo raccolto maggiori informazioni interfacciandoci con i ricercatori dell’università di Bochum che ci hanno trasmesso delle immagini inerenti alla pavimentazione e al sotto tetto della sala.

Vediamo cosa contiene il sotto tetto della sala fiere di Berlino:



Vediamo come è formato il pavimento della sala, tipo “galleggiante armato”:



Dettaglio pavimento sala tipo “galleggiante armato”:



Analizzando le immagini, ci accorgiamo fin da subito che essendoci molti elementi metallici, quali impianti meccanici nel sotto tetto e barre di ferro zincato per l'irrigidimento della pavimentazione galleggiante, siamo obbligati ad apportare modifiche alle caratteristiche elettromagnetiche di pavimento e soffitto del nostro ambiente simulativo, in modo che quest'ultimi siano più riflettenti rispetto ai muri perimetrali supposti in cemento armato.

Nel frattempo decidiamo di implementare anche tutto lo scenario urbano circostante alla sala fiere di Berlino, andando a descrivere col solito metodo delle coordinate gli edifici che circondano il nostro fabbricato, proprio come avevamo già premesso nel capitolo precedente riportandone la ricostruzione grafica 3D.

Come sempre però vogliamo anche capire l'incidenza di ogni singolo contributo sulla base delle suddette decisione prese; quindi procediamo ancora per step, andando a svolgere per prima la simulazione aggiungendo solo lo scenario circostante al fabbricato della sala fiere di Berlino.

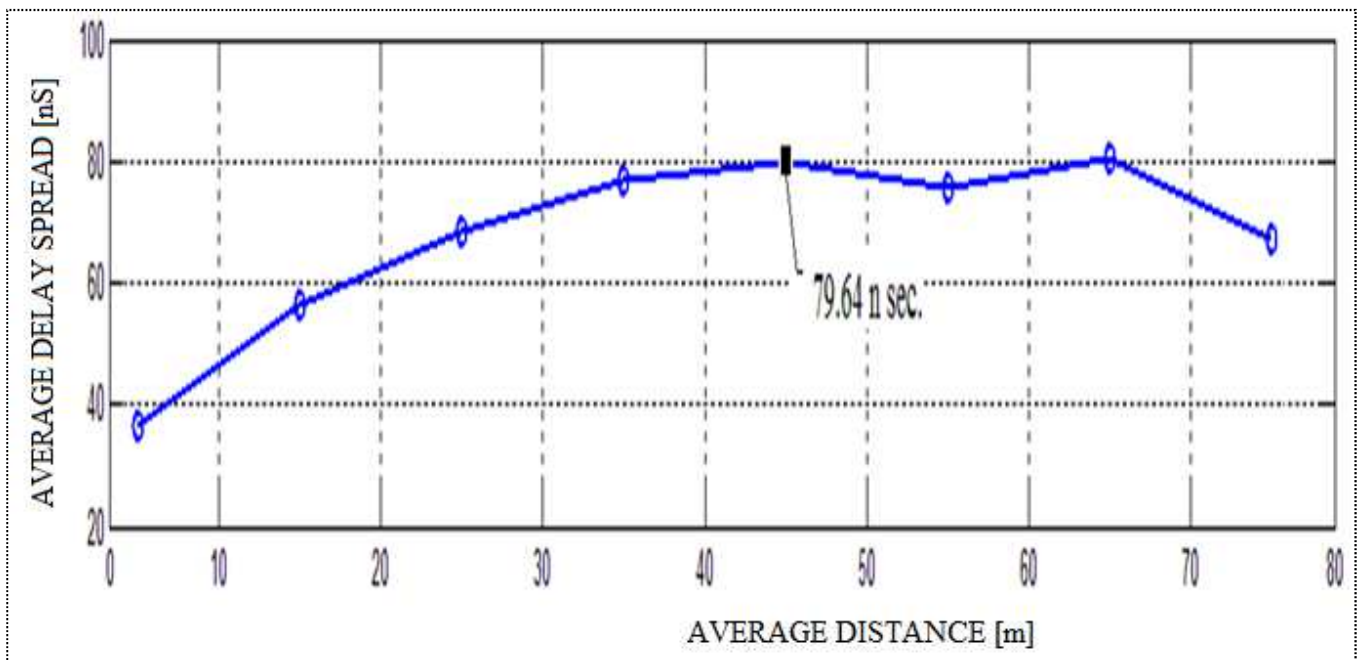
Ci ritroveremo con una tabelle descrittiva dei materiali come la seguente:

Riferimento / Parametro	ϵ	σ	Spessore [m]	Bilatera	attraversabile
Parete perimetrale	5	2e-2	0.45	True	True
Pareti edifici esterni	5	0.30	0.45	True	True
Rivestimento palco	4,4	1e-3	0.45	True	True
Palco interno	5	2e-2	0	False	False
Finestra	2,4	1e-12	0.45	True	True
Porta aperta	1	0	0.45	True	True
Porta chiusa	5	0	0.45	True	True

Invece per quello che riguarda il settaggio dei parametri della simulazione decidiamo di fare un piccolo passo indietro e ritornare su un numero di riflessioni e interazioni pari a quattro e limitare scattering e diffrazioni, come riassunto nella tabella riportata:

<div style="text-align: right;">PARAMETER ▶</div> <div style="text-align: left;">NAME SIMULATION ▼</div>	ENABLE SCAT_TX	ENABLE SCAT_RX	N_MAX_INTERACTIONS	N_MAX_REFL	N_MAX_DIFF	N_MAX_REFL_WITH_SCAT	N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	N_MAX_REFL_AND_DIFF	N_MAX_TRANSM
Sala fiere in contesto urbano	1	1	4	4	1	1	1	3	10

Vediamone gli effetti:



Superando ogni nostra previsione avendo addirittura diminuito notevolmente le riflessioni, il Delay Spread è aumentato seppur di pochi nano secondi rispetto all'ultima casistica riportata. Quindi l'inserimento di nuovi edifici si è rivelata un'ottima scelta.

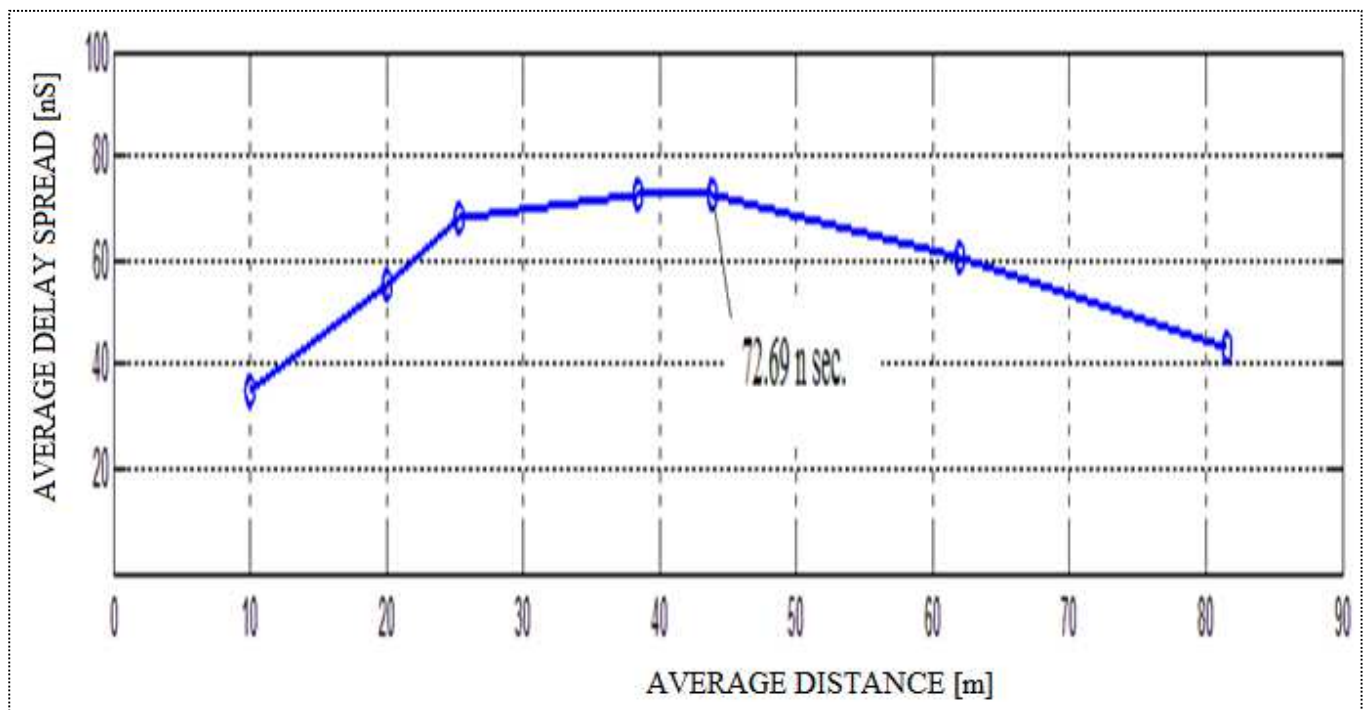
Ora invece andiamo a notare solo l'effetto che si avrebbe modificando la sola conducibilità di soffitto e pavimento della sala, portandoli ad avere caratteristiche di conducibilità molto elevate e di conseguenza un comportamento altamente riflettente.

Riferimento / Parametro	ε	σ	Spessore [m]	Bilatera	attraversabile
Parete perimetrale	5	2e-2	0.45	True	True
Pavimento	5	1*10^6	0.45	True	True
Soffitto	5	1*10^6	0.45	True	True
Rivestimento palco	4,4	1e-3	0.45	True	True
Palco interno	5	2e-2	0	False	False
Finestra	2,4	1e-12	0.45	True	True
Porta aperta	1	0	0.45	True	True
Porta chiusa	5	0	0.45	True	True

Manteniamo per avere le stesse condizioni di paragone il solito settaggio precedente:

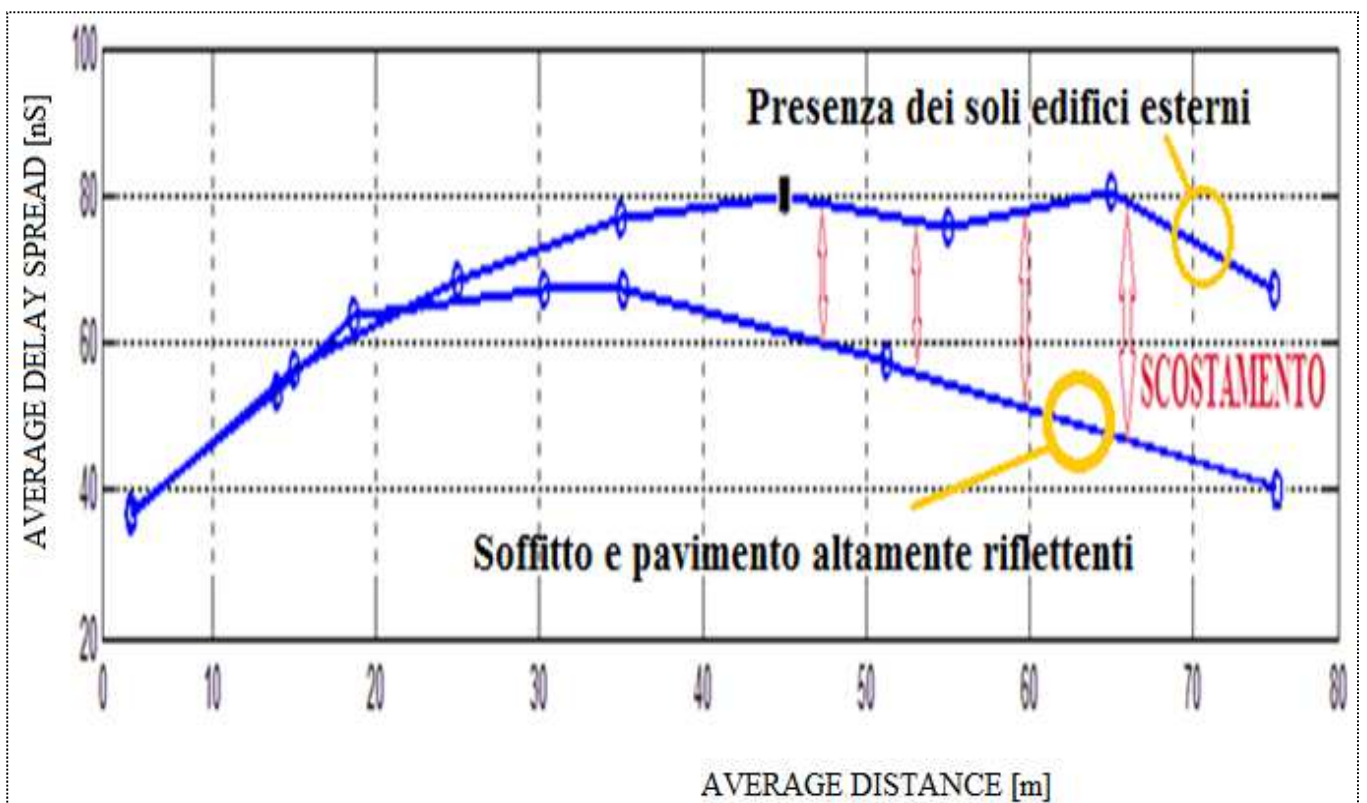
NAME SIMULATION	PARAMETER	ENABLE SCAT_TX	ENABLE SCAT_RX	N_MAX_INTERACTIONS	N_MAX_REFL	N_MAX_DIFF	N_MAX_REFL_WITH_SCAT	N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	N_MAX_REFL_AND_DIFF	N_MAX_TRANSM
Sala fiere in contesto urbano		1	1	4	4	1	1	1	3	10

Risultati attesi:



Anche questa volta i risultati attesi sono molto soddisfacenti e il livello del Delay spread a fronte sempre di un minor numero di riflessioni ed interazioni si è innalzato rispetto alla casistica denominata "C".

Inoltre si può notare che pur avendo raggiunto in entrambi i casi circa gli stessi valori di DS (72.69 n sec vs. i 79.64 n sec) gli andamenti delle curve sono differenti. La differenza si delinea notevolmente per valori di distanza alti, c'è uno scostamento notevole evidenziato nel prossimo confronto. Tale scostamento e' del tutto comprensibile in quanto nell'ambiente simulativo più ampio i raggi riflettono nelle pareti degli edifici esterni subiscono un ritardo maggiore.



Giunti a questo punto non ci rimane altro che unire i due effetti.

