APPROCCIO INTEGRALE AL CALCOLO DELLA PROPAGAZIONE DI CAMPO ELETTROMAGNETICO IN PRESENZA DI OSTACOLI DI DIMENSIONI CONFRONTABILI CON LA LUNGHEZZA D'ONDA

D. Trinchero, G. Roggia

Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino

c.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

D.Trinchero@polito.it

Abstract

The paper illustrates a numerically accelerated integral solution of the propagation of electromagnetic field, when the wavelength is comparable with the dimensions of the scattering objects. The method has been applied to the characterization of the electromagnetic field radiated by radio phonic emitters working with amplitude-modulated signals.

INTRODUZIONE

Scopo di questo lavoro è di mostrare come una tecnica completamente integrale (il metodo dei momenti) sia stata applicata mediante l'utilizzo di procedure di accelerazione, al calcolo del campo elettromagnetico irradiato da emettitori radiofonici operanti in modulazione di ampiezza nelle bande 525-1605 kHz (onde medie), al fine di predisporre uno strumento di valutazione utile per applicazioni protezionistiche. Se finalizzate a questo scopo, le misure di campo elettromagnetico nella zona di campo vicino sono estremamente difficoltose e spesso soggette a diverse fonti di errore. Alternativamente, l'applicazione di tecniche di simulazione deve tener conto della presenza di tutti gli ostacoli: si noti come per le bande in questione gli edifici e gli ostacoli abbiano dimensione paragonabile alla lunghezza d'onda. In generale, quando il calcolo del campo elettromagnetico irradiato interessa la zona di campo vicino di un'antenna, oppure la dimensione degli oggetti scatteranti è minore della lunghezza d'onda a cui avviene la propagazione, non è conveniente ricorrere a tecniche ottiche, mentre è necessario utilizzare tecniche basate sulla soluzione diretta delle equazioni di Maxwell in forma integrale o differenziale. Il recente sviluppo di algoritmi di accelerazione per la soluzione delle equazioni di Maxwell in forma integrale ha consentito l'applicazione del metodo dei momenti ad una grande varietà di problemi finalizzati alla

stima della propagazione di campo elettromagnetico. Sono stati sviluppati codici di calcolo basati sul MultiLevel Fast Multipole Algorithm (MLFMA) [1-3], che hanno consentito il calcolo della RCS di oggetti estremamente complessi, codici che consentono la predizione in 2D della propagazione di campo anche a grandissima distanza dalla sorgente [4], codici che consentono il calcolo dello scattering di campo elettromagnetico in strutture generiche [5]. Al fine dell'applicazione discussa nel presente lavoro, è stata scelta una formulazione completamente integrale, applicata sia ai casi 2D che 3D, accelerata mediante implementazione del MLFMA, tale da tenere in conto sia l'effetto della conducibilità finita del terreno che la propagazione attraverso gli ostacoli presenti nella regione oggetto dello studio.

FORMULAZIONE DEL PROBLEMA

Al fine dell'applicazione del metodo dei momenti, la regione da analizzare è stata suddivisa in N sottoregioni omogenee, caratterizzate da proprietà elettromagnetiche (ε_r, μ_r, σ) costanti all'interno di ogni sottoregione. In Fig.1 è rappresentata una situazione tipica, in cui sono evidenziati lo spazio libero, il terreno e sottoregioni con caratteristiche elettromagnetiche diverse.

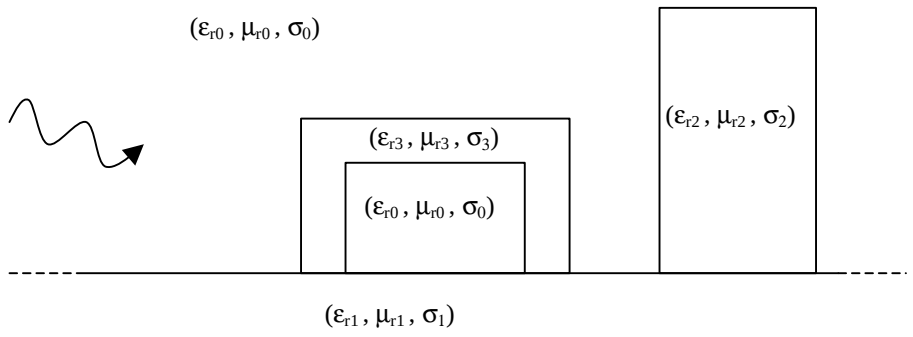

Fig. 1 Sezione bidimensionale dello schema analizzato. La regione 0 rappresenta lo spazio libero, la regione 1 il terreno, la regione 2 un ostacolo pieno, la regione 3 un ostacolo cavo

