

VALUTAZIONE NUMERICA DELL'ESPOSIZIONE DELL'UOMO ALLE ANTENNE DELLE STAZIONI RADIO BASE

P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, E. Piuzzi

Dipartimento di Ingegneria Elettronica, Università di Roma "La Sapienza"
via Eudossiana 18 - 00184, Roma
bernardi@die.uniroma1.it

Abstract

In this paper, two numerical techniques, namely the multiple-region / FDTD (MR / FDTD) and the ray-tracing / FDTD (RT / FDTD), suitable for an efficient evaluation of human exposure to the electromagnetic field radiated from a GSM radio-base station antenna under various exposure conditions, are presented. The results show that RT / FDTD is the best technique to evaluate exposure in complex multi-reflection environment, like an urban scenario, typical of general population exposure, while MR / FDTD is the most suitable technique for assessing exposure in the vicinity of the radiating antenna, mainly for the characterisation of occupational exposure. The analysed situations have shown that, for typical base station installations in urban area, general public exposure results in SAR values that are at least one order of magnitude lower than the corresponding basic restriction, and that SAR approaches basic restrictions only for exposures occurring at distances as close as 1 m from the antenna.

INTRODUZIONE

L'enorme crescita del numero di utilizzatori dei sistemi di telefonia cellulare ha determinato una sempre maggiore presenza di stazioni radio base in aree densamente popolate. Di conseguenza, sono sorte preoccupazioni circa possibili effetti nocivi per la salute delle persone esposte. Questo problema è particolarmente sentito dalla popolazione, che può essere esposta ai campi emessi dalle antenne delle stazioni radio base per un lungo lasso di tempo, anche se i livelli di esposizione sono relativamente bassi. Campi ben più forti, sebbene per periodi di esposizione più brevi, possono essere sperimentati dal personale tecnico che, essendo addetto alla manutenzione degli apparati delle stazioni radio base, può trovarsi a lavorare in vicinanza delle antenne.

La sicurezza delle stazioni radio base, per quel che riguarda l'esposizione umana, viene attualmente valutata con diverse metodologie, a seconda della distanza dall'antenna. In particolare, la normativa CENELEC attualmente in fase di approvazione [1] stabilisce che la valutazione delle distanze di rispetto dalle antenne, qualora ci si trovi nella regione di campo vicino reattivo dell'antenna stessa, deve essere fatta sulla base dello studio dei livelli di SAR assorbiti da un soggetto esposto. Al contrario, nelle regioni di campo radiativo vicino e di campo lontano dell'antenna, una semplice valutazione dei livelli di campo elettrico o magnetico è considerata sufficiente. Tuttavia, specialmente nel campo radiativo vicino, a causa dell'alta direttività sul piano verticale delle antenne per stazioni radio base, il campo incidente risulta essere fortemente non uniforme. Pertanto, la stessa normativa stabilisce che la valutazione delle distanze di rispetto deve

essere condotta in modo cautelativo sulla base del valore di picco del campo. Nei casi in cui il valore di picco è maggiore dei livelli di riferimento presenti nella normativa, è nuovamente necessaria un'analisi dosimetrica dei livelli di SAR.

Da quanto sopra, emerge chiaramente l'importanza di avere a disposizione tecniche che consentano la valutazione del SAR per un'ampia gamma di distanze dalle antenne ed anche in presenza di ambienti multi-riflettenti. In questo lavoro verranno presentate due di queste tecniche adatte, rispettivamente, alla caratterizzazione dell'esposizione in ambiente urbano ed in prossimità della sorgente.

METODI

Il metodo delle differenze finite nel dominio del tempo (finite difference time domain - FDTD) è attualmente il più applicato per lo studio dei problemi dosimetrici [2]. Tuttavia, a grandi distanze dall'antenna, i costi computazionali di tale metodo diventano proibitivi a causa del criterio di accuratezza, che richiede celle di dimensioni inferiori a un decimo di lunghezza d'onda. D'altro canto, la propagazione del campo in ambienti di grande estensione può essere efficientemente studiata usando l'integrale di Kirchhoff (Kirchhoff's integral - KI) o la tecnica dei raggi (ray tracing - RT). Tuttavia, queste due tecniche non sono adatte allo studio di oggetti di forma complessa come il corpo umano. Un modo per superare i punti deboli di ciascuna tecnica consiste nel combinare l'FDTD, utilizzata per la valutazione del campo in regioni di estensione limitata contenenti l'antenna, il soggetto esposto ed eventuali altri oggetti diffondenti, con il KI o l'RT, utilizzati per studiare la propagazione del campo nello spazio vuoto che separa queste regioni.