Quindi ci ritroveremo ad avere la tabella riassuntiva dei materiali così impostata:

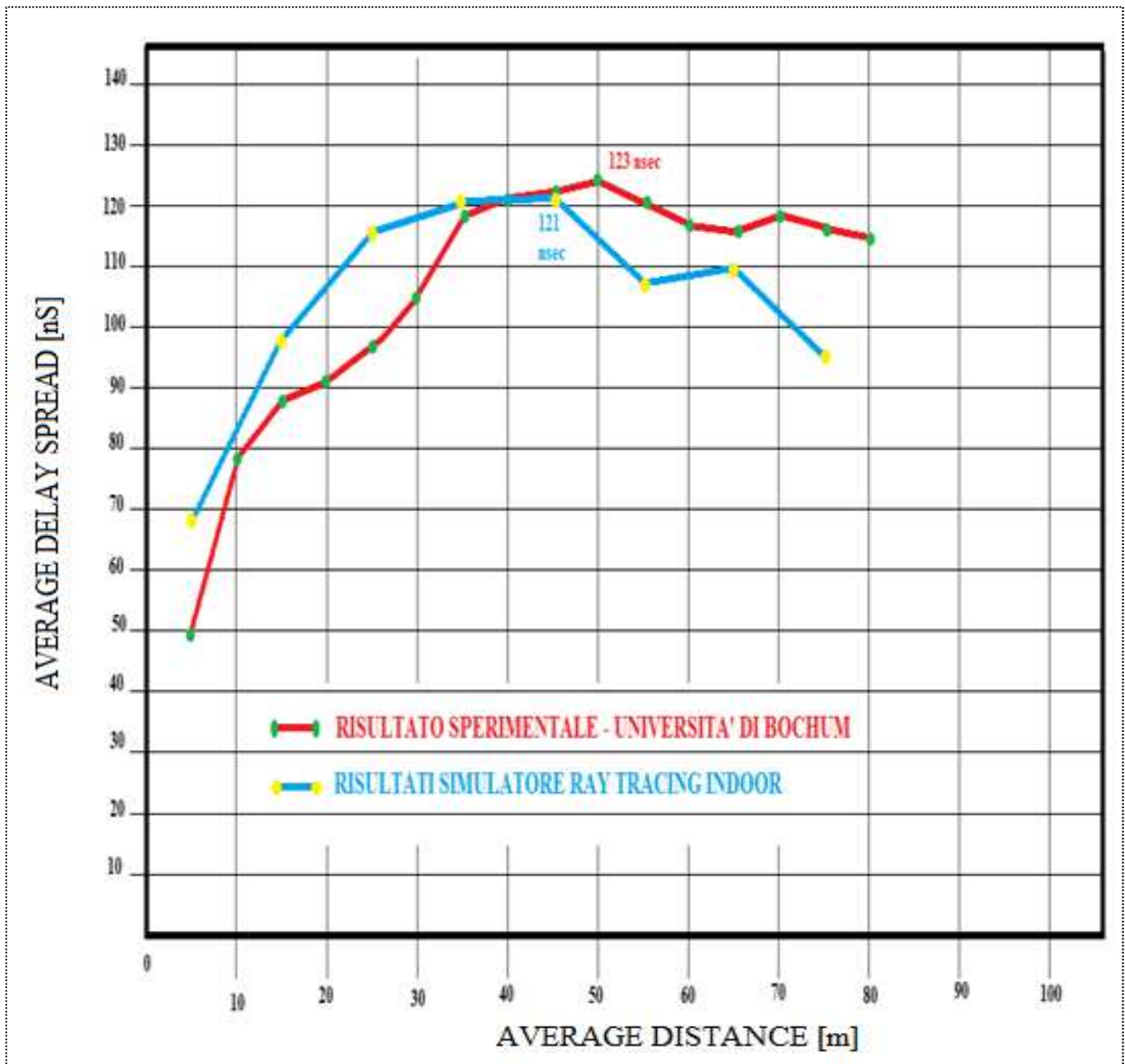
Riferimento / Parametro	ϵ	σ	Spessore [m]	Bilatera	attraversabile
Parete perimetrale	5	2e-2	0.45	True	True
Pavimento	5	1*10^6	0.45	True	True
Soffitto	5	1*10^6	0.45	True	True
Pareti edifici esterni	5	0.40	0.45	True	True
Rivestimento palco	4,4	1e-3	0.45	True	True
Palco interno	5	2e-2	0	False	False
Finestra	2,4	1e-12	0.45	True	True
Porta aperta	1	0	0.45	True	True
Porta chiusa	5	0	0.45	True	True

E quella dei parametri simulativi:

PARAMETER ▶	ENABLE SCAT_TX	ENABLE SCAT_RX	N_MAX_INTERACTIONS	N_MAX_REFL	N_MAX_DIFF	N_MAX_REFL_WITH_SCAT	N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	N_MAX_REFL_AND_DIFF	N_MAX_TRANSM
NAME SIMULATION ▼									
Sala fiere in contesto urbano	1	1	6	6	1	1	1	3	10

I valori in valore rosso indicano i parametri che sono stati variati per la simulazione finale. Tali settaggi e valori nominali sono stati raggiunti dopo aver eseguito decine di simulazioni.

Il risultato finale è il seguente:



Al termine di questa esperienza si è capito che, le simulazioni numeriche possono apportare un notevole risparmio in termini di tempo e di impiego di risorse. Non sempre però è facile intuire fin da subito tutti i settaggi necessari da compiere per avvicinarsi ai risultati reali di rilievi effettuati su campo.

Possiamo affermare che una campagna di misure reale sia quasi sempre necessaria specialmente quando il modello deve raggiungere un buon grado di precisione, in tal modo una volta affinato il simulatore numerico si possono facilmente apportare grandi modifiche con il minimo sforzo.

-TERZO CAPITOLO-

CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE SU UN MODELLO IN SCALA

*3.1) Le misure di scattering da parete di un modello in scala
a 60 GHz*

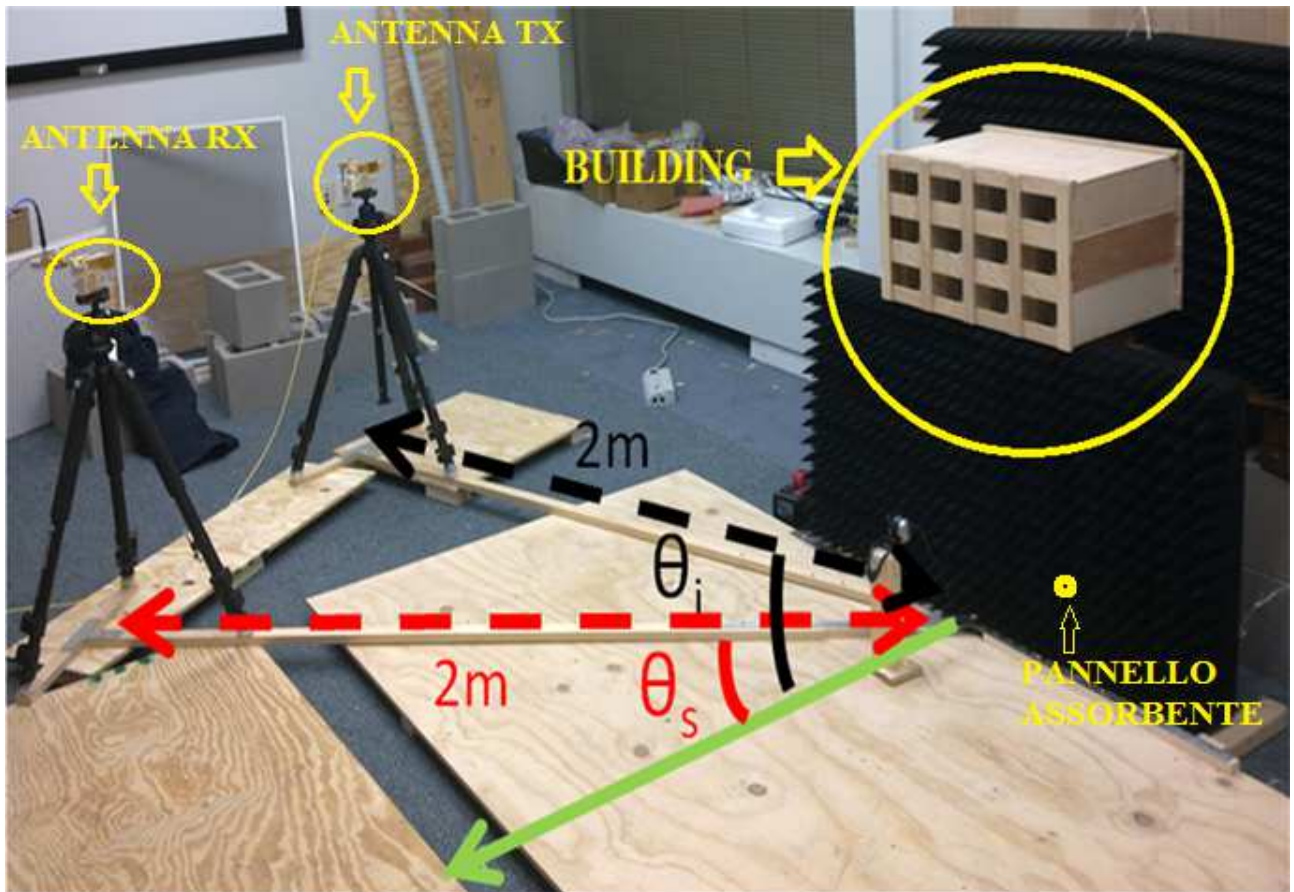
3.2) Confronto misure Ray Tracing.

3.1 Le misure di scattering da parete di un modello in scala a 60 GHz

L'obiettivo in questo ultimo capitolo sarà quello di analizzare e simulare il modello di scattering per sistemi radio, in ambiente urbano, alle frequenze di lavoro dell'ordine del GHz, sperimentato e rilevato direttamente dai ricercatori dell'istituto politecnico della New York University [3]. In particolar modo si cercherà di capire come in tali ambienti i multipath incidano sul profilo di potenza totale e sull'angolo d'arrivo per collegamenti di tipo MIMO (Multi Input Multi Output). Quello che si dovrà andare a delineare, dato che il frutto di ricerche del passato non hanno fornito risposte dettagliate, sarà su come incidono i raggi che entrano all'interno dell'edificio sulla dispersione totale rispetto a quelli che rimangono localizzati sulla superficie esterna, oltretutto è sconosciuto l'effetto della presenza o meno degli elementi d'arredo.

La particolarità di questa sperimentazione è basata sul fatto che il ciclo di misure verrà svolto in ambiente indoor su un modello in scala 1:30 di un edificio urbano lavorando ad una frequenza di lavoro di 60 GHz. I materiali che compongono il modello, principalmente legno multistrato, sono stati scelti per avere caratteristiche di riflettività e potenza, simili ai comuni materiali di costruzione in edilizia sottoposti ad una frequenza di lavoro di 2 GHz. Da questa premessa si percepisce la comodità nell'effettuare misure su scala ridotta con attrezzature e condizioni sicuramente più accessibili e meglio manovrabili rispetto alla realtà urbana. L'aspetto chiave consiste nell'aver la facoltà di poter apportare col minimo sforzo pratico, modifiche strutturali all'edificio, come togliere la facciata principale ove incidono i raggi trasmissivi o togliere l'intero arredamento interno. E' chiaro che, rapportandoci ad un modello in scala e che l'ambiente circostante non potrà mai essere come quello reale di un edificio vero e proprio, ci potrà essere una percentuale d'errore che comunque non andrà ad incidere in modo significativo sulla percezione qualitativa dell'oggetto di questa campagna di misure.

Per farci un'idea di come è composto l'ambiente di lavoro osserviamo l'immagine seguente:



E a seguito vediamo una sezione orizzontale dell'edificio completo d'arredo:



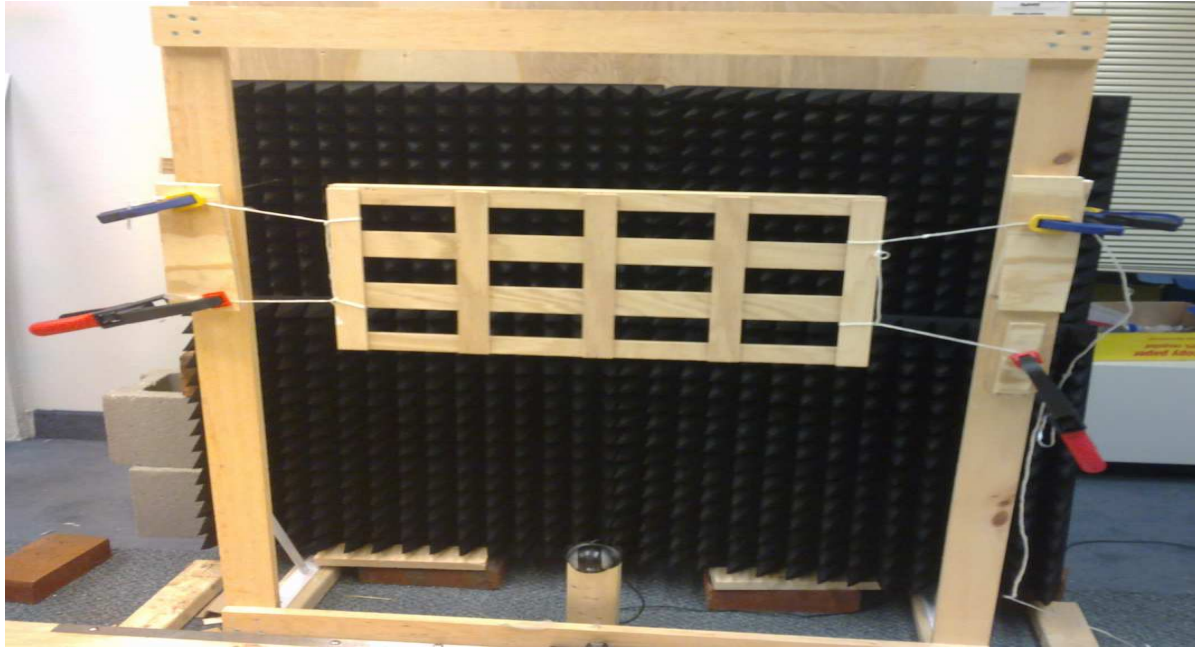
Il modello riproduce un edificio di tre piani con otto camere (ogni camera in scala ridotta misura 127 mm x 139,7 millimetri, nella realtà invece 3,8 m x 4,2 m) e un corridoio per piano. Le pareti interne ed esterne, i pavimenti ed i soffitti sono stati realizzati in multistrato di acero con spessore di 6,35 millimetri. E' stata misurata la riflettività di questo compensato a 60 GHz per un'onda TE all'incidenza normale fornendo un valore di -9,4 dB, che è molto simile ai -8,2 dB di riflettività per una lastra di calcestruzzo spessa 178 mm e ai -6.6 dB di riflettività di una lastra in cartongesso spessa 12,7 millimetri alla frequenza di 2 GHz. Come si intuisce tutte le stanze sono uffici e per rappresentarne gli arredi si sono utilizzati blocchetti di legno e pezzi di metallo modellati dando a loro una forma molto semplice e squadrata in modo da poter facilitare un eventuale descrizione in coordinate all'interno di database di input per simulatori ray-tracing o FDTD (Finite-difference time-domain). Il dettaglio dell'arredo è: 1) tre sedie di metallo, 2) uno scaffale, 3) una tavola di legno circolare di legno, 4) un tavolo rettangolare in legno, e 5) due lampadari di metallo il tutto collocato a mezzo di uno stampo per garantire un posizionamento molto accurato e preciso. Infine l'ultimo pezzo removibile che compone il nostro edificio è la facciata verticale compreso di finestre (fori vuoti sulla struttura di legno). Ogni finestra in scala misura 101.6 mm x 48.5 mm mentre le misure reali sono 3,05 m x 1,46 m. Il modello della facciata verticale è riportato nell'immagine seguente:



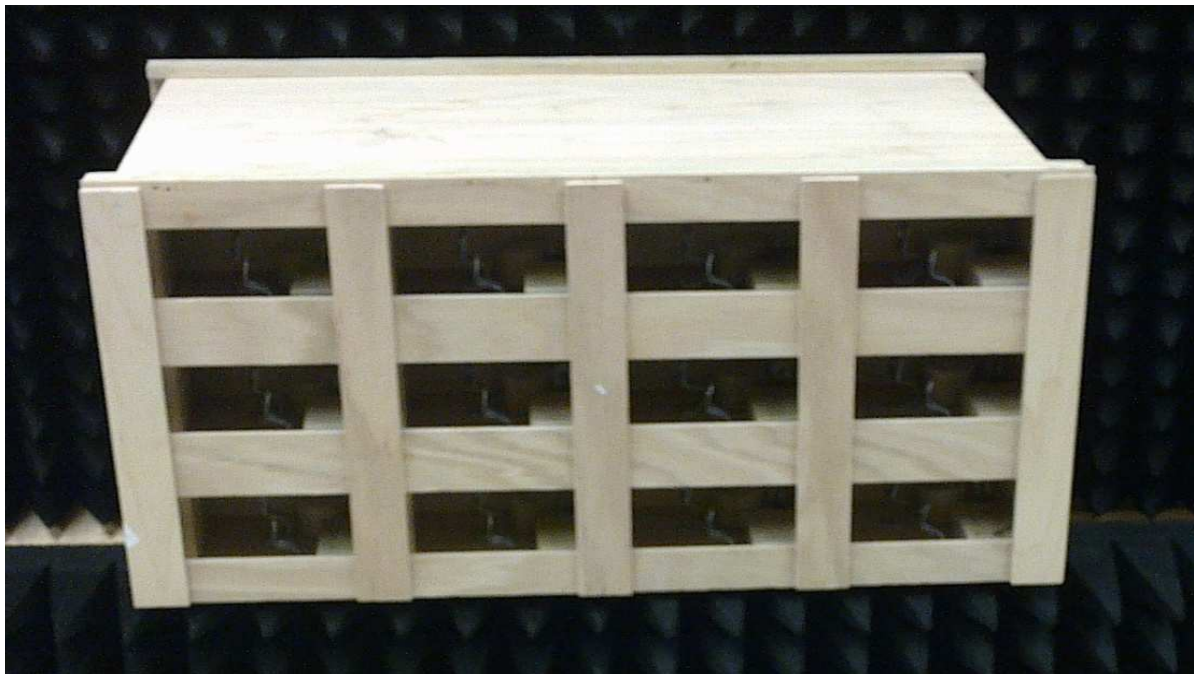
Tornando ad analizzare la prima figura emergono dei particolari sulla strumentazione utilizzata per eseguire l'intera campagna di misure. Innanzitutto si possono osservare due bracci posizionati alla distanza di due metri dall'edificio e aventi lo stesso punto focale. Sull'estremità di ogni braccio è collocata una "Horn" antenna (tutte le specifiche sono in appendice C), mentre la base appoggia su una pedana in legno mobile ed incernierata (a mezzo di un'asta rigida) sul punto focale della base che sostiene il modello dell'edificio. Avere un punto incernierato fa sì di garantire un preciso spostamento semicircolare e di conseguenza avere precisi angoli di incidenza (θ_i) e angoli di scattering (θ_s), che discuteremo in seguito. Le misure avranno lo scopo di rilevare lo scattering variando opportunamente gli angoli θ_i e θ_s . Si è curato anche l'aspetto d'abbattimento di eventuali multipath derivanti sia dalla presenza delle strutture atte al sostegno della strumentazione e sia dai muri della stanza presenti dietro al modello. Si nota infatti nella prima immagine un pannello assorbitore di colore nero (con potere di assorbimento sulle microonde a 60GHz di oltre 50 dB) posto alle spalle e alla base del modello. A verifica dell'efficacia di questa soluzione adottata sono state effettuate alcune trasmissioni senza il modello dell'edificio ottenendo dei valori di potenza ricevuta attenuati di circa 40dB e con la presenza del rumore di fondo di circa -80dB.

I risultati che si andranno ad estrapolare dalla campagna di misure consistono nell' "Average Scattering Gain". Questo "guadagno di scatter" viene calcolato come la differenza in dBm fra la potenza ricevuta in spazio libero (alla distanza di 4 metri dal modello) e la potenza di scatter. Come riportato nella prossima figura gli andamenti dei risultati graficati fanno riferimento ad un settaggio con trasmissioni aventi angolo di incidenza θ_i fisso a 10° e ricezioni con angolo di scatter θ_s variabile, ricompreso in un range di valori che va da 4° a 80° con step di incremento d'angolo pari a 2° per volta. Si parla di valori medi in quanto con il settaggio appena descritto si sono svolte più simulazioni, ovvero spostando verticalmente ed orizzontalmente il modello e poi calcolandone la media dei valori raccolti. Come si vede nell'ultima figura del paragrafo sono state riportate e messe a confronto più curve come era nell'intento di procedere. Le sperimentazioni si contraddistinguono nel seguente modo:

- **In colore rosso e con linea tratteggiata è riportata la curva dei risultati per la sola superficie verticale dell'edificio come in figura sottostante:**



- In colore nero con linea tratteggiata e punti squadri è riportata la curva dei risultati per l'intero edificio completo di facciata verticale e arredamento interno come in figura sottostante:



- In colore verde con linea continua e punti triangolari è riportata la curva dei risultati per l'intero edificio, completo di facciata verticale ma senza arredamento interno.

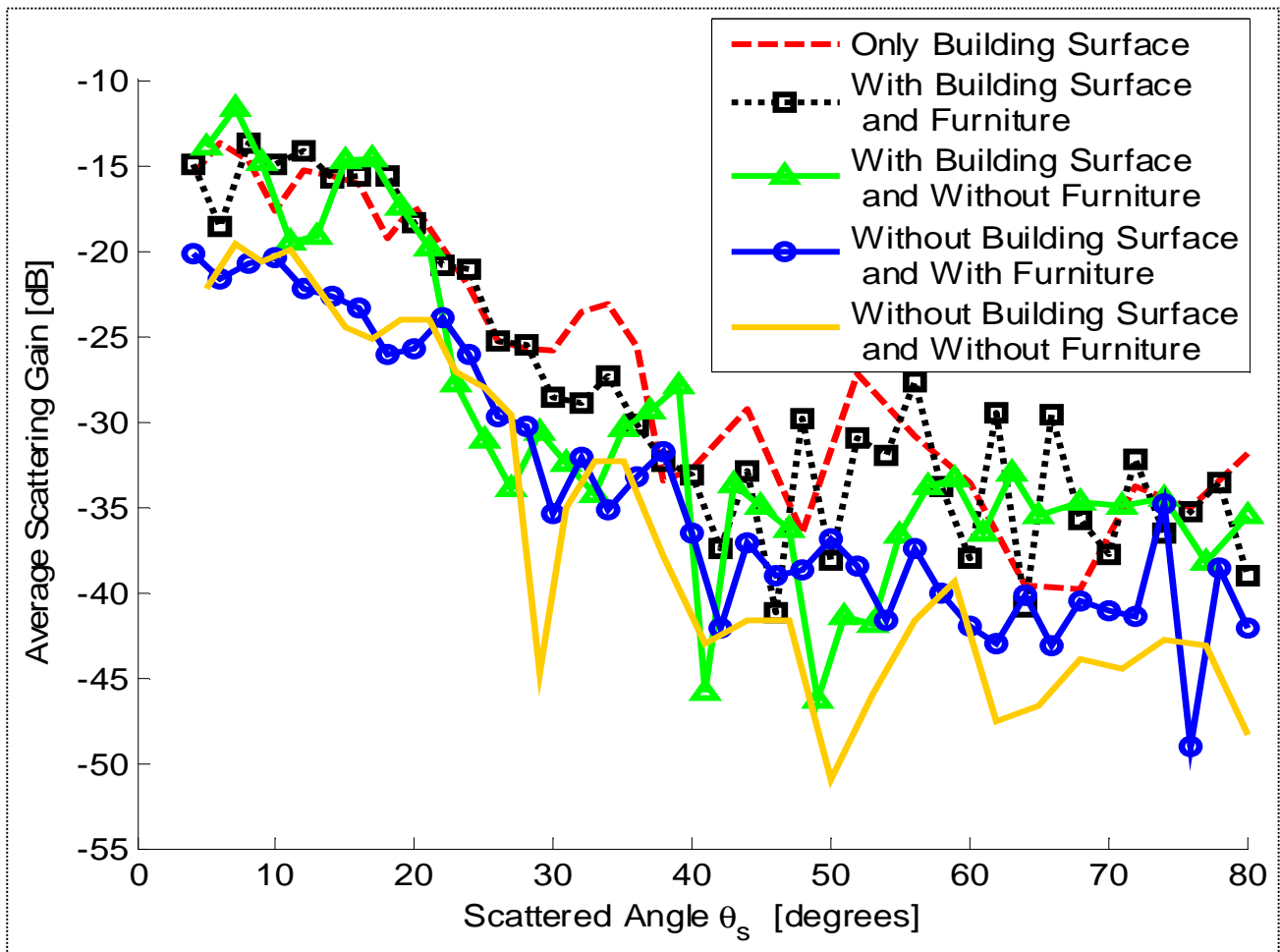
- In colore blu con linea continua e punti tondi è riportata la curva dei risultati per l'intero edificio senza facciata verticale ma con arredamento interno, come in figura sottostante:



- In fine in colore giallo con linea continua è riportata la curva dei risultati per l'intero edificio senza facciata verticale e senza arredamento interno.

Analizzando la sovrapposizione delle curve ci si accorge subito che la curva rossa, quindi ottenuta con la sola superficie verticale dell'edificio, non si discosta (specialmente per valori d'angolo speculare $\theta_i = \theta_s$) dalla curva di colore nero (edificio + parete verticale + arredamento) e blu (solo edificio + arredamento) se non minimamente di appena 5 dB da quest'ultima. A fronte di questi risultati è evidente che il contributo prevalente di dispersione è dominato dall'incidenza dei raggi sulla parete verticale. Proseguendo, si trovano piccole differenze, di circa un paio di dB, se mettiamo a confronto la curva di colore nero (edificio + parete verticale + arredamento) con quella di colore verde (edificio + parete verticale - arredamento) ovvero con la presenza o meno dell'arredamento interno, ma solo per gradi di scattering $\theta_s > 20^\circ$. A conferma di quest'ultima osservazione la stessa differenza la ritroviamo se mettiamo a confronto le curva di colore giallo e blu ove è stata

tolta in entrambi i casi la superficie verticale e in un solo caso l'arredamento interno, anche qui solo per gradi di scattering $\theta_s > 25^\circ$.



Infine come ultimo aspetto ma non mostrato graficamente, si fa presente che il segnale ricevuto cross-polarizzato è di oltre 20 dB inferiore al segnale ricevuto co-polarizzato sempre nell'intorno dell'angolo speculare. Tale risultato è ben maggiore rispetto al valore dichiarato nell'articolo pubblicato "Polarimetric properties of diffuse scattering from building walls: Experimental parameterization of a ray-tracing model," dall'Ing. Vittorio Degli Esposti nonché relatore di questo trattato) che è di circa 4 dB. La spiegazione plausibile è che il modello presenta una superficie del tutto omogenea dell'articolo in questione, inoltre in quest'ultimo era incluso anche l'effetto di accoppiamento in polarizzazione dovuto ad antenne con un isolamento in polarizzazione molto minore.

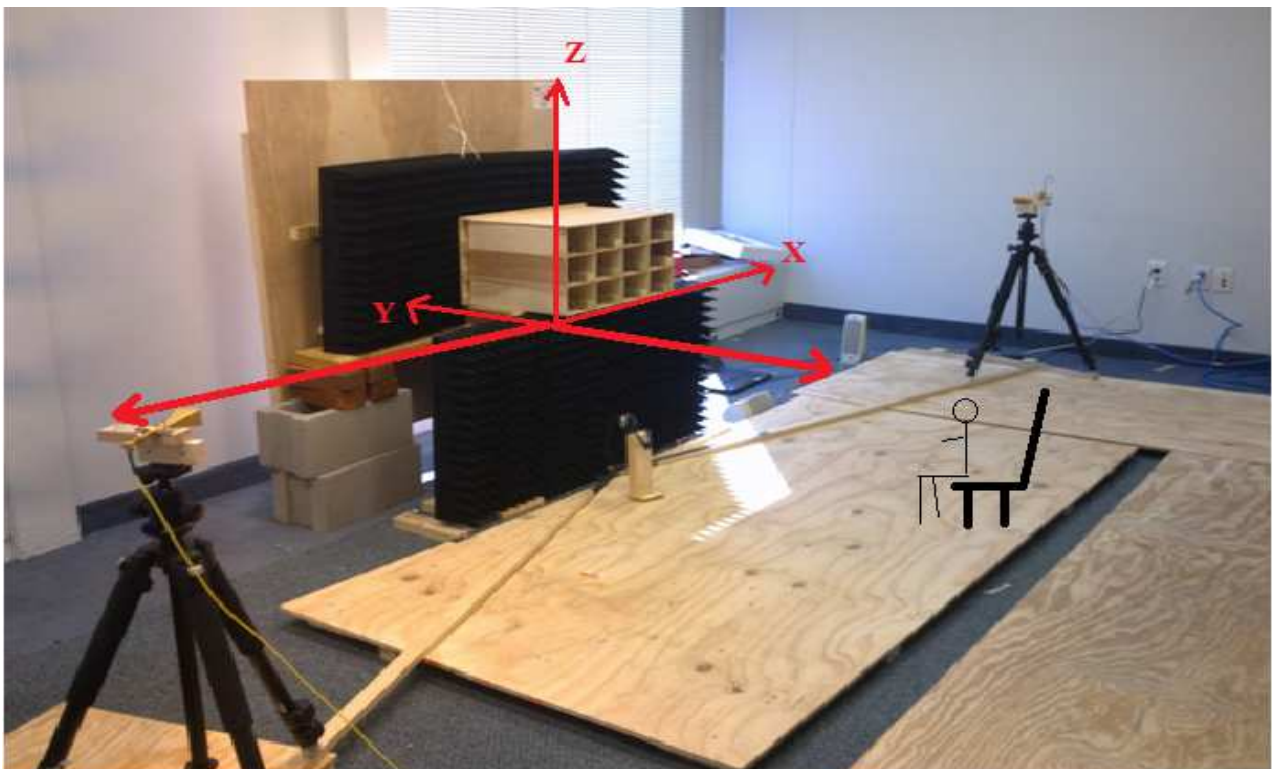
Riportata tutta la carrellata dei risultati sperimentali con le relative osservazioni del caso, procederemo nel prossimo paragrafo ad impostare in

modo adeguato il simulatore Ray Tracing per ottenere gli stessi risultati e andamenti.

