

# Applicazione dell'Astigmatic Beam Tracing alla simulazione della propagazione elettromagnetica in ambiente urbano

Emidio Di Giampaolo<sup>1</sup>, Fernando Bardati<sup>2</sup>, Marco Sabbadini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università dell'Aquila, p. Pontieri, 67040, Monteluco di Roio, L'Aquila, Italy, e-mail [emidio@ing.univaq.it](mailto:emidio@ing.univaq.it)

<sup>2</sup>DISP, Università di Roma Tor Vergata, via del Politecnico, 1, 00133 Roma, Italy  
e-mail [bardati@disp.uniroma2.it](mailto:bardati@disp.uniroma2.it)

<sup>3</sup>TOS-EEA, European Space Agency, Keplerlaan 1, 2201 AZ, Noordwijk, The Netherlands, e-mail [marco@xe.estec.esa.nl](mailto:marco@xe.estec.esa.nl)

## Abstract

*Wireless communication network planning needs deterministic and statistical electromagnetic propagation models. Astigmatic Beam Tracing, a deterministic method based on ray tracing (GO/UTD), can be applied to urban propagation modelling. A numerical code has been developed and has been applied to a model of urban scenario with increasing complexity. In this paper the results of a numerical analysis are discussed to evaluate the relevance of test case sizes on the computational charge.*

## Introduzione

Il crescente sviluppo dei sistemi di comunicazione wireless impone specifiche sempre più stringenti in fase di pianificazione della copertura e l'esigenza di strumenti sempre più accurati per la valutazione dei livelli di campo a scopi protezionistici. Gli strumenti di calcolo basati sui modelli di propagazione possono costituire un valido ausilio alla pianificazione e una flessibile ed economica alternativa alle misure. Gli strumenti più sofisticati, allo stato attuale, utilizzano metodi di ray tracing che possono raggiungere un elevato grado di accuratezza. Basati sulle tecniche asintotiche GO/UTD, i metodi di ray tracing determinano il campo elettromagnetico come sovrapposizione dei diversi contributi diretti, riflessi e diffratti. La loro accuratezza nella predizione del campo elettromagnetico dipende dalla capacità di modellizzazione dei dettagli geometrici dello scenario di propagazione e dagli algoritmi utilizzati per il tracciamento dei raggi. E' stato mostrato, d'altra parte, che i metodi di ray tracing sono preferibili per l'analisi della propagazione in ambienti microcellulari e per osservazioni a piccole distanze dalle antenne delle stazioni radiobase [1].

Un comune demerito dei vari algoritmi di ray tracing è la perdita di possibili contributi significativi. L'Astigmatic Beam Tracing (ABT) [2], [3], utilizzando algoritmi basati sulla teoria della visibilità [4], è in grado di determinare le porzioni di superficie dello scenario visibili tra loro o da sorgenti puntiformi o da spigoli diffrangenti. Questa caratteristica risulta particolarmente utile nel trattamento delle interazioni multiple, e garantisce, almeno nei principi del metodo, l'assenza di perdita di contributi. Il costo computazionale di ABT, tuttavia, è più oneroso rispetto a quello di un semplice ray tracer, poiché sono richiesti il trattamento e la memorizzazione di una maggiore quantità di dati. Questo lavoro è orientato alla dimostrazione dell'applicabilità di ABT alla simulazione della propagazione elettromagnetica in scenari urbani non banali.

## Modello dello scenario

Lo scenario urbano e' modellato come una superficie continua costituita dall'unione di facce poligonali piane in cui gli edifici sono assimilabili ad asperità del terreno con rapidi cambiamenti della pendenza della superficie. La versatilità del modello geometrico permette di rappresentare scenari urbani su terreni ondulati ed edifici con pareti curve. La geometria dello scenario non e' vincolata a un particolare modello topografico potendo essere fornita *ad hoc*, per esempio arricchita di particolari architettonici come la forma del tetto, balconi o finestre. Il numero delle facce, dipendente dalla quantità dei dettagli geometrici, determina insieme al numero delle interazioni il carico computazionale.