In questo lavoro verranno descritte due tecniche ottenute combinando l'FDTD con il KI ed il RT, rispettivamente: l'FDTD a regioni multiple (multiple region FDTD – MR / FDTD) [3], [4], che si basa sull'utilizzo dell'FDTD unitamente al KI, e la tecnica ibrida ray-tracing / FDTD (RT / FDTD) [4], [5]. Verrà mostrato come l'applicazione di tali tecniche consenta di risolvere il problema dosimetrico per una svariata gamma di situazioni espositive.

Nel metodo MR / FDTD il dominio da studiare viene suddiviso in più sottodomini che racchiudono le strutture di interesse (tipicamente antenna e uomo). Le sorgenti che contribuiscono al campo in ogni sottodominio sono sia quelle interne al dominio stesso che quelle esterne, il cui effetto viene preso in considerazione tramite il principio di equivalenza. Questo principio è applicato dividendo ogni sottodominio in due regioni, separate da una superficie di equivalenza (S): una regione interna di campo totale ed una regione esterna di campo diffuso. La discontinuità tra campo totale e campo diffuso viene sostenuta da correnti equivalenti che scorrono su S e che sono ottenute applicando il KI ad una superficie S' collocata nella regione di campo diffuso degli altri sottodomini.

Nella tecnica RT / FDTD, l'FDTD è utilizzata esclusivamente per calcolare il campo in un sottodominio contenente il soggetto esposto, mentre le sorgenti, la propagazione di campo e gli eventuali effetti ambientali sono studiati tramite l'RT. Di conseguenza, le sorgenti che contribuiscono al campo nel sottodominio sono esclusivamente esterne e, in modo simile al metodo MR / FDTD, il loro effetto è tenuto in conto per mezzo del principio di equivalenza. In questo caso, il campo elettromagnetico incidente, necessario alla valutazione delle correnti equivalenti su S, viene calcolato per mezzo dell'RT. Le

eventuali riflessioni ambientali (ad opera di pareti piane con caratteristiche reali) vengono riprodotte con l'ausilio di sorgenti immagine.

RISULTATI

Le tecniche sopra descritte sono state applicate allo studio dell'esposizione di un soggetto al campo irradiato dall'antenna di una stazione radio base, sia in ambiente urbano che nelle immediate vicinanze dell'antenna.

L'antenna considerata è una tipica "panel antenna" operante nella banda GSM900, con aperture a -3 dB sul piano orizzontale e verticale di 90° e 13°, rispettivamente, ed un guadagno massimo di 14 dBi. La potenza irradiata dall'antenna è stata supposta pari a 30 W, valore caratteristico per una stazione radio base con quattro trasmettitori. Il modello utilizzato per il corpo del soggetto esposto è stato derivato a partire dalle immagini del "Visible Human" ed ha una risoluzione di 5 mm.

Inizialmente sono state studiate, utilizzando la tecnica RT / FDTD, tre tipiche situazioni di esposizione per una installazione sul tetto di un palazzo: esposizione sul tetto del palazzo stesso, sul balcone del palazzo di fronte ed, infine, sulla strada sottostante il palazzo. I risultati ottenuti hanno mostrato che i livelli di esposizione più elevati si ottengono in corrispondenza dei balconi del palazzo di fronte e che, a seguito delle riflessioni ambientali, sono presenti forti non uniformità del campo con valori di picco fino al 50% superiori ai valori medi (vedi Tab. 1). In tutti i casi, si sono ottenuti valori di SAR ben al di sotto dei limiti delle normative e, confrontando i risultati con quelli ottenuti nel caso di esposizioni uniformi, si è verificato come le non uniformità, quando derivanti dalle riflessioni ambientali, non hanno grosse influenze sui livelli di SAR, sia mediati su tutto il corpo che locali.