Mediante applicazione del teorema di equivalenza, le N sottoregioni sono state separate, e ci si è ricondotti alla formulazione del problema esterno e di (N-1) problemi interni. L'applicazione delle condizioni al contorno sulle superfici di discontinuità ha permesso di ottenere un set di equazioni integrali dove le incognite sono rappresentate dalle correnti elettrica e magnetica sulle stesse superfici [6]. In particolare, l'interfaccia con il terreno è stata trattata come una superficie di impedenza costante (Impedance Boundary Condition) [7].

DISCRETIZZAZIONE DELLA GEOMETRIA

Le superfici di discontinuità tra le N sottoregioni sono state discretizzate mediante triangolazione. Il profilo tridimensionale del terreno è stato prima acquisito attraverso la discretizzazione di curve di livello altimetriche a passo costante e successivamente è stato

ricostruito mediante interpolazione bi-lineare. La geometria degli ostacoli è stata caricata separatamente, assegnando agli stessi caratteristiche standard (spessore e caratteristiche elettromagnetiche dei muri degli edifici). Per ogni superficie si sono introdotte quindi funzioni di espansione a rooftop del tipo RWG (Rao Wilton Glisson), avendo cura di fissare condizioni di continuità all'intersezione tra le stesse superfici.

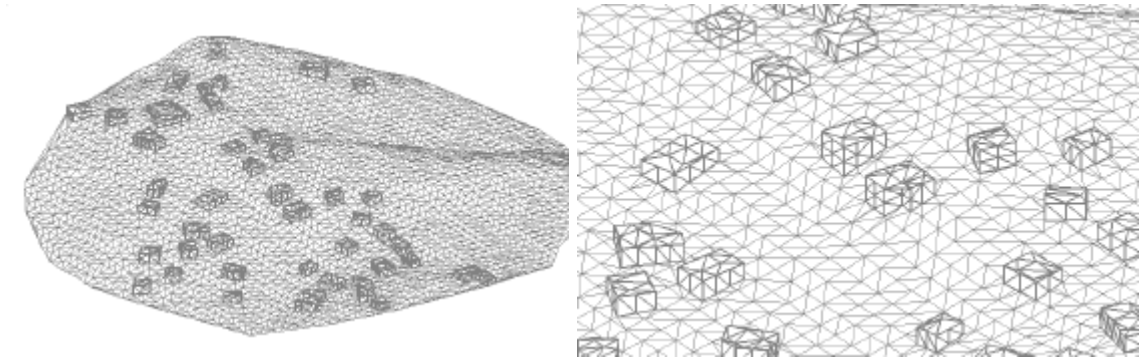

Fig. 2 Un prospetto di località Eremo (collina Torinese), dove è ubicato un emettitore radiofonico in operante in modulazione di ampiezza. In evidenza la griglia utilizzata per discretizzare terreno ed ostacoli. La quota altimetrica degli edifici (evidenziati in neretto) viene dedotta dal modello tridimensionale del terreno.

SOLUZIONE NUMERICA ACCELERATA DEL PROBLEMA INTEGRALE

L'approccio tradizionale alla soluzione del problema integrale descritto è in generale molto oneroso. Basti pensare che la geometria descritta in Fig.2, rappresentativa di un'area circolare di raggio 300 metri centrata nel punto di ubicazione di un'antenna trasmittente, conta circa 8000 elementi discreti, utilizzando un passo di discretizzazione di circa 10 metri. La soluzione diretta del sistema è stata quindi scartata, mentre si è applicata una soluzione iterativa. In particolare si è utilizzato il MLFMA [1-3], che consente di velocizzare i tempi di calcolo dei prodotti matriciali, qui particolarmente pesanti, visto il coinvolgimento di funzioni di Bessel sferiche di argomento complesso. Nonostante la presenza di un gran numero di edifici e di ostacoli è possibile ottenere, con tempi di esecuzione del tutto ragionevoli, un eccellente risultato, la cui accuratezza dipende solo dalla capacità di modellizzazione dell'ambiente.

