Pianificazione dei livelli di campo elettromagnetico

Giorgio Franceschetti, Antonio Iodice, Daniele Riccio, Giuseppe Ruello

Dipartimento di Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni
Università di Napoli "Federico II"
via Claudio 21 80125, Napoli
{gfrance, iodice, daniele.riccio, ruello}@unina.it

Abstract

A numerical code to evaluate electromagnetic field levels in urban areas is presented. The code is defined by means of its input and output data; main algorithms rationale to obtain the latters from the formers is also presented. Some relevant examples are reported to show the performances of numerical code.

INTRODUZIONE

In aree urbane la conoscenza dei livelli di campo elettromagnetico irradiati da sorgenti di telecomunicazioni è sempre più frequentemente richiesta con precisioni sempre crescenti. Le motivazioni storiche sono di carattere sia ingegneristico sia clinico. Infatti da un lato si vuole conoscere il livello di campo elettromagnetico irradiato al fine di consentire la trasmissione ottimale delle informazioni, la pianificazione dei nuovi sistemi e la previsione delle possibili interferenze, dall'altro si vuole individuare uno strumento per il contenimento dei livelli di inquinamento elettromagnetico.
Vogliamo però noi identificare una nuova motivazione di carattere diremmo globalmente ambientale e per certi versi riassuntiva delle precedenti: in ambiente urbano anche per gli aspetti elettromagnetici si deve oggi concepire una vera e propria pianificazione delle risorse disponibili.
In questo lavoro si presenta il prototipo di un opportuno programma numerico di simulazione tale che assegnata la morfologia del territorio, posizione degli edifici, posizione e caratteristiche dell'insieme delle antenne trasmittenti che su di esso irradiano, effettui il calcolo del valore di campo elettromagnetico in ogni punto dell'area metropolitana. Il programma in questione tratta il problema da un punto di vista deterministico rispetto alle descrizioni macroscopiche (scale molto maggiori della lunghezza d'onda in gioco) della conformazione del terreno e degli edifici, e da un punto di vista statistico rispetto ai contributi microscopici. E' fatto uso di modelli elettromagnetici per i fenomeni di riflessione e diffrazione dagli elementi di struttura urbana.

INGRESSI ED USCITE

Sono dati in ingresso al programma i dati sulle antenne trasmittenti verso il territorio urbano e una cartografia numerica del territorio stesso.
Per la cartografia in ingresso è richiesta in primo luogo una cartografia del territorio interessato con campioni acquisiti in formato numerico su una griglia regolare con spaziatura dell'ordine del metro. In secondo luogo è richiesta una descrizione in formato

numerico degli edifici presenti identificati tramite le coordinate dei vertici determinate con precisioni di 1 metro.
Per le antenne trasmittenti sono richieste la posizione sulla cartografia in ingresso e le relative caratteristiche radiative.
Il codice di calcolo è modulare così che è possibile usare cartografie numeriche con precisione diverse da quella indicata, con ovvie ripercursioni sulla precisione del valore di campo elettromagnetico e sui tempi di calcolo.
Il dato in uscita è il campo elettromagnetico calcolato in ogni punto della cartografia in ingresso e relativo al complesso delle antenne trasmittenti considerate.

METODI ELETTROMAGNETICI

I metodi elettromagnetici adoperati affrontano i fenomeni di propagazione dei campi dalle sorgenti e le interazioni dei campi elettromagnetici con il terreno e le strutture urbane. In entrambi i casi sono adoperati le soluzioni asintotiche proprie del regime ottico.
In particolare la propagazione dei campi è studiata con una tecnica di tracciamento dei raggi di tipo diretto nello spazio tridimensionale. Lo studio della propagazione è effettuato prima sul piano orizzontale dove sono presenti le proiezioni dei costituenti la scena. Nel piano orizzontale sono lanciati dei piani rappresentativi dell'irraggiamento dell'antenna in ogni settore angolare considerato. Successivamente per la valutazione delle possibili interazioni dei raggi con il terreno o gli edifici si effettua lo studio sul corrispondente piano verticale. La scomposizione presentata consente di studiare la propagazione in uno spazio tridimensionale nella sola ipotesi che tutti gli edifici siano dei prismi retti, ancorché di base generica. La tecnica ricorda il metodo detto del Vertical Plane Launch, ma si differenzia da quanto proposto in [1] essendo in questo caso inquadrata in un algoritmo di tracciamento dei raggi di tipo diretto mentre in [1] è adoperato un algoritmo di tracciamento inverso. In particolare, nel nostro algoritmo i raggi si propagano dalle sorgenti in tutte le direzioni fino a che l'intensità dei raggi non scende al di sotto di una soglia prefissabile di sensibilità, il che ci consente di considerare tutte le interazioni significative evitandoci di fissare a-priori un immotivato limite massimo di interazione fra i campi e la scena.
Le interazioni dei campi con terreno ed edifici sono valutate tramite le soluzioni di Ottica Geometrica (riflessioni) con relative integrazioni per i fenomeni diffrattivi tramite la Teoria Uniforme della Diffrazione [2,3].
Nelle riflessioni sono considerati dielettrici sia il terreno sia gli edifici. Il campo totale a terra **E** è ottenuto considerando anche il campo riflesso ottenuto da quello incidente $\mathbf{E}_i$ tramite i coefficienti di riflessione G:

$$\mathbf{E} = \left[(\mathbf{E}_i \cdot \hat{p}_i)(1+\tilde{A}_p)\right]\cdot \hat{p}_i + \left[(\mathbf{E}_i \cdot \hat{q}_i)(1+\tilde{A}_q)\right]\cdot \hat{q}_i \quad . \tag{1}$$

Nella (1) $\hat{p}_i$ and $\hat{q}_i$ sono i versori per la polarizzazione parallela e perpendicolare rispetto al piano di incidenza. E', ad ora, trascurato il campo che riemerge dagli edifici a seguito di trasmissione attraverso gli stessi.

Il campo diffratto $\mathbf{E}_d$ è valutato in termini di quello incidente tramite il coefficiente di diffrazione **D**:

$$\mathbf{E}_d(s) = \mathbf{E}_i(Q)\cdot \mathbf{D}\cdot A(\boldsymbol{r},s)\cdot \exp(-jks), \tag{2}$$

dove $\boldsymbol{r}$ ed s sono le distanze tra la sorgente ed il punto in cui si effettua il calcolo del campo rispetto allo spigolo, $\mathbf{E}_i$ è valutato nel punto di riferimento Q, A è il fattore di

attenuazione spaziale che dipende dalla congruenza incidente. Ad esempio per incidenza sferica si ha:

$$A(\boldsymbol{r},s)=\sqrt{\frac{\boldsymbol{r}}{s(\boldsymbol{r}+s)}}\,. \tag{3}$$

Inoltre:

$$\mathbf{D}=\frac{1}{\sin\boldsymbol{b}}\begin{vmatrix} D_p & 0 \\ 0 & D_q \end{vmatrix} \tag{4}$$

dove

$$D_{p,q}=\frac{\exp(-jp/4)}{2n\sqrt{2pk}}\left\{\cot\left(\frac{p+(f-f_0)}{2n}\right)F\left[kla^{+}(f-f_0)\right]+\cot\left(\frac{p-(f-f_0)}{2n}\right)F\left[kla^{-}(f-f_0)\right]+\right.$$

$$\left.R_{0;p,q}\cot\left(\frac{p-(f+f_0)}{2n}\right)F\left[kla^{-}(f+f_0)\right]+R_{n;p,q}\cot\left(\frac{p+(f+f_0)}{2n}\right)F\left[kla^{+}(f+f_0)\right]\right\} \tag{5}$$

con $\boldsymbol{b}$ e f_0, per diffrazione da bordi verticali, angoli formati tra il raggio incidente e lo spigolo rispettivamente nel piano verticale e orizzontale (i ruoli si invertono per la diffrazione da bordi orizzontali), f angolo che individua il punto in cui si calcola il campo nel piano orizzontale, $F(x)$ integrale di Fresnel:

$$F(x)=2j\sqrt{x}e^{jx}\int_{\sqrt{x}}^{\infty}e^{-jt^2}dt\,, \tag{6}$$

e l è il fattore di distanza che dipende dalla congruenza incidente. Ad esempio per incidenza sferica si ha:

$$l=\frac{s\boldsymbol{r}}{s+\boldsymbol{r}}, \tag{7}$$

$$a^{\pm}(\boldsymbol{b})=2\cos^2\left(\frac{2n\boldsymbol{p}N^{\pm}-(f\pm f_0)}{2}\right) \tag{8}$$

con N interi che approssimano al meglio la condizione:

$$2\boldsymbol{p}nN^{\pm}-(f\pm f')=\pm\boldsymbol{p} \tag{9}$$

Con $R_{0;p,q}$ e $R_{n;p,q}$ coefficienti di riflessione per le facce 0 ed n dove la faccia n è valutata per un angolo $n\boldsymbol{p}-f$ [3].

ESEMPI

Un esempio dei risultati ottenibili dal programma di calcolo è riportato di seguito.

La scena è supposta costituita da un terreno piano con 10 edifici la cui altezza è rappresentata (con una amplificazione per la scale delle altezze) nella figura a. L'antenna trasmittente è posta su di un traliccio nell'angolo inferiore della scena.

Il contributo del campo diretto è rappresentato in Fig.b e mette in luce i risultati ottenibili dall'algoritmo di tracciamento dei raggi. La visione è in pianta e sono mostrati i valori di campo sul terreno e sui tetti degli edifici. Il livello di grigio è proporzionale al modulo del campo elettrico nel punto corrispondente.