3.2 Confronto Ray Tracing vs. misure

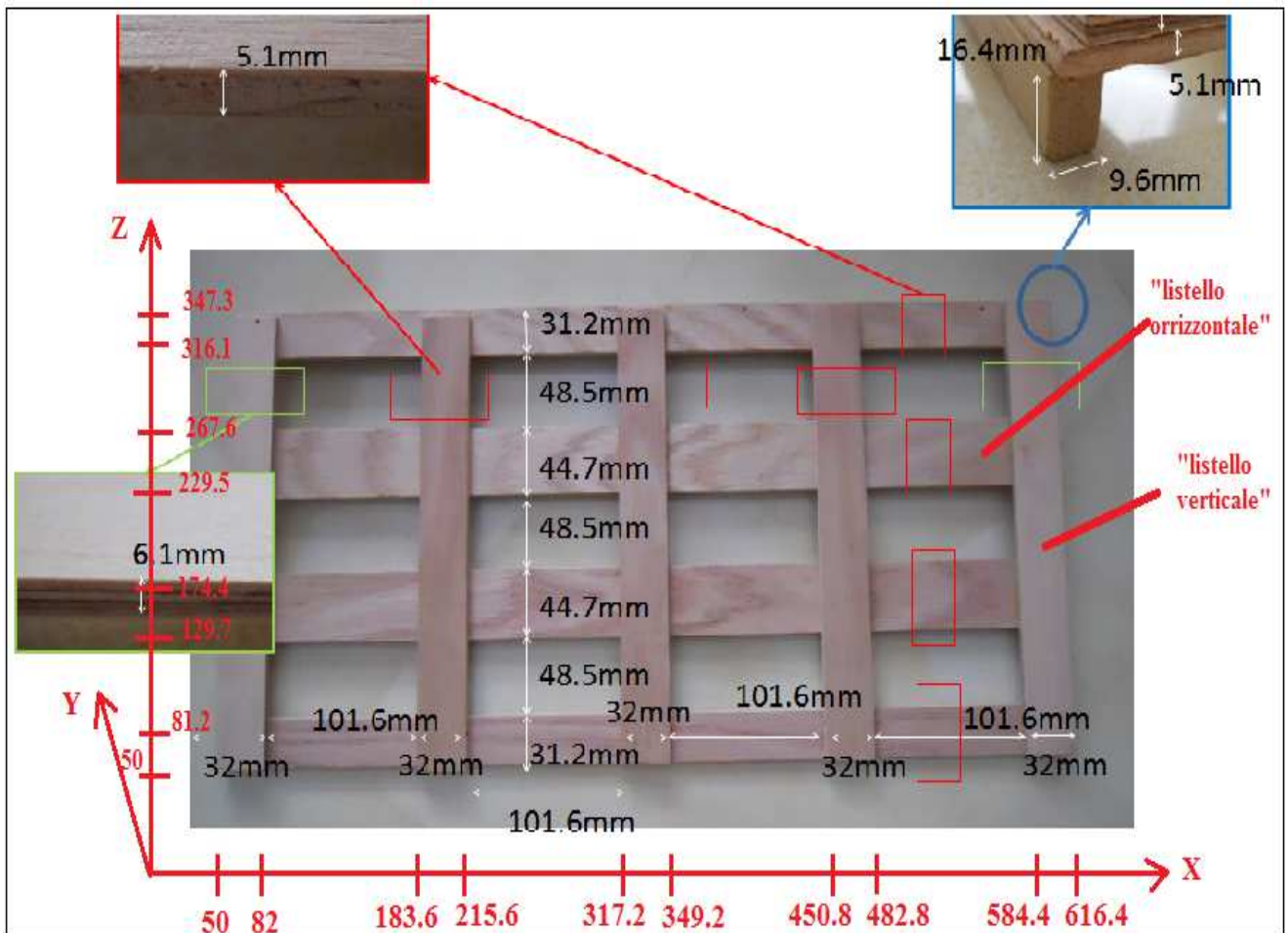
In questo ultimo paragrafo mostreremo e detaggeremo i vari step che ci hanno permesso di raggiungere risultati soddisfacenti ed eguagliabili a quelli sperimentali effettuati dai ricercatori dell'istituto politecnico della New York University illustrati nei paragrafi precedenti. Il nostro strumento simulativo Ray Tracing di riferimento è sempre il "3D scat" eseguibile su piattaforma Matlab. Nello specifico, il nostro lavoro si concentrerà sull'ottenere i risultati di potenza ricevuta per confrontarli con la casistica sperimentale che ha portato all'ottenimento dell'andamento della curva rossa, ovvero riferita alla sola superficie verticale.

Ben si sa, come avevamo anticipato già nel secondo capitolo, che quando si opera con un simulatore di tipo "ray tracing" la prima cosa fondamentale da porre è il sistema di riferimento cartesiano assoluto all'interno dell'ambiente dove si andrà ad effettuare la simulazione. Per comprendere meglio dove abbiamo posto il sistema di riferimento guardiamo l'immagine riportata:

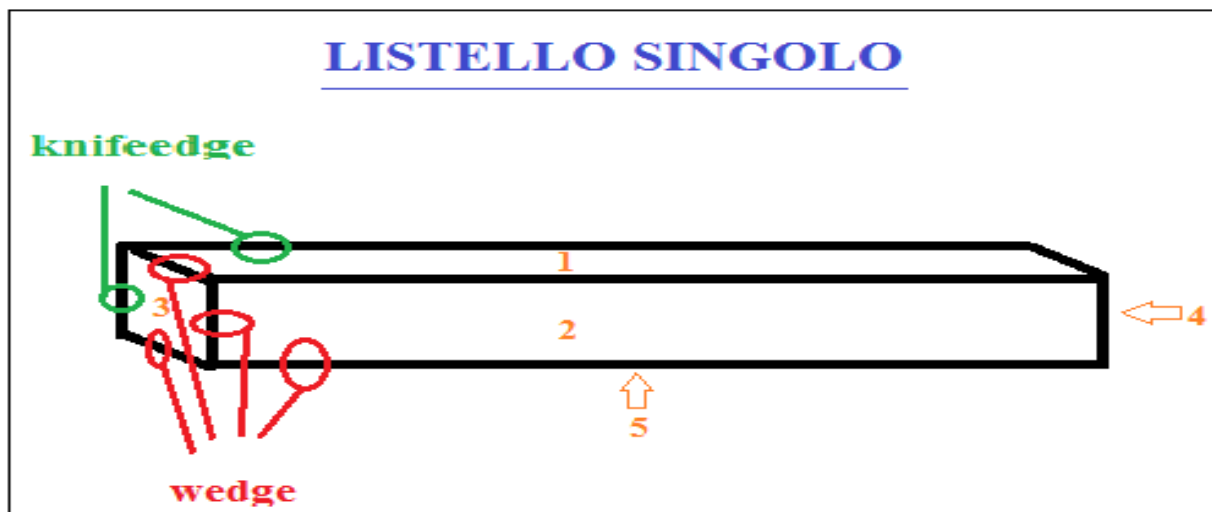


Avendo a disposizione tutte le dimensioni della facciata principale possiamo formare il file .data contenente tutte le coordinate necessarie al simulatore

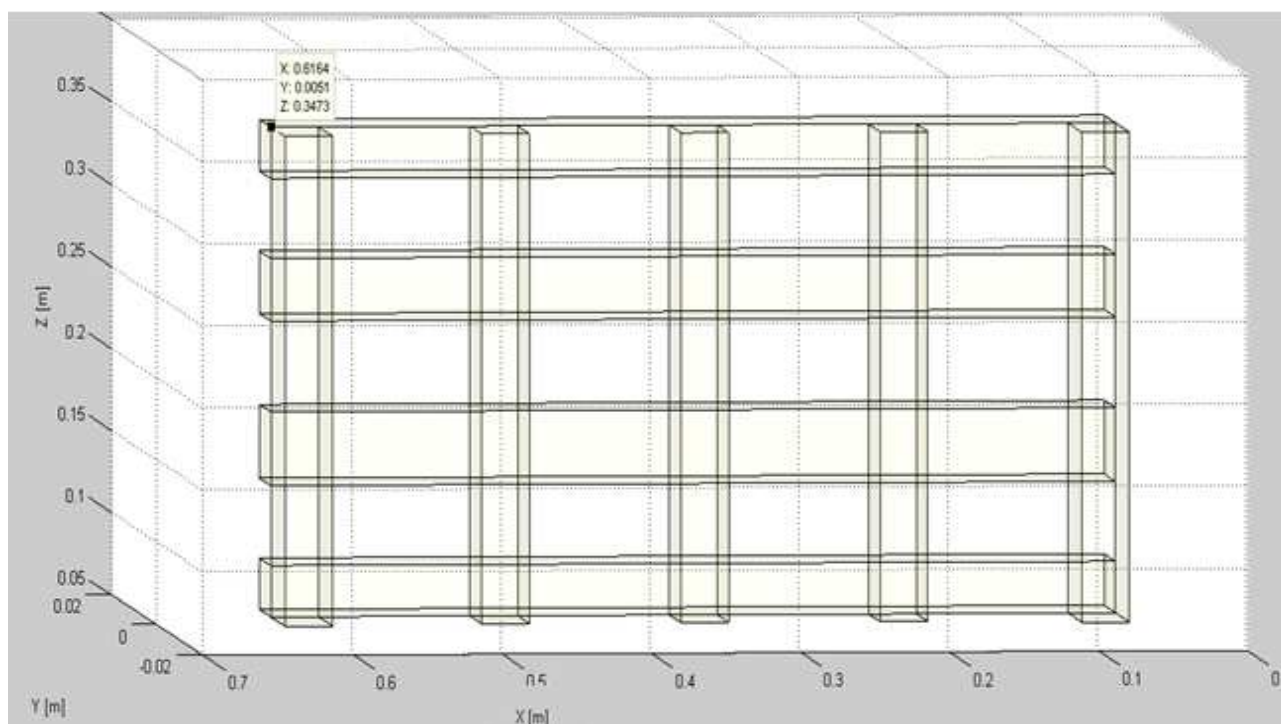
per riprodurre l'oggetto della nostra simulazione . Riportiamo l'immagine della facciata verticale interamente quotata e con qualche dettaglio su come è strutturata:



Dato che non ci troviamo di fronte alla semplice e solita descrizione di muri di edifici, bisogna fare attenzioni su come vengono descritti gli spigoli e bordi del nostro modello. Si è deciso di scomporre ogni singolo elemento del modello, come se fosse composto da tanti listelli rettangolari di legno e ogni listello fosse composto da 5 pareti che si incontrano e formano bordi ovvero dei "wedge" o semplici "knifeedge" ovvero uno spigolo che non è formato dall'unione di due facciate. E' bene differenziare il "knifeedge" dal "wedge" perché sotto il punto di vista della diffrazione del raggio il comportamento è differente. La figura a seguire ci può aiutare nel comprendere meglio questa differenza:



Il listello singolo non è formato come si può pensare dall'unione di sei facciate ma solo da 5 e sono sufficienti a mettere in evidenza tutti i punti che possono generare diffrazione. Ora per renderci conto del laborioso lavoro in appendice C1 riportiamo parte del file pannello.data che è stato utilizzato per le simulazioni. Anche in questo caso grazie alla funzione implementata nel simulatore riusciamo, prelevando dal file pannello.data ogni singola coordinata, a riprodurre in formato 3D il modello descritto:



Un aspetto a cui dobbiamo dedicare particolare attenzione ora è il materiale. Trovandoci a lavorare ad una frequenza di lavoro pari a 60 GHz dobbiamo

tenere conto che la costante dielettrica del materiale non è più completamente reale ma presenterà anche una parte immaginaria e di conseguenza varierà anche la conducibilità del materiale andando ad incidere sulle dispersioni. La formula a cui fare riferimento è la seguente:

- $$\epsilon_c = \epsilon_r - j \frac{\sigma}{2 \pi f \epsilon_0} .$$

Nel caso di legno multistrato in essenza d'acero i valori di permittività complessa dichiarati sono i seguenti:

- $$\epsilon_c = 2,8 - j 0,0384 .$$

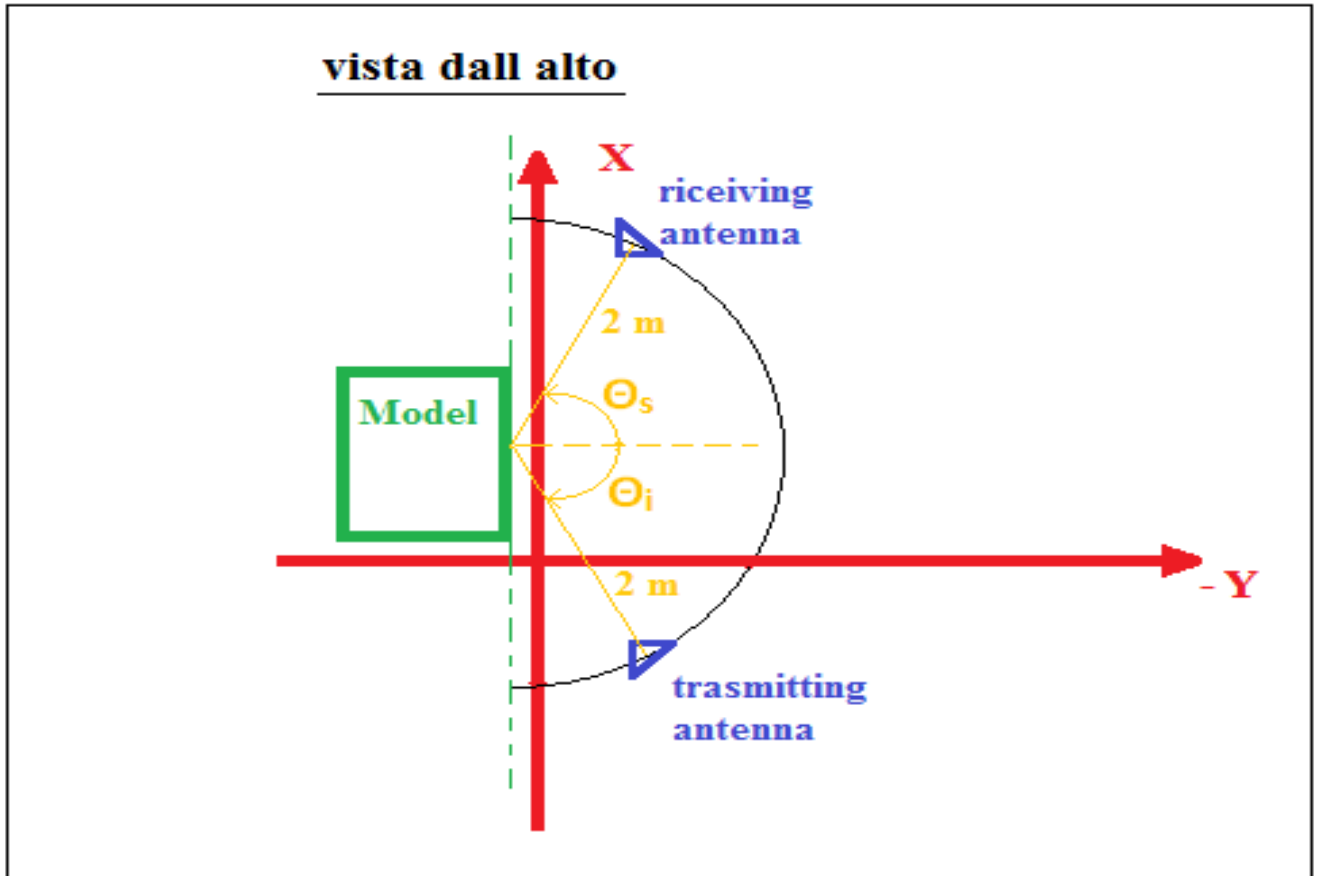
Conoscendo il valore di $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ (costante dielettrica del vuoto) e della frequenza "f" di lavoro pari a 60 GHz ci possiamo ricavare il valore della conducibilità:

- $$\sigma = 0,128 .$$

Chiarito quest'ultimo aspetto possiamo compilare il file "materiali.list" ove oltre alle caratteristiche elettromagnetiche dei materiali, sono specificati anche altri parametri quali spessore, potere di attraversabilità da parte del raggio e se si tratta di una parete bilaterale o meno (ricordo che "bilatera" significa che la parete riflette da ambo le facce). Il file è riportato in appendice C2.