Tab. I: Campo di esposizione (max e medio) e valori di SAR (mediati su 1 g, 10 g e tutto il corpo) per una tipica stazione radio base montata sul terrazzo di un palazzo e operante a 900 MHz con una potenza irradiata di 30 W

	$E_{I\max}$ (V/m)	$E_{I\text{med}}$ (V/m)	SAR_{1g} (mW/kg)	SAR_{10g} (mW/kg)	SAR_{WB} (mW/kg)
Terrazzo del palazzo	4.2	2.8	5.3	3.0	0.12
Balcone di fronte	8.1	5.5	13.2	8.5	0.46
Strada sottostante	1.3	1.1	0.26	0.17	0.01

Per caratterizzare le esposizioni di tipo lavorativo, si è proceduto ad analizzare l'esposizione di un soggetto posto di fronte all'antenna e a piccole distanze dalla stessa. Questo studio, condotto utilizzando sia la tecnica MR / FDTD che RT / FDTD, ha mostrato che i livelli di SAR ottenuti sono inferiori ai limiti imposti dall'ICNIRP [6], per esposizioni lavorative e per la popolazione, a distanze maggiori di 10 cm e 110 cm, rispettivamente. Il confronto tra le due tecniche utilizzate, mostrato in Fig. 1, mostra come, per distanze inferiori a 2 m, l'RT / FDTD non fornisce risultati soddisfacenti in quanto trascura l'accoppiamento mutuo tra antenna e soggetto. L'effetto di questo

accoppiamento, come mostrato dai risultati del MR / FDTD, è la comparsa di risonanze relative alla struttura formata dal riflettore dell'antenna e dal corpo umano.

In questa regione vicina all'antenna si è potuto verificare che, in presenza delle non uniformità di campo dovute alla direttività verticale dell'antenna, il SAR mediato su tutto il corpo è proporzionale al campo mediato su una superficie equivalente al corpo, mentre il SAR locale risente fortemente dei picchi di campo.

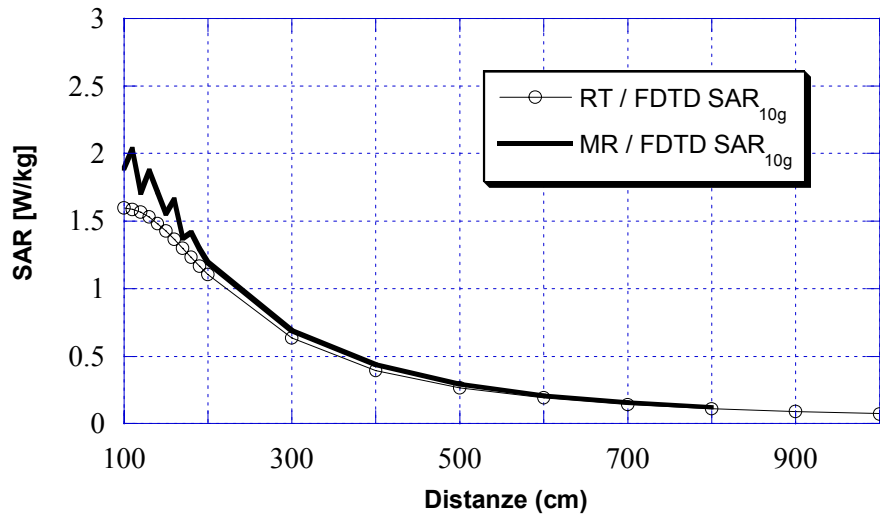


Fig. 1: Massimo SAR mediato su 10 g per un soggetto posto di fronte ad un'antenna per stazione radio base nella direzione di massima radiazione. Confronto tra MR / FDTD e RT / FDTD.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CENELEC EN 50383, *Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz - 40 GHz)*, November 2001.
- [2] A. Taflove, *Advances in Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method*, Artech House, London, 1998.
- [3] J.M. Johnson and Y. Rahmat-Samii, "MR / FDTD: a multiple-region finite-difference-time domain method and its application to microwave analysis and modeling," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 14, pp. 101-105, 1997.
- [4] P. Bernardi, M. Cavagnaro, P. D'Atanasio, E. Di Palma, S. Pisa, and E. Piuze, "FDTD, multiple-region / FDTD, ray-tracing / FDTD: a comparison on their applicability for human exposure evaluation", to be published on *International Journal of Numerical Modelling*, Sept/Oct 2002 issue.
- [5] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, and E. Piuze, "Human exposure to radio base station antennas in urban environment," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, no. 11, pp. 1996-2002, November 2000.
- [6] ICNIRP Guidelines, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", *Health Physics*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.