## Applicazione allo scenario urbano

Una caratteristica di ABT e' la memorizzazione dei dati relativi alle possibili interazioni (riflessioni e diffrazioni al crescere dell'ordine) all'interno del dominio di calcolo. Un tubo di raggi (beam) propagandosi dalla sorgente intercetta le superfici dello scenario; la parte di tubo ostruita subisce riflessione mentre quella libera continua a propagarsi. I contorni (edges) delle superfici intercettate diventano sorgenti secondarie di tubi diffratti. ABT è in grado di manipolare i tubi diffratti tenendo conto dell'astigmatismo introdotto dalla diffrazione [2]. I dati geometrici prodotti durante la propagazione del generico tubo sono memorizzati in una struttura ad albero (beam tree) che cresce di livello ad ogni interazione. Ciascun livello dell'albero corrisponde ad un ordine di interazione mentre il numero dei nodi in un dato livello dell'albero è pari al numero di tubi appartenenti a quell'ordine. Se al livello zero si conviene di porre i tubi provenienti dalla sorgente, il primo livello corrisponde all'insieme dei tubi riflessi o diffratti del primo ordine. Per un dato tipo ed ordine di interazione lo scenario risulta suddiviso in regioni tridimensionali distinte (tubi). Al variare, tuttavia, del tipo o dell'ordine dell'interazione, una stessa porzione di spazio sarà in generale condivisa da tubi diversi. In Fig.1 e' riportato lo schema di un semplice scenario costituito da quattro edifici a forma di parallelepipedo e da un piano simulante il suolo. La sorgente S e' prossima alla sommità degli edifici. Si vuole calcolare il campo elettromagnetico su un piano parallelo al suolo. Dopo il tracciamento dei tubi fino all'ordine desiderato il calcolo del campo viene eseguito in due passi. Nel primo passo si esplora il beam tree, individuando i tubi che intercettano la superficie di osservazione. In Fig.2 e' riportato l'insieme delle sezioni trasverse sulla superficie di osservazione dei tubi diretti e riflessi al primo ordine. In Fig. 3 e' mostrato l'insieme delle sezioni dei tubi diffratti da due spigoli di un edificio. Pur apparentemente un groviglio, l'insieme dei tubi rappresenta una partizione ordinata dello scenario. Nel secondo passo si determina l'insieme delle sezioni dei tubi che contengono il punto di osservazione prescelto. Ogni sezione corrisponde a un diverso contributo per tipo e ordine di interazione. Esplorando il beam tree si determina e si calcola il cammino ottico e, quindi, il campo corrispondente a ciascun contributo; il campo complessivo si ottiene infine per somma. Al crescere dell'ordine di interazione aumenta la profondità dell'albero e quindi l'occupazione di memoria. Particolarmente critico da questo punto di vista e' il trattamento della diffrazione. Ogni spigolo dello scenario e' una sorgente secondaria potenziale di un certo ordine che irradia (dal punto di vista geometrico) tubi astigmatici ogni qual volta venga intercettato da un tubo di un ordine inferiore. Incrementando in tal modo la diffrazione il numero delle sorgenti, il numero di tubi che ABT propaga nello scenario aumenta in maniera considerevole con l'ordine di diffrazione, richiedendo maggior risorse di calcolo.

Una prima analisi del carico computazionale e' stata condotta su un tipico scenario urbano costituito da strade rettilinee ed edifici a forma di parallelepipedo, Fig.4. Gli edifici, dielettricamente omogenei, hanno differenti altezze, mentre il suolo piatto e' stato supposto disomogeneo per aumentare il numero delle facce nello scenario. Sono stati presi in considerazione scenari con un numero crescente di edifici e di facce. In Fig.5 e' mostrato il tempo medio di CPU (Pentium 600MHz 256MB di RAM) richiesto per il tracciamento dei tubi fino al nono ordine di riflessione al variare del numero delle facce nello scenario. Si osserva che il tempo di calcolo è contenuto. L'occupazione di memoria invece, essendo proporzionale al numero di tubi, diventa particolarmente onerosa quando si vuole tenere conto delle diffrazioni di ordine superiore (Fig. 6). Il numero dei tubi diffratti cresce infatti con l'ordine di interazione molto piu' rapidamente di quello dei tubi riflessi.

## Conclusioni

I risultati ottenuti dall'analisi preliminare mettono in evidenza che ABT può essere vantaggiosamente usato, senza ricorrere a grandi risorse di calcolo, per la previsione del campo elettromagnetico in scenari urbani moderatamente estesi.

## ACKNOWLEDGEMENT

*Il lavoro e' stato parzialmente finanziato con fondi MIUR nell'ambito del "Progetto salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente dalle emissioni elettromagnetiche".*

## Referimenti

- [1] Barbiroli, M., C. Carciofi, G. Falciasecca, M. Frullone, and P. Grazioso, "A measurement-based methodology for the determination of validity domains of prediction models in urban environment", IEEE Trans. V.T., Vol. 49, No. 5, Sept. 2000, pp.1508-1515
- [2] Di Giampaolo E, M. Sabbadini, and F. Bardati, "Astigmatic Beam Tracing for GTD/UTD methods in 3-D complex environments", J.Electromagn. Wave and Appl. Vol. 15, No. 4, 439-460, 2001.
- [3] Di Giampaolo E, F. Bardati, and M. Sabbadini, "Astigmatic Beam Tracing for Propagation Modelling", 2001 European Conference on Wireless Technology, London, 27-28 Sept. 2001, pp.273-276
- [4] Maurer, J., O. Drumm, D. Didascalou, and W. Wiesbeck, "A novel approach in the determination of visible surfaces in 3D vector geometries for ray-optical wave propagation modelling", IEEE VTC 2000 pp. 1651-1655