Giunti a questo punto non ci rimane che settare i file del ricevitore e del trasmettitore. Come anticipato nel paragrafo precedente sappiamo già come si dovrà svolgere dinamicamente la simulazione, ovvero il trasmettitore manterrà una posizione fissa (angolo di incidenza θ_i costante), rivolto al punto focale che si trova al centro del modello, mentre il ricevitore varierà la propria

posizione (variando l'angolo θ_s di scatter) mantenendo il punto focale di ricezione sempre al centro del modello. A questo punto col solito sistema delle coordinate implementiamo all'interno dei relativi file ("rx_pannello.rx" e "tx_pannello.tx") tutte le posizioni che dovranno assumere gli apparati. Schematicamente il tutto riportato nell'immagine seguente:



Per quanto riguarda le caratteristiche di radiazione si crea l'apposito file "antenna.ant" nominato nel nostro caso *GoldHornAntenna.ant*. Grazie alla trasmissione da parte dei colleghi di New York della digitalizzazione di tutti i valori delle curve di radiazione, mostrate in appendice C, siamo riusciti a creare ad hoc l'antenna usata nel ciclo di sperimentazioni.



Così terminata la compilazione del database di input in modo accurato e dettagliato, con tutti i valori necessari, possiamo procedere a settare i comandi del simulatore che riportiamo in modo completo nell'appendice C3.

Nella tabella a seguire troviamo solo i parametri che hanno maggiore influenza nel nostro specifico caso. Fra cui quelli che andremo a metter mano

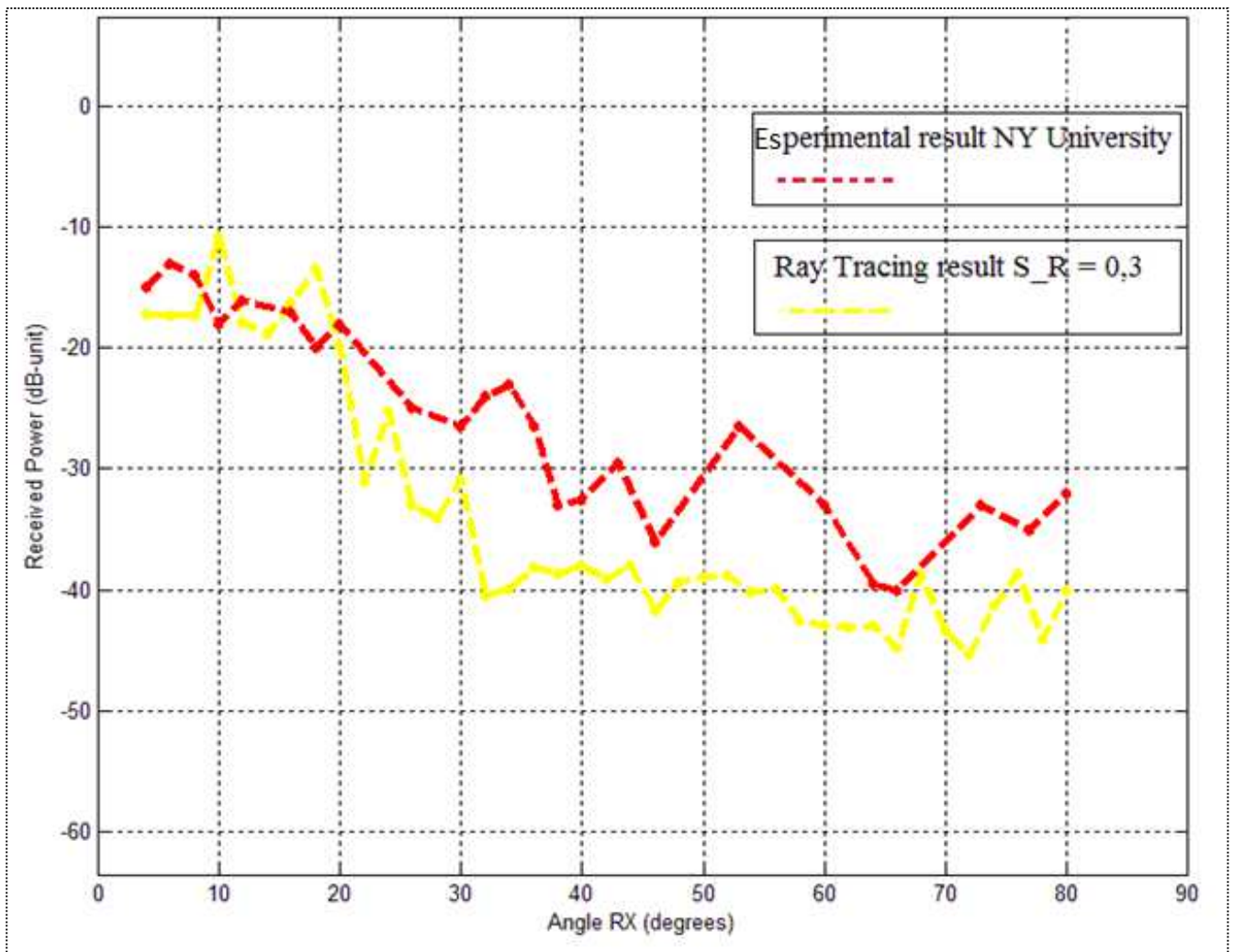
più frequentemente saranno: numero di riflessioni, rifrazioni, abilitazione dello scattering e il parametro “**S_R**”.

L’ “**S_R**” è il coefficiente di scattering relativo al “semi-spazio di riflessione”. L’ $(S_R)^2$ rappresenta cioè la percentuale della potenza che sarebbe riflessa in un RT “tradizionale” (senza scattering, cioè) che viene invece “diffusa” (cioè irradiata in direzioni diverse da quella speculare) nel semi-spazio individuato dal piano della parete e contenente i raggi incidente e riflesso. Tale potenza viene irradiata in accordo ad un “diagramma di scattering” specificato da SCAT_PATTERN_MODEL (per maggiori dettagli si veda [3]). Per pareti reali paiono ragionevoli valori nel range $0.3 \div 0.4$.

Riportiamo la tabella dei settaggi:

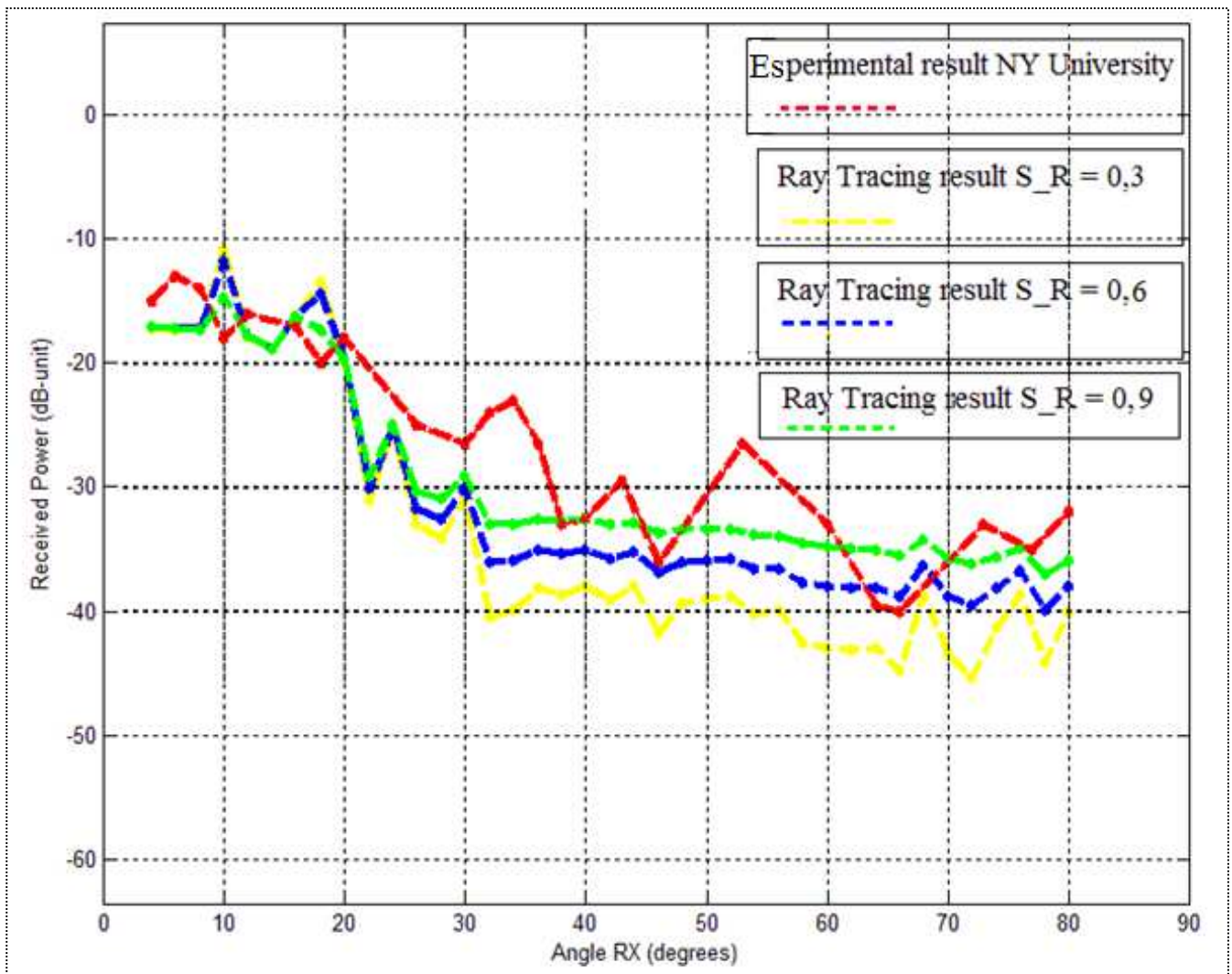
PARAMETER  NAME SIMULATION 	ENABLE SCAT_TX	ENABLE SCAT_RX	N_MAX_INTERACTIONS	N_MAX_REFL	N_MAX_DIFF	N_MAX_REFL_WITH_SCAT	N_MAX_DIFF_WITH_SCAT	N_MAX_REFL_AND_DIFF	N_MAX_TRANSM	S_R
Only Building Surface model	1	1	2	2	1	2	2	2	2	0.3

Grazie alle funzioni, implementate nel software, di filtraggio dei valori frutto dalla nostra simulazione e grazie alla riproduzione grafica della curva rossa sperimentale mostrata e discussa nel paragrafo precedente, possiamo mettere a confronto i due risultati ottenuti e mostrati nell’immagine successiva.



Chiariamo fin da subito che a meno di un certo quantitativo in dB, gli andamenti di “Gain Scattering” dei risultati sperimentali riportati nel primo paragrafo sono del tutto confrontabili con i valori di “Received Power” da noi sopra graficati.

Analizzando il confronto notiamo che appena ci allontaniamo dai valori speculari degli angoli di incidenza e di scatter vi è uno scostamento fra i due andamenti. Nei prossimi grafici vogliamo mettere a confronto più curve ottenute variando il parametro S_R per vedere se otteniamo dei miglioramenti.

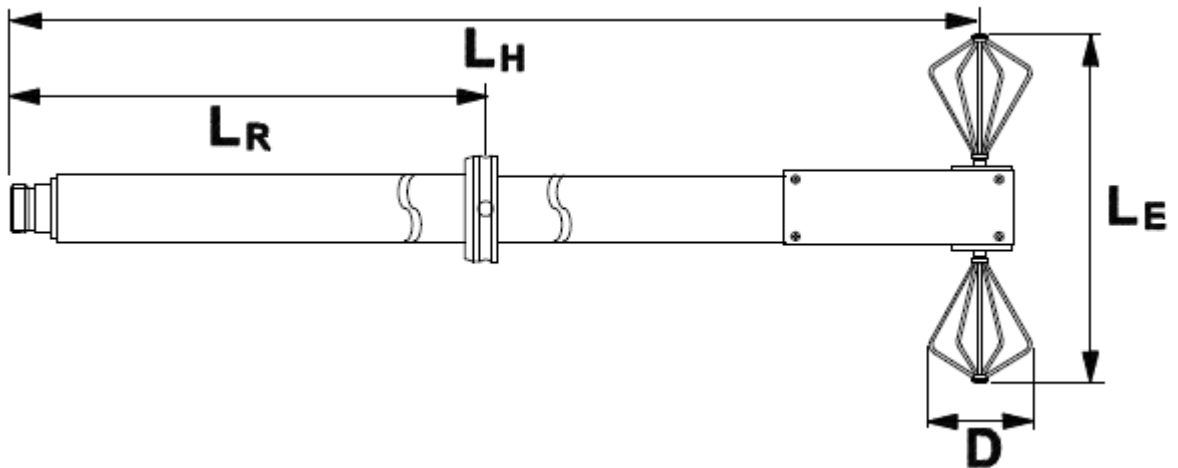


Quindi al variare di S_R i risultati sono nettamente migliorati.

In conclusione notiamo che aumentando il parametro S_R , incidente sullo scattering, l'influenza sui risultati è notevole. Inoltre valori di S_R pari a 0,9 sono stranamente insoliti, ovvero più alti rispetto alla media. Facendo un piccolo passo indietro, ricordo che per valori d'angolo di Rx superiori a 20° il contributo maggiore di potenza percepito al ricevitore è proprio fornito dalle componenti di scattering del raggio. Per dare una spiegazione a questo fatto dobbiamo senza alcun dubbio ricondurci alla frequenza di lavoro e di conseguenza alla lunghezza d'onda dell'onda incidente. Per valori di frequenza di lavoro nell'intorno del GHz (60GHz nel nostro caso) abbiamo dei valori di lunghezza d'onda dell'ordine del millimetro, perciò l'onda incidendo su una superficie di compensato d'acero che presenta una rugosità variabile nell'intorno del millimetro, influirà in particolar modo sull'effetto di scattering.