RISULTATI

Il metodo esposto è stato applicato all'analisi di alcuni siti ubicati nei dintorni di Torino, per ottenere una fotografia del campo elettromagnetico presente nei dintorni di emettitori radiofonici operanti nelle bande 525-1605 kHz. In particolare è stato possibile realizzare mappe cromatiche della distribuzione di campo, calcolato ad un'altezza costante sul terreno (150 cm). Per il sito rappresentato in Fig.2, si riporta un interessante confronto tra la predizione effettuata in condizioni di campo libero, ipotizzando che l'emettitore sia realizzato mediante un dipolo a mezz'onda, per metà annegato all'interno di un terreno

inerte, e la predizione effettuata sull'antenna reale, collocata all'interno della geometria di Fig.2. La Fig.3 mostra la differenza che occorre tra i due metodi utilizzati, lungo una direzione radiale descritta a partire dal centro elettrico dell'antenna. Nel caso 1 (tratto continuo) il campo è stato calcolato inseguendo il profilo irregolare del terreno; nel caso 2 (tratto in punto e linea) si sono assegnate agli edifici ed al terreno caratteristiche geometriche ed elettromagnetiche standard.

BIBLIOGRAFIA

[1] Lu and Chew, "A fast algorithm for solving hybrid integral equation", *IEE Proceedings-H*, vol.140, no.6, pp. 455'460, 1993.

[2] Song and Chew, "Multilevel fast-multipole algorithm for solving combined field integral equations of electromagnetic scattering", *Micro. Opt. Tech. Lett.*, vol.10, no.1, pp. 14-19, Sept. 1995.

[3] Song, Lu, Chew, Lee, "Fast Illinois Solver Code (FISC)", *IEEE Ant. Propag. Mag.*, vol.48, pp.27-34, June 1998.

[4] Brennan and Cullen, "Application of the fast far-field approximation to the computation of UHF path-loss over irregular terrain", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 46, no. 6, pp. 881-890, June 1998.

[5] C.Y.Shen, K.J. Glover, M.I. Sancer and A.D. Varsatsis, "The discrete Fourier transform method of solving differential differential-integral eqauations in scattering theory", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 37, no. 8, pp.1032-1049, Aug. 1989.

[6] P.L. Huddleston, L.N. Medgyesi-Mitschang and J.M. Putnam, "Combined filed integral equation formulation for scatterinf bodies of revolutions", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 34, no.4, pp.510-520, Apr. 1986.

[7] T.B.A. Senior, "Approximate boundary conditions", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 29, no.8, pp.826-829, Aug. 1981.

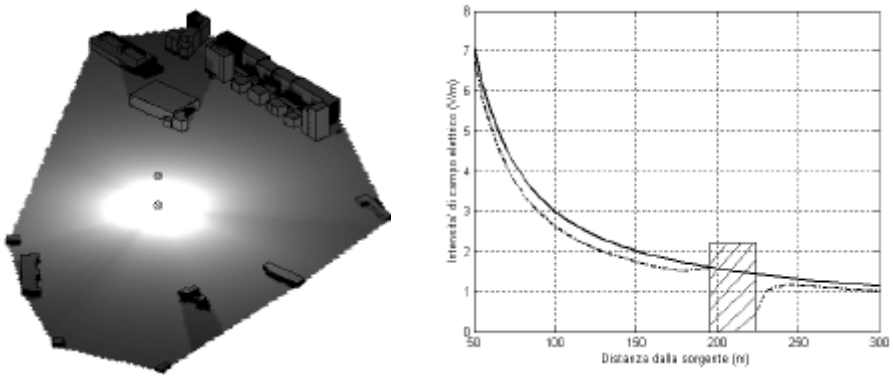

Fig. 3 Mappa cromatica di campo irradiato da un emettitore ubicato a ridosso di edifici. Confronto tra i risultati ottenuti con il metodo di campo libero (tratto continuo), ed il metodo proposto, nelle ipotesi di ostacoli con caratteristiche reali (punto-linea). Il campo è calcolato lungo una direzione radiale che segue il profilo inclinato del terreno. L'ostacolo è rappresentato dal blocco tratteggiato.