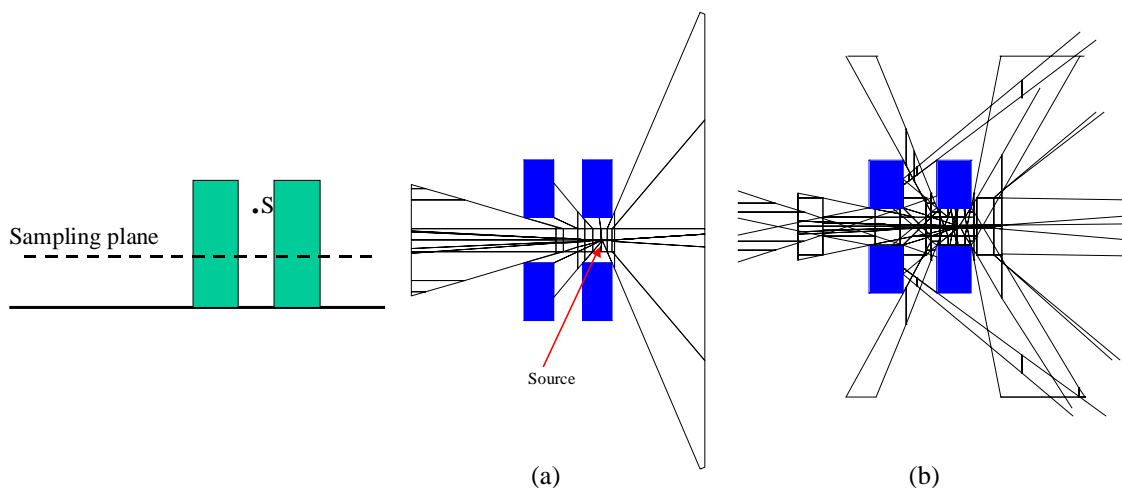


Fig.1 Proiezione laterale di uno scenario urbano costituito da 4 edifici. S e' la sorgente, la linea a tratti indica il piano di osservazione.

Fig2 Mappa delle sezioni trasverse dei tubi incidenti sul piano di osservazione. a) tubi diretti, b) tubi 1° riflessi.

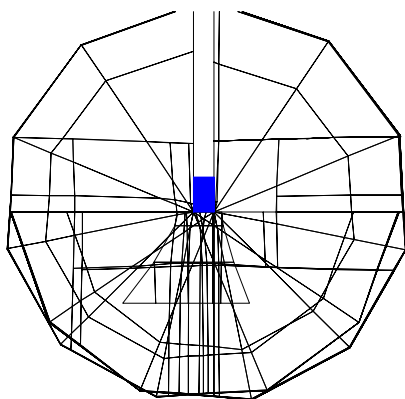


Fig3 Mappa delle sezioni trasverse dei tubi diffratti da due spigoli di un edificio.

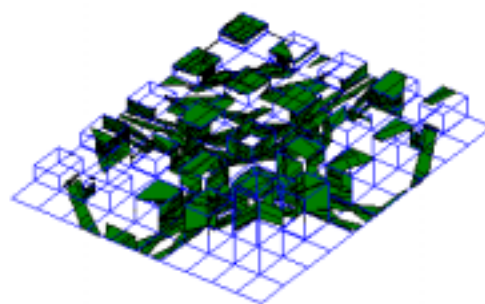


Fig.4 La struttura reticolare rappresenta lo scenario. Le aree scure corrispondono alle superfici illuminate dalla prima riflessione.

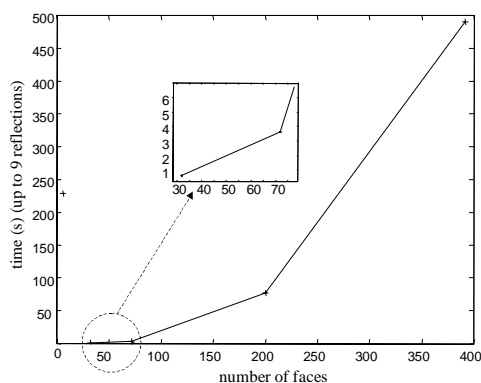


Fig.5 Tempo medio di CPU al variare del numero delle facce nello scenario.

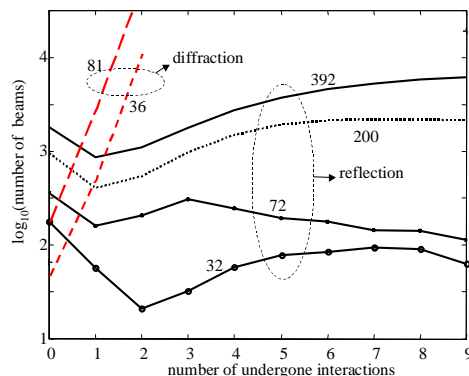


Fig.6 Numero di tubi generati (per riflessione e diffrazione) al variare dell'ordine di interazione. Il numero prossimo a ciascuna curva indica il numero delle facce del corrispondente scenario.