Appendice A

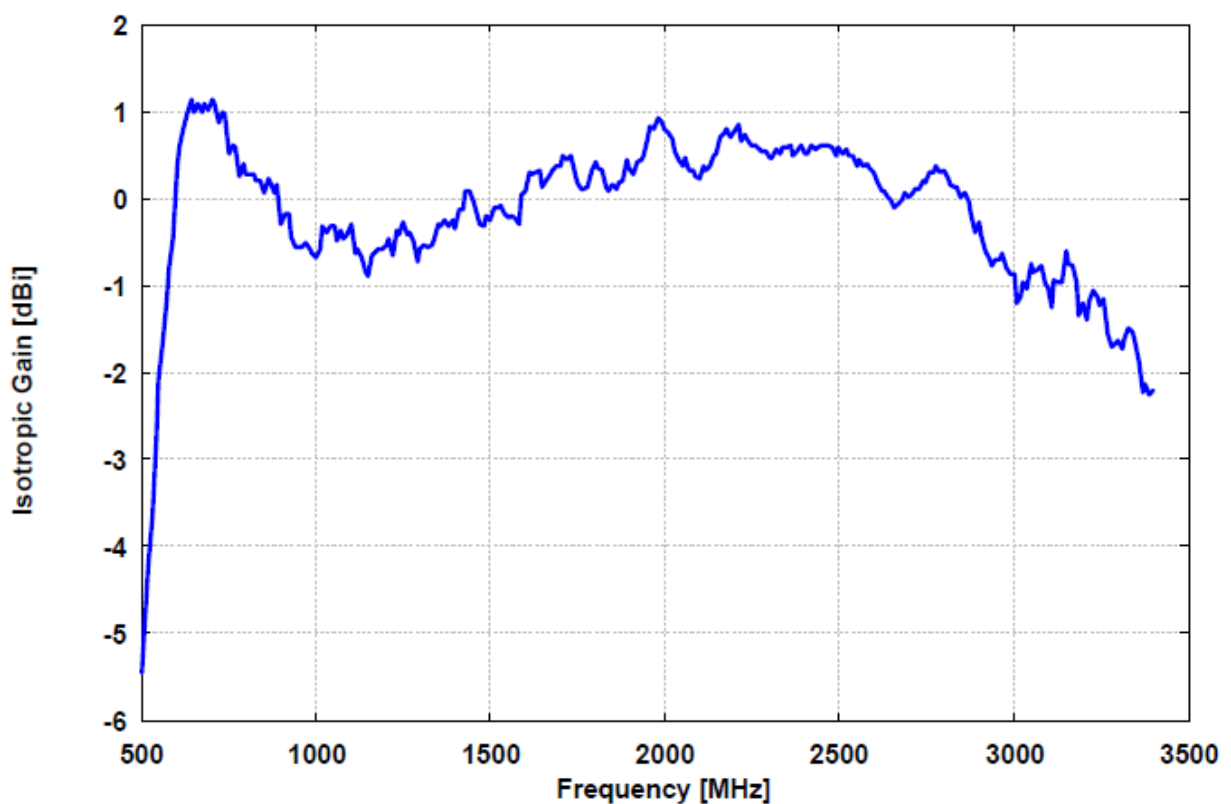
- Microwave Biconical Antenna SBA 9113

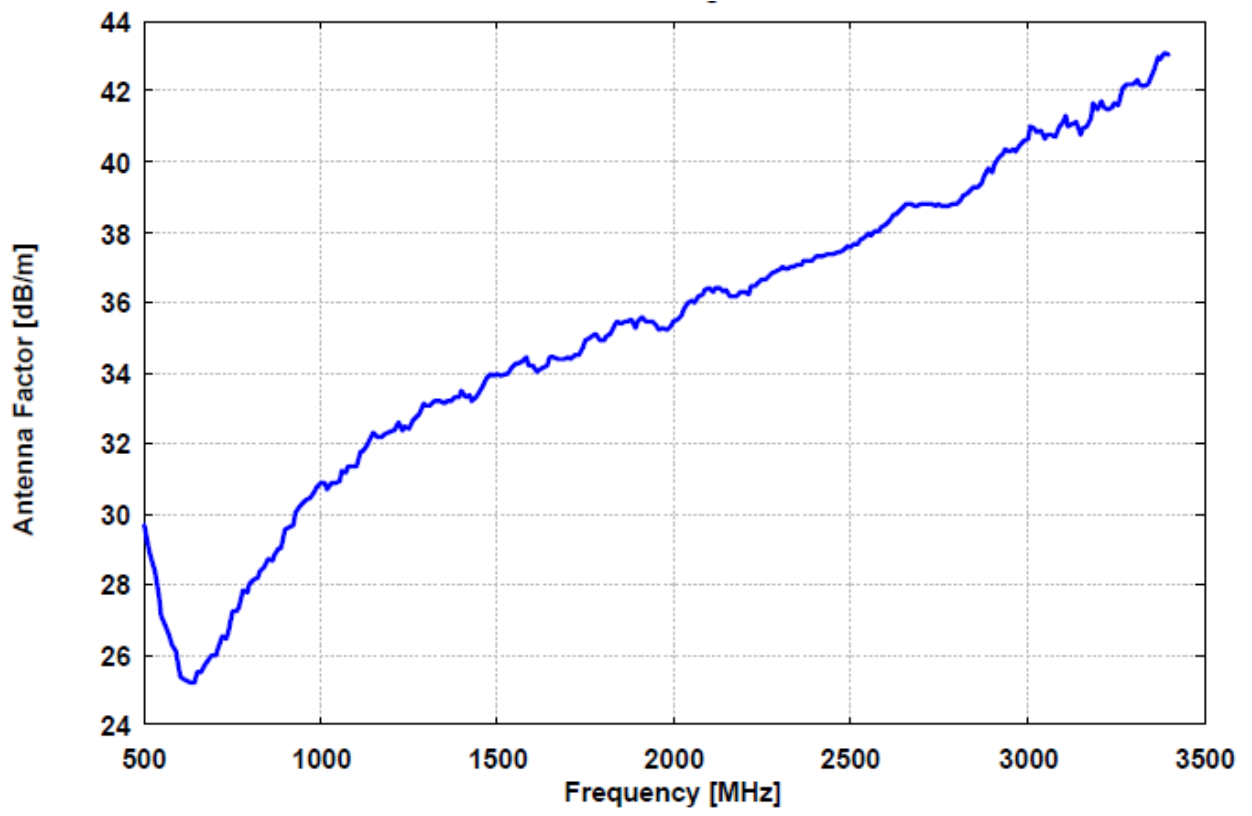


- Frequency range: 500 MHz - 3 GHz
- Connector: female 50 Ω N
- Mounting tube: $L_H=560\text{mm}$, $d=22\text{ mm}$
- Index Ring: $L_R=190\text{mm}$
- Element length total: $L_E = 140\text{ mm}$
- Element diameter: $D = 49\text{ mm}$
- Element fixture: M 4
- Isotropic gain: typ. $-1.5\dots+1.5\text{ dBi}$ (600 MHz - 3 GHz)
- Antenna Factor: 25 ... 41 dB/m
- SWR typ.: 1-4
- Balun (low loss): 1:1
- Inversion Symmetry: typ. $< 0.2\text{ dB}$ (600 MHz - 3 GHz)
- Input Power: 20 W Max.
- Half-Power Beamwidth (E-plane): $80^\circ - 50^\circ$
- Weight: 750 g

Descrizione

Questo tipo di prodotto nasce dall'esigenza della scarsa disponibilità di trovare antenne a larga banda omnidirezionali con frequenza di lavoro superiore al GHz. Il loro utilizzo è ben diverso dalle antenne a microonde più comunemente utilizzate in questo campo che presentano un modello molto concentrato su una specifica direzione(per esempio le Horn Antenna). Queste antenne prendono in maggiore considerazione l'ambiente circostante sperimentale. Le applicazioni tipiche di queste antenne biconiche sono per il rilievo di intensità di campo elettromagnetico(es ERP o EIRP) nei pressi delle stazioni base GSM e sostituiscono in questo merito le antenne a "dipolo a mezz'onda (o dipolo a $\lambda/2$)".





Appendice B

33 * numero totale di poligoni(es.muri)

*Le righe a seguire hanno il seguente format: Il primo numero è l'indice dei poligoni, i seguenti tre numeri sono le coordinate geometriche di un vertice fino a completare il numero di vertici, in fine troviamo il nome del poligono(importante per associare nel nomefile.list le caratteristiche elettromagnetiche del materiale di quel poligono).

1 10 10 26.50 10 219.76 26.50 10 219.76 10 10 10 10 parete
2 10 10 10 10 10 26.50 49.46 10 26.50 49.46 10 10 parete
3 49.46 10 10 49.46 10 26.50 49.46 219.76 26.50 49.46 219.76 10 parete
4 49.46 105.88 10 49.46 105.88 26.50 10 105.88 26.50 10 105.88 10 parete_condivisa
5 10 219.76 10 49.46 219.76 10 49.46 10 10 10 10 10 pavimento
6 10 10 26.50 10 219.76 26.50 49.46 219.76 26.50 49.46 10 26.50 soffitto
7 20.96 10 10 20.96 10 15.01 20.96 16.56 15.01 20.96 16.56 10 palco_interno
8 20.96 16.56 15.01 20.96 10 15.01 38.50 10 15.01 38.50 16.56 15.01 palco_interno
9 20.96 16.56 15.01 20.96 16.56 10 38.50 16.56 10 38.50 16.56 15.01 palco_interno
10 38.50 16.56 15.01 38.50 16.56 10 38.50 10 10 38.50 10 15.01 palco_interno
11 20.96 10 10 20.96 10 15.01 20.96 16.56 15.01 20.96 16.56 10 rivestimento_palco
12 20.96 16.56 15.01 20.96 10 15.01 38.50 10 15.01 38.50 16.56 15.01
rivestimento_palco
13 20.96 16.56 15.01 20.96 16.56 10 38.50 16.56 10 38.50 16.56 15.01
rivestimento_palco
14 38.50 16.56 15.01 38.50 16.56 10 38.50 10 10 38.50 10 15.01 rivestimento_palco
15 49.46 219.76 10 49.46 219.76 26.50 10 219.76 26.50 10 219.76 10 parete
16 10 151 0 10 151 10 -36 151 10 -36 151 0 parete_block_A
17 -36 151 0 -36 151 10 -36 94 10 -36 94 0 parete_block_A
18 -36 94 0 -36 94 10 10 94 10 10 94 0 parete_block_A
19 10 151 10 -36 151 10 -36 94 10 10 94 10 roof_block_A
20 62.5 102 0 49.46 102 0 49.46 102 10 62.5 102 10 parete_block_B
21 62.5 102 0 62.5 102 10 62.5 141 10 62.5 141 0 parete_block_B
22 62.5 141 0 62.5 141 10 49.46 141 10 49.46 141 0 parete_block_B
23 49.46 102 10 62.5 102 10 62.5 141 10 49.46 141 10 roof_block_B
24 46 10 10 46 -16 10 10 -18 10 10 10 10 roof_block_G
25 49.46 -12 0 49.46 -12 26.50 22 -24 26.50 22 -24 0 parete_block_D
26 22 -24 0 22 -24 26.50 49.46 -103 26.50 49.46 -103 0 parete_block_D
27 49.46 -103 0 49.46 -103 26.50 76.95 -91 26.50 76.95 -91 0 parete_block_D
28 76.95 -91 0 76.95 -91 26.50 49.46 -12 26.50 49.46 -12 0 parete_block_D
29 5 -3 0 5 -3 26.50 -78 -16 26.50 -78 -16 0 parete_block_E
30 -78 -16 0 -78 -16 26.50 -73 -37 26.50 -73 -37 0 parete_block_E
31 -73 -37 0 -73 -37 26.50 5 -24 26.50 5 -24 0 parete_block_E
32 5 -24 0 5 -24 26.50 5 -3 26.50 5 -3 0 parete_block_E

33 -10 209 0 -10 209 26.50 -209 272 26.50 -209 272 0 parete_block_F

65 * numero totale di spigoli

*Le righe a seguire hanno il seguente format: Il primo numero è l'indice degli spigoli, i seguenti tre numeri sono le coordinate geometriche di un vertice fino a completare il numero di vertici(max 2). Gli ultimi tre numeri partendo da sinistra rappresentano: i primi due i/il muri/o del poligono sopradescritto che formano lo spigolo, l'ultimo numero è l'angolo d'ampiezza(es 0° è semplicemente un bordo).

1 49.46 24.55 10 49.46 24.55 12.42 3 3 0
2 49.46 24.55 12.42 49.46 26.57 12.42 3 3 0
3 49.46 26.57 12.42 49.46 26.57 10 3 3 0
4 49.46 38.06 10 49.46 38.06 12.42 3 3 0
5 49.46 38.06 12.42 49.46 40.08 12.42 3 3 0
6 49.46 40.08 12.42 49.46 40.08 10 3 3 0
7 49.46 51.55 10 49.46 51.55 12.42 3 3 0
8 49.46 51.55 12.42 49.46 53.57 12.42 3 3 0
9 49.46 53.57 12.42 49.46 53.57 10 3 3 0
10 49.46 65.05 10 49.46 65.05 12.42 3 3 0
11 49.46 65.05 12.42 49.46 67.07 12.42 3 3 0
12 49.46 67.07 12.42 49.46 67.07 10 3 3 0
13 49.46 78.56 10 49.46 78.56 12.42 3 3 0
14 49.46 78.56 12.42 49.46 80.58 12.42 3 3 0
15 49.46 80.58 12.42 49.46 80.58 10 3 3 0
16 49.46 92.07 10 49.46 92.07 12.42 3 3 0
17 49.46 92.07 12.42 49.46 94.09 12.42 3 3 0
18 49.46 94.09 12.42 49.46 94.09 10 3 3 0
19 10 24.01 10 10 24.01 12.86 1 1 0
20 10 24.01 12.86 10 27.15 12.86 1 1 0
21 10 27.15 12.86 10 27.15 10 1 1 0
22 10 37.49 10 10 37.49 12.86 1 1 0
23 10 37.49 12.86 10 40.62 12.86 1 1 0
24 10 40.62 12.86 10 40.62 10 1 1 0
25 10 50.96 10 10 50.96 12.86 1 1 0
26 10 50.96 12.86 10 54.13 12.86 1 1 0
27 10 54.13 12.86 10 54.13 10 1 1 0
28 10 64.50 10 10 64.50 12.86 1 1 0
29 10 64.50 12.86 10 67.64 12.86 1 1 0
30 10 67.64 12.86 10 67.64 10 1 1 0
31 10 77.98 10 10 77.98 12.86 1 1 0
32 10 77.98 12.86 10 81.13 12.86 1 1 0
33 10 81.13 12.86 10 81.13 10 1 1 0
34 16.51 105.88 10 16.51 105.88 12 4 4 0
35 16.51 105.88 12 18.81 105.88 12 4 4 0
36 18.81 105.88 12 18.81 105.88 10 4 4 0
37 19.51 105.88 10 19.51 105.88 12 4 4 0

38 19.51 105.88 12 21.81 105.88 12 4 4 0
 39 21.81 105.88 12 21.81 105.88 10 4 4 0
 40 22.51 105.88 10 22.51 105.88 12 4 4 0
 41 22.51 105.88 12 24.81 105.88 12 4 4 0
 42 24.81 105.88 12 24.81 105.88 10 4 4 0
 43 25.51 105.88 10 25.51 105.88 12 4 4 0
 44 25.51 105.88 12 27.81 105.88 12 4 4 0
 45 27.81 105.88 12 27.81 105.88 10 4 4 0
 46 28.51 105.88 10 28.51 105.88 12 4 4 0
 47 28.51 105.88 12 30.81 105.88 12 4 4 0
 48 30.81 105.88 12 30.81 105.88 10 4 4 0
 49 31.51 105.88 10 31.51 105.88 12 4 4 0
 50 31.51 105.88 12 33.81 105.88 12 4 4 0
 51 33.81 105.88 12 33.81 105.88 10 4 4 0
 52 34.51 105.88 10 34.51 105.88 12 4 4 0
 53 34.51 105.88 12 36.81 105.88 12 4 4 0
 54 36.81 105.88 12 36.81 105.88 10 4 4 0
 55 37.51 105.88 10 37.51 105.88 12 4 4 0
 56 37.51 105.88 12 39.81 105.88 12 4 4 0
 57 39.81 105.88 12 39.81 105.88 10 4 4 0
 58 40.51 105.88 10 40.51 105.88 12 4 4 0
 59 40.51 105.88 12 42.81 105.88 12 4 4 0
 60 42.81 105.88 12 42.81 105.88 10 4 4 0
 61 38.50 10 15.01 38.50 16.56 15.01 10 8 90
 62 38.50 16.56 15.01 38.50 16.56 10 10 9 90
 63 38.50 16.56 15.01 20.96 16.56 15.01 8 9 90
 64 20.96 16.56 15.01 20.96 10 15.01 7 8 90
 65 20.96 16.56 15.01 20.96 16.56 10 9 7 90

;

59 * numero totale di discontinuità (porte/finestre/buchi)

*Le righe a seguire hanno il seguente format: Il primo numero è l'indice delle discontinuità, i seguenti tre numeri sono le coordinate geometriche di un vertice fino a completare il numero di vertici(max 2), in fine troviamo il numero dell'indice del poligono ove si trova la discontinuità e il nome della stessa.