Il contributo dei campi riflessi è visibile nella Fig.c

Il contributo dei campi diffratti è visibile (grazie ad una opportuna equalizzazione della scala dei grigi) in Fig.d.

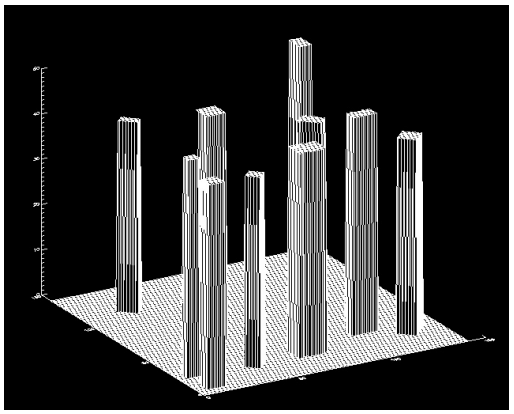

Fig.a

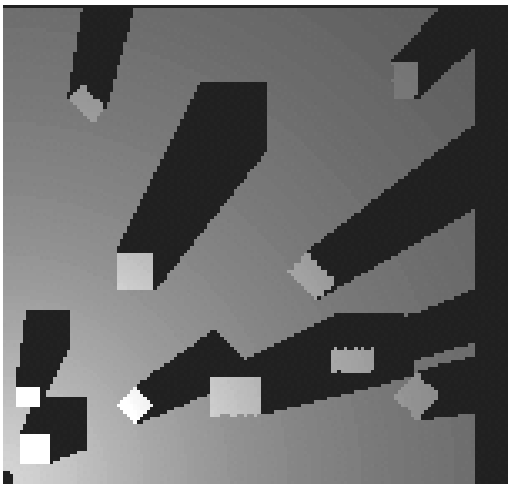

Fig.b

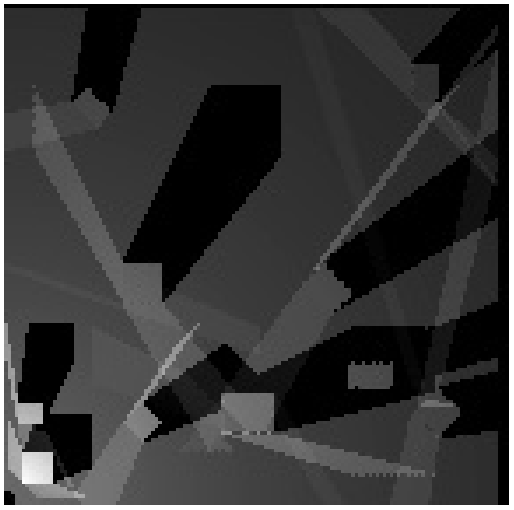

Fig.c

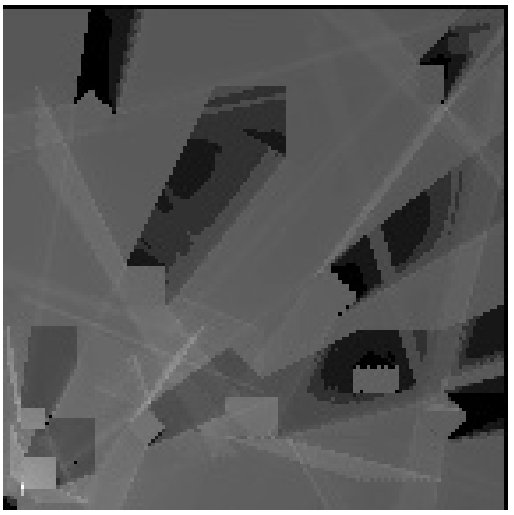

Fig.d

APPLICAZIONI DEL CODICE DI CALCOLO PRESENTATO

In una fase successiva, la gestione di tale programma potrebbe permettere di stabilire con analisi parametrica una possibile configurazione ottimale di antenne nel senso che sia conservato un livello di segnale utile ai ricevitori di dati dei sistemi di informazione, ma sia ridotto al minimo il segnale elettromagnetico indesiderato. Dall'analisi parametrica susseguente si potrebbero ricavare le stime dell'impatto ambientale del sistema attuale di antenne trasmittenti, ricevere suggerimenti super partes e su basi scientifiche per una riorganizzazione del sistema esistente e pianificare il sistema futuro. Il calcolo del campo elettromagnetico risulta infine il parametro in ingresso agli studi sul campo degli effetti biologici connessi.

BIBLIOGRAFIA

[1] G. Liang, H.L. Bretoni "A new approach to 3-D ray tracing for propagation prediction in cities", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol 46, pp. 853-863, 1998.

[2] R.F. Kouyoumjian, P.H. Pathak "A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface", *Proc. IEEE*, vol 62, pp. 1448-1461, 1974.

[3] R.J. Luebbers "Finite conductivity uniform GTD versus knife-edge diffraction in prediction of propagation path loss", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.32, pp.70-76, 1984.