1 10 24.01 10 10 27.15 12.86 1 porta_chiusa
 2 10 37.49 10 10 40.62 12.86 1 porta_chiusa
 3 10 50.96 10 10 54.13 12.86 1 porta_chiusa
 4 10 64.50 10 10 67.64 12.86 1 porta_chiusa
 5 10 77.98 10 10 81.13 12.83 1 porta_chiusa
 6 49.46 24.55 10 49.46 26.57 12.42 3 porta_chiusa
 7 49.46 38.06 10 49.46 40.08 12.42 3 porta_chiusa
 8 49.46 51.55 10 49.46 53.57 12.42 3 porta_chiusa
 9 49.46 65.05 10 49.46 67.07 12.42 3 porta_chiusa
 10 49.46 78.56 10 49.46 80.58 12.42 3 porta_chiusa

11 49.46 92.07 10 49.46 94.09 12.42 3 porta_chiusa
12 16.51 105.88 10 18.81 105.88 12 4 porta_aperta
13 19.51 105.88 10 21.81 105.88 12 4 porta_aperta
14 22.51 105.88 10 24.81 105.88 12 4 porta_aperta
15 25.51 105.88 10 27.81 105.88 12 4 porta_aperta
16 28.51 105.88 10 30.81 105.88 12 4 porta_aperta
17 31.51 105.88 10 33.81 105.88 12 4 porta_aperta
18 34.51 105.88 10 36.81 105.88 12 4 porta_aperta
19 37.51 105.88 10 39.81 105.88 12 4 porta_aperta
20 40.51 105.88 10 42.81 105.88 12 4 porta_aperta
21 49.46 19.06 13.42 49.46 23.06 23.42 3 finestra
22 49.46 23.56 13.42 49.46 27.56 23.42 3 finestra
23 49.46 28.06 13.42 49.46 32.06 23.42 3 finestra
24 49.46 32.56 13.42 49.46 36.56 23.42 3 finestra
25 49.46 37.06 13.42 49.46 41.06 23.42 3 finestra
26 49.46 41.56 13.42 49.46 45.56 23.42 3 finestra
27 49.46 46.06 13.42 49.46 50.06 23.42 3 finestra
28 49.46 50.56 13.42 49.46 54.56 23.42 3 finestra
29 49.46 55.06 13.42 49.46 59.06 23.42 3 finestra
30 49.46 59.56 13.42 49.46 63.56 23.42 3 finestra
31 49.46 64.06 13.42 49.46 68.06 23.42 3 finestra
32 49.46 68.56 13.42 49.46 72.56 23.42 3 finestra
33 49.46 73.06 13.42 49.46 77.06 23.42 3 finestra
34 49.46 77.56 13.42 49.46 81.56 23.42 3 finestra
35 49.46 82.06 13.42 49.46 86.06 23.42 3 finestra
36 49.46 86.56 13.42 49.46 90.56 23.42 3 finestra
37 49.46 91.06 13.42 49.46 95.06 23.42 3 finestra
38 10 19.06 13.42 10 23.06 23.42 1 finestra
39 10 23.56 13.42 10 27.56 23.42 1 finestra
40 10 28.06 13.42 10 32.06 23.42 1 finestra
41 10 32.56 13.42 10 36.56 23.42 1 finestra
42 10 37.06 13.42 10 41.06 23.42 1 finestra
43 10 41.56 13.42 10 45.56 23.42 1 finestra
44 10 46.06 13.42 10 50.06 23.42 1 finestra
45 10 50.56 13.42 10 54.56 23.42 1 finestra
46 10 55.06 13.42 10 59.06 23.42 1 finestra
47 10 59.56 13.42 10 63.56 23.42 1 finestra
48 10 64.06 13.42 10 68.06 23.42 1 finestra
49 10 68.56 13.42 10 72.56 23.42 1 finestra
50 10 73.06 13.42 10 77.06 23.42 1 finestra
51 10 77.56 13.42 10 81.56 23.42 1 finestra
52 10 82.06 13.42 10 86.06 23.42 1 finestra
53 10 86.56 13.42 10 90.56 23.42 1 finestra
54 10 91.06 13.42 10 95.06 23.42 1 finestra

55 23.23 10 17.93 25.73 10 23.93 2 finestra
56 25.855 10 17.93 28.355 10 23.93 2 finestra
57 28.48 10 17.93 30.98 10 23.93 2 finestra
58 31.105 10 17.93 33.605 10 23.93 2 finestra
59 33.73 10 17.93 36.23 10 23.93 2 finestra

Appendice B1

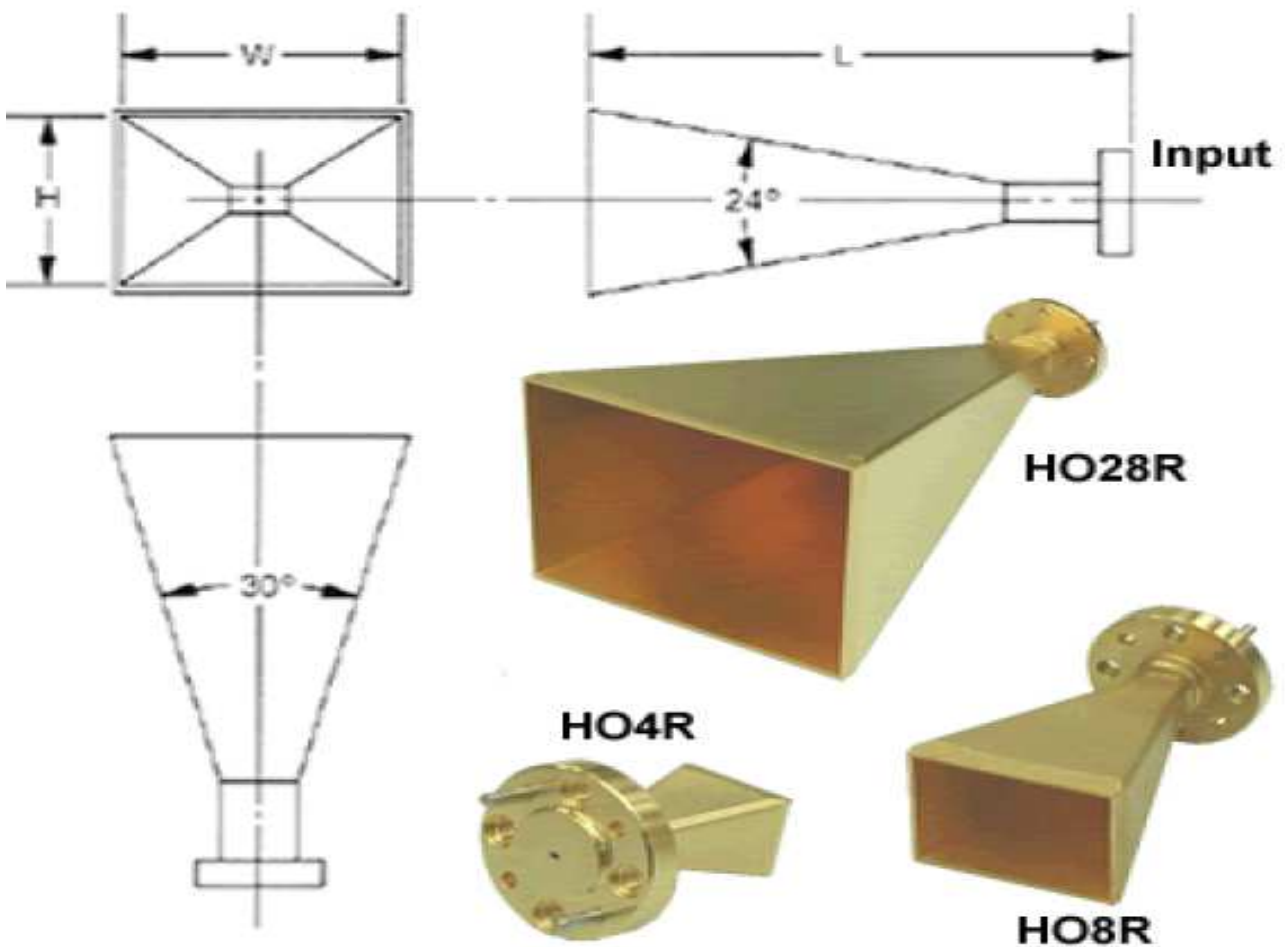
*Le righe a seguire hanno il seguente format: il primo è il nome identificativo della parete inserita nel primo file, a seguire sono i valori di: costante dielettrica relativa, conducibilità e spessore (in metri), le ultime due notazioni(true o false) indicano rispettivamente se l'elemento è bilatero o meno e se è attraversabile o meno .

```
"parete" 5.00 0.45 0.45 .true. .true.  
"parete_condivisa" 5.00 0.8 0.45 .true. .true.  
"pavimento" 5.00 10e4 0.45 .true. .true.  
"soffitto" 5.00 10e4 0.45 .true. .true.  
"palco_interno" 5.00 2.e-2 0.0 .false. .false.  
"rivestimento_palco" 4.44 1.e-3 0.05 .true. .true.  
"parete_block_A" 5.00 0.4 0.45 .true. .true.  
"roof_block_A" 5.00 10e4 0.45 .true. .true.  
"parete_block_B" 5.00 0.4 0.45 .true. .true.  
"roof_block_B" 5.00 10e4 0.45 .true. .true.  
"roof_block_G" 5.00 10e4 0.45 .true. .true.  
"parete_block_D" 5.00 0.4 0.45 .true. .true.  
"parete_block_E" 5.00 0.4 0.45 .true. .true.  
"parete_block_F" 5.00 0.4 0.45 .true. .true.  
"finestra" 2.40 1.e-12 0.45 .true. .true.  
"porta_aperta" 1.00 0.00 0.45 .true. .true.  
"porta_chiusa" 5.00 0.00 0.45 .true. .true.
```

Appendice C

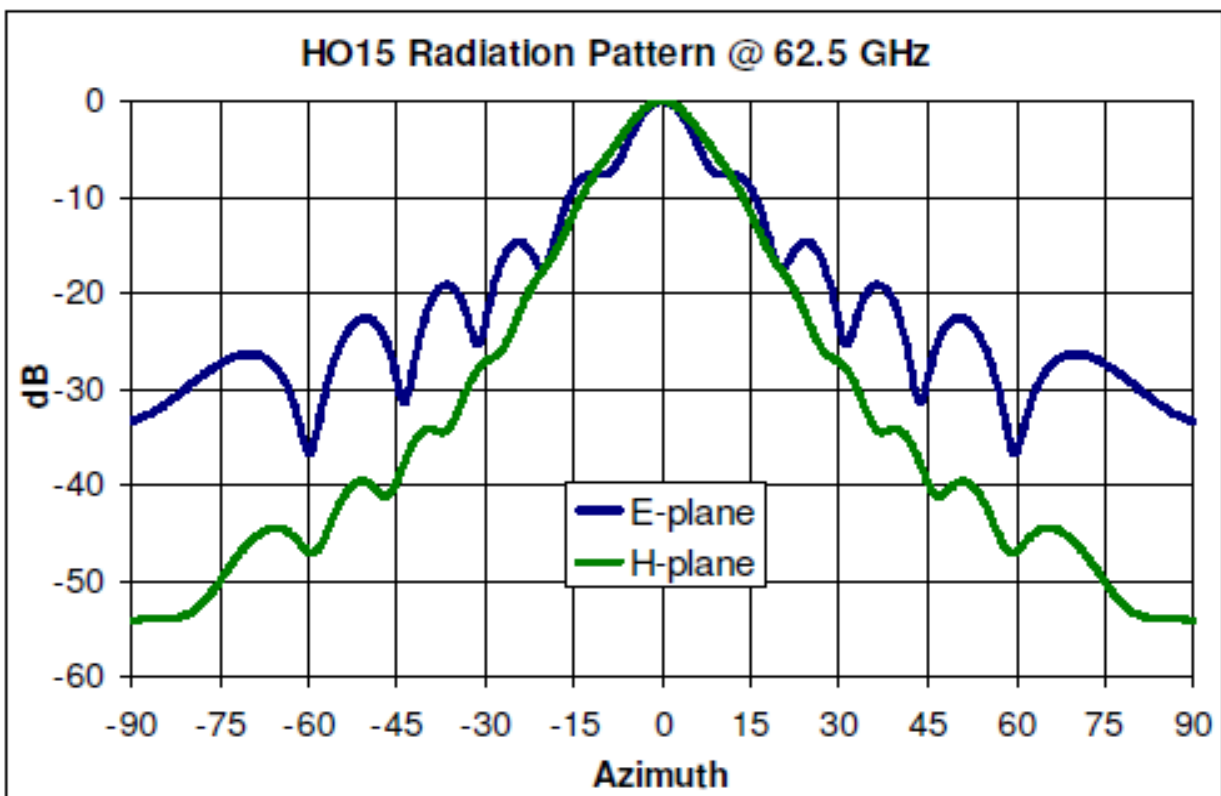
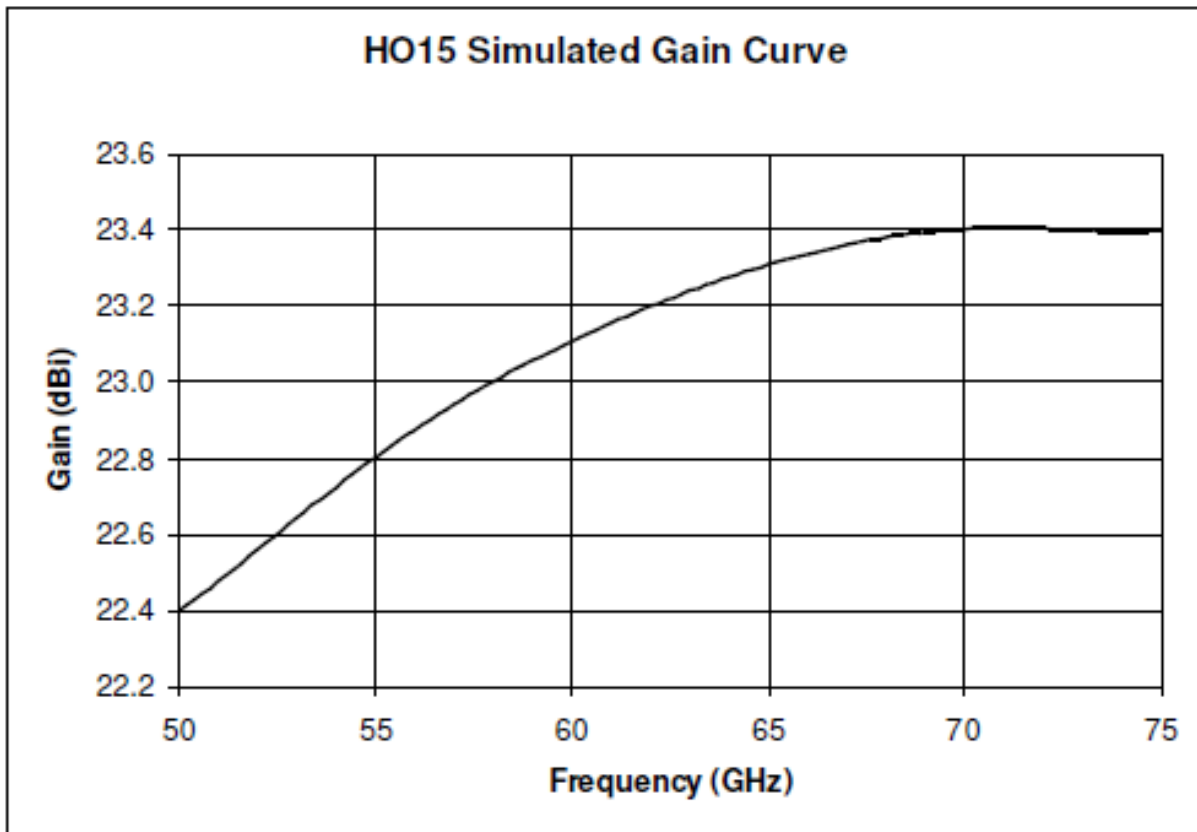
- Tipo di antenna: Horns – Rectangular
- Code: HO 15 R

Dimensioni dell'antenna in pollici:



_Height - H: 1.094 _Length - L: 2.780 _Width - W: 1.434

Diagrammi di radiazione e curva di guadagno:



Appendice C 1

Come per la sala fiere di Berlino il criterio e format dei dati è sempre lo stesso. La descrizione riportata fa riferimento alle sole pareti che compongono i singoli listelli. Per non appesantire troppo l'elaborato abbiamo ommesso tutta la descrizione degli spigoli che sono in numero ben 108.

45

1 0.05 -0.001 0.05 0.082 -0.001 0.05 0.082 -0.001 0.3473 0.05 -0.001 0.3473 TOP PRIMO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
2 0.1836 0 0.05 0.2156 0 0.05 0.2156 0 0.3473 0.1836 0 0.3473 TOP SECONDO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
3 0.3172 0 0.05 0.3492 0 0.05 0.3492 0 0.3473 0.3172 0 0.3473 TOP TERZO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
4 0.4508 0 0.05 0.4828 0 0.05 0.4828 0 0.3473 0.4508 0 0.3473 TOP QUARTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
5 0.5844 -0.001 0.05 0.6164 -0.001 0.05 0.6164 -0.001 0.3473 0.5844 -0.001 0.3473 TOP QUINTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
6 0.05 -0.001 0.05 0.05 -0.001 0.3473 0.05 0.0051 0.3473 0.05 0.0051 0.05 LATO SINISTRO PRIMO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
7 0.082 -0.001 0.05 0.082 -0.001 0.3473 0.082 0.0051 0.3473 0.082 0.0051 0.05 LATO DESTRO PRIMO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
8 0.1836 0 0.05 0.1836 0 0.3473 0.1836 0.0051 0.3473 0.1836 0.0051 0.05 LATO SINISTRO SECONDO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
9 0.2156 0 0.05 0.2156 0 0.3473 0.2156 0.0051 0.3473 0.2156 0.0051 0.05 LATO DESTRO SECONDO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
10 0.3172 0 0.05 0.3172 0 0.3473 0.3172 0.0051 0.3473 0.3172 0.0051 0.05 LATO SINISTRO TERZO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
11 0.3492 0 0.05 0.3492 0 0.3473 0.3492 0.0051 0.3473 0.3492 0.0051 0.05 LATO DESTRO TERZO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
12 0.4508 0 0.05 0.4508 0 0.3473 0.4508 0.0051 0.3473 0.4508 0.0051 0.05 LATO SINISTRO QUARTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
13 0.4828 0 0.05 0.4828 0 0.3473 0.4828 0.0051 0.3473 0.4828 0.0051 0.05 LATO DESTRO QUARTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
14 0.5844 -0.001 0.05 0.5844 -0.001 0.3473 0.5844 0.0051 0.3473 0.5844 0.0051 0.05 LATO SINISTRO QUINTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
15 0.6164 -0.001 0.05 0.6164 -0.001 0.3473 0.6164 0.0051 0.3473 0.6164 0.0051 0.05 LATO DESTRO QUINTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
16 0.05 0.0051 0.05 0.6164 0.0051 0.05 0.6164 0.0051 0.0812 0.05 0.0051 0.0812 TOP PRIMO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
17 0.05 0.0051 0.1297 0.6164 0.0051 0.1297 0.6164 0.0051 0.1744 0.05 0.0051 0.1744 TOP SECONDO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO

18 0.05 0.0051 0.2295 0.6164 0.0051 0.2295 0.6164 0.0051 0.2676 0.05 0.0051 0.2676
 TOP TERZO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 19 0.05 0.0051 0.3161 0.6164 0.0051 0.3161 0.6164 0.0051 0.3473 0.05 0.0051 0.3473
 TOP QUARTO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 20 0.05 0.0051 0.05 0.6164 0.0051 0.05 0.6164 0.0102 0.05 0.05 0.0102 0.05 LATO
 DESTRO PRIMO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 21 0.05 0.0051 0.0812 0.6164 0.0051 0.0812 0.6164 0.0102 0.0812 0.05 0.0102 0.0812
 LATO SINISTRO PRIMO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 22 0.05 0.0051 0.1297 0.6164 0.0051 0.1297 0.6164 0.0102 0.1297 0.05 0.0102 0.1297
 LATO DESTRO SECONDO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 23 0.05 0.0051 0.1744 0.6164 0.0051 0.1744 0.6164 0.0102 0.1744 0.05 0.0102 0.1744
 LATO SINISTRO SECONDO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 24 0.05 0.0051 0.2295 0.6164 0.0051 0.2295 0.6164 0.0102 0.2295 0.05 0.0102 0.2295
 LATO DESTRO TERZO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 25 0.05 0.0051 0.2676 0.6164 0.0051 0.2676 0.6164 0.0102 0.2676 0.05 0.0102 0.2676
 LATO SINISTRO TERZO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 26 0.05 0.0051 0.3161 0.6164 0.0051 0.3161 0.6164 0.0102 0.3161 0.05 0.0102 0.3161
 LATO DESTRO QUARTO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 27 0.05 0.0051 0.3473 0.6164 0.0051 0.3473 0.6164 0.0102 0.3473 0.05 0.0102 0.3473
 LATO SINISTRO QUARTO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 28 0.05 -0.001 0.05 0.082 -0.001 0.05 0.082 0.0051 0.05 0.05 0.0051 0.05 LATO BASSO
 PRIMO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 29 0.1836 0 0.05 0.2156 0 0.05 0.2156 0.0051 0.05 0.1836 0.0051 0.05 LATO BASSO
 SECONDO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 30 0.3172 0 0.05 0.3492 0 0.05 0.3492 0.0051 0.05 0.3172 0.0051 0.05 LATO BASSO
 TERZO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 31 0.4508 0 0.05 0.4828 0 0.05 0.4828 0.0051 0.05 0.4508 0.0051 0.05 LATO BASSO
 QUARTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 32 0.5844 -0.001 0.05 0.6164 -0.001 0.05 0.6164 0.0051 0.05 0.5844 0.0051 0.05 LATO
 BASSO QUINTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 33 0.05 -0.001 0.3473 0.082 -0.001 0.3473 0.082 0.0051 0.3473 0.05 0.0051 0.3473
 LATO ALTO PRIMO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 34 0.1836 0 0.3473 0.2156 0 0.3473 0.2156 0.0051 0.3473 0.1836 0.0051 0.3473 LATO
 ALTO SECONDO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 35 0.3172 0 0.3473 0.3492 0 0.3473 0.3492 0.0051 0.3473 0.3172 0.0051 0.3473 LATO
 ALTO TERZO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 36 0.4508 0 0.3473 0.4828 0 0.3473 0.4828 0.0051 0.3473 0.4508 0.0051 0.3473 LATO
 ALTO QUARTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 37 0.5844 -0.001 0.3473 0.6164 -0.001 0.3473 0.6164 0.0051 0.3473 0.5844 0.0051
 0.3473 LATO ALTO QUINTO LISTELLO VERTICALE PARTENDO DA SINISTRA
 38 0.05 0.0051 0.05 0.05 0.0051 0.0812 0.05 0.0102 0.0812 0.05 0.0102 0.05 LATO
 BASSO PRIMO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
 39 0.05 0.0051 0.1297 0.05 0.0051 0.1744 0.05 0.0102 0.1744 0.05 0.0102 0.1297 LATO
 BASSO SECONDO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO

40 0.05 0.0051 0.2295 0.05 0.0051 0.2676 0.05 0.0102 0.2676 0.05 0.0102 0.2295 LATO BASSO TERZO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
41 0.05 0.0051 0.3161 0.05 0.0051 0.3473 0.05 0.0102 0.3473 0.05 0.0102 0.3161 LATO BASSO QUARTO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
42 0.6164 0.0051 0.05 0.6164 0.0051 0.0812 0.6164 0.0102 0.0812 0.6164 0.0102 0.05 LATO ALTO PRIMO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
43 0.6164 0.0051 0.1297 0.6164 0.0051 0.1744 0.6164 0.0102 0.1744 0.6164 0.0102 0.1297 LATO ALTO SECONDO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
44 0.6164 0.0051 0.2295 0.6164 0.0051 0.2676 0.6164 0.0102 0.2676 0.6164 0.0102 0.2295 LATO ALTO TERZO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO
45 0.6164 0.0051 0.3161 0.6164 0.0051 0.3473 0.6164 0.0102 0.3473 0.6164 0.0102 0.3161 LATO ALTO QUARTO LISTELLO ORRIZZONTALE PARTENDO DAL BASSO

-
-
-

Appendice C 2

Troviamo in questo file anche il “listello maggiorato” che differisce dal “listello” per lo spessore di un millimetro in più. Ciò sottolinea la cura dei dettagli che si può adottare nel compilare il database di input, a discapito però di un maggiore impiego di tempo e risorse.

```
;tipo eps sigma thick bilat travers
```

```
"listello" 2.8 0.12 0.0051 .true. .true.
```

```
"listello_maggiorato" 2.8 0.12 0.0061 .true. .true.
```

```
;Fine del file
```

Appendice C 3

All'interno di questa appendice troviamo tutti i parametri relativi al settaggio del simulatore, come avevamo anche meglio descritto il loro significato nel capitolo 2.

```
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'DEBUG', '0'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'VERBOSE_RAY', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'SAVE_MR', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'WALLS_MAP', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'EDGES_MAP', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'HOLES_MAP', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'TX_RX', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'ANTENNA', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'BSP_TREE_MAX_DEPTH', '15'); % do not change this
parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'BSP_NODE_MAX_ELEMENTS', '100'); % do not change this
parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'COHERENT_MODE', '1'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'COHERENT_SCAT', '0'); % do not change this parameter
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'PATTERN_EXTRAPOLATION', '0');
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'UTD_DIEL', '1'); % set to 1 to enable heuristic
diffraction coefficients for dielectrical wedges (otherwise, UTD is used)
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'ENABLE_SCAT_TX', '1'); % set to 1 to enable diffuse
scattering at Tx side
```

```

fprintf(fid,'%s\t%s\n','ENABLE_SCAT_RX','1'); % set to 1 to enable diffuse
scattering at Rx side (pay attention, do not enable it if you have many
receivers!)
% The 2 following parameters are related to the size of the "scattering tiles":
increase t% number of scattering ray subdivisions in elevation (the elevation
scattering resolution is: (theta_max-theta_min)/scat_n_theta )oheir values to
use smaller scattering tiles
fprintf(fid,'%s\t%s\n','SCAT_N_THETA','12'); % number of scattering ray
subdivisions in elevation (the elevation scattering resolution is: (theta_max-
theta_min)/scat_n_theta )
fprintf(fid,'%s\t%s\n','SCAT_N_PHI','24'); % number of scattering ray
subdivisions in azimuth (the azimuth scattering resolution is: (phi_max-
phi_min)/scat_n_phi )

% For further details on the following 9 parameters, see the papers:
% 1) V. Degli-Esposti, F. Fuschini, E. M. Vitucci, G. Falciasecca, "Measurement
and modelling of scattering from buildings", IEEE Transactions on Antennas and
Propagation, Vol. 55 No 1, pp. 143-153, January 2007
% 2) F. Fuschini, V. Degli-Esposti, E. M. Vitucci, "A model for forward-diffuse
scattering through a wall," in Proc-. 4th European Conference on Antennas and
Propagation (EuCAP 2010), Barcelona, Spain, 12-16 April 2010.
fprintf(fid,'%s\t%f\n','S_R',0.9); % scattering parameter (backward scattering
only)
fprintf(fid,'%s\t%f\n','S_T',0); % scattering parameter (forward scattering
only)
fprintf(fid,'%s\t%s\n','SCAT_PATTERN_MODEL','1'); %'0' to use lambertian
scattering pattern, '1' to use directive scattering pattern (single or double
lobe)
fprintf(fid,'%s\t%f\n','SCAT_ALPHA_R',3.0); % alpha_r is related to the width of
the scattering lobe centered on the specular reflection (only for scattering
pattern '1')
fprintf(fid,'%s\t%f\n','SCAT_ALPHA_I',3.0); % alpha_i is related to the width of
the back-scattering lobe (only for scattering pattern '1')
fprintf(fid,'%s\t%f\n','SCAT_ALPHA_T',3.0); % similar to alpha_r, but for
forward scattering (lobe centered on the transmission direction)
fprintf(fid,'%s\t%f\n','SCAT_ALPHA_B',3.0); % similar to alpha_i, but for
forward scattering
fprintf(fid,'%s\t%f\n','SCAT_K_R',1.0); % power division between the 2
scattering lobes (only for pattern '1'). Set this parameter to 1 to use a single
scattering lobe (no back-scattering lobe)
fprintf(fid,'%s\t%f\n','SCAT_K_T',1.0); % similar to the previous parameter, but
for forward scattering

fprintf(fid,'%s\t%f\n','SCAT_XPOL',0.05); % scattering XPOL parameter. For
further details, see the paper: E. M. Vitucci, F. Mani, V. Degli-Esposti, C.
Oestges, "Polarimetric Properties of Diffuse Scattering from Building Walls:
Experimental Parameterization of a Ray-Tracing Model", IEEE Transactions on
Antennas and Propagation, Vol. 60 No. 6, pp. 2961-2969, June 2012
fprintf(fid,'%s\t%s\n','POWER_THRESHOLD_DB','-500'); % minimum power threshold
(in dB-units) for a single ray
fprintf(fid,'%s\t%s\n','WALL_AREA_MIN','4'); % do not change this parameter
fprintf(fid,'%s\t%s\n','EDGE_LENGTH_MIN','1'); % do not change this parameter
fprintf(fid,'%s\t%s\n','N_MAX_INTERACTIONS','2'); % maximum total number of
interactions allowed (including transmissions)
fprintf(fid,'%s\t%s\n','N_MAX_REFL','2'); % maximum number of reflections
allowed
fprintf(fid,'%s\t%s\n','N_MAX_DIFF','1'); % maximum number of diffractions
allowed
fprintf(fid,'%s\t%s\n','N_MAX_REFL_WITH_SCAT','2'); % maximum number of
reflections combined with scattering allowed (pay attention, this can
dramatically increase the computation time!)

```

```
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'N_MAX_DIFF_WITH_SCAT', '2'); % maximum number of
diffractions combined with scattering allowed (pay attention, this can
dramatically increase the computation time!)
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'N_MAX_REFL_AND_DIFF', '2'); % maximum total number of
reflections and diffractions allowed in a single ray (e.g. if this is equal to 3,
you can have at most 2 reflections and 1 diffraction, or 2 diffraction and 1
reflection in the same ray)
fprintf(fid, '%s\t%s\n', 'N_MAX_TRANSM', '2'); % maximum number of transmissions
allowed (usually this number is high in indoor environment)
```

Bibliografia

- [1] Appunti di propagazione e pianificazione nei sistemi d'area, Ing. Vittorio Degli esposti.
- [2] Sebastian Sczyslo, Sven Dortmund and Ilona Rolfes "*Determination of the Delay Spread of an Indoor Channel Measurement Campaign in the UHF Band*" - Institute of Microwave Systems Ruhr-Universität Bochum Bochum, Germany.
- [3] Jonathan S. Lu and Henry L. Bertoni "60 GHz Investigation of Building Scattering at 2 GHz Using a Scale Model" - Electrical and Computer Engineering Department Polytechnic Institute of New York University Brooklyn, New York, U.S.A.
- [4] Manuale "3DScat", Franco Fuschini ed Enrico Vitucci.

Software di simulazione

- "3DScat" eseguibile in ambiente Matlab.