

## **Un Metodo Semplificato ma Conservativo per la Valutazione del Campo Irradiato nella Regione di Fresnel**

Daniele Trincherò(1), Riccardo Stefanelli(1), Alessandro Galardini(1),  
Paolo Gianola(2), Renato Scotti(2), and Roberto Vallauri(2)

(1) iXem Labs, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino, Torino, 10129, Italia

(2) Telecom Italia Lab, Torino, via Reiss Romoli 74, Italia

E-mail: [info@iXem.polito.it](mailto:info@iXem.polito.it)

### **Riassunto**

*Recentemente è stato pubblicato un metodo basato sull'utilizzo dei diagrammi di Fraunhofer per la valutazione dell'esposizione nella regione di Fresnel. Il metodo permette una soluzione immediata e non richiede la conoscenza di alcun dato relativo al geometrico o elettrico del radiatore, rappresentando uno strumento efficiente per la valutazione del campo irradiato in tutte quelle situazioni che coinvolgono la presenza di luoghi accessibili al pubblico all'interno della regione di Fresnel. L'articolo analizza l'applicabilità del metodo proposto, e introduce alcuni risultati preliminari che ne dimostrano l'utilizzabilità e l'affidabilità per chi si occupa di valutazioni di impatto ambientale, al fine di stimare l'esposizione nelle vicinanze di Stazioni Radio Base (SRB) per telefonia mobile.*

### **INTRODUZIONE**

Per finalità di tipo protezionistico, il campo irradiato da una sorgente elettromagnetica è generalmente calcolato nella regione di Fraunhofer del radiatore, dove la propagazione è sferica e il guadagno d'antenna non dipende dalla distanza tra la sorgente e il punto di osservazione, ma solo dalla posizione angolare di quest'ultimo. Questa regione si estende da un limite inferiore fino all'infinito; il limite inferiore dipende dalle caratteristiche dell'antenna, può variare, ma in tutte le applicazioni radiotelecomunicazionistiche, il punto ricevente è quasi sempre collocato all'interno di questa regione. Per questo motivo, i produttori di antenne forniscono agli utilizzatori data-sheets contenenti i soli parametri utili per calcolare il campo irradiato nella regione di Fraunhofer: il guadagno, i tagli del diagramma copolare e cross-polare nei piani coordinati, l'impedenza di antenna. A seguito della pubblicazione delle più recenti norme protezionistiche, gli Istituti di molti paesi hanno iniziato a richiedere una verifica preliminare del campo elettromagnetico irradiato dai sistemi radianti di prossima installazione, sia quelli appartenenti alle reti radio a media potenza (telefonia mobile) che ad alta potenza (broadcast). Nella maggior parte dei casi, questa richiesta viene esaudita eseguendo una valutazione numerica preliminare del campo irradiato nei dintorni dell'installazione. L'analisi è normalmente basata su tecniche valide nella sola regione di campo lontano, applicate nello spazio libero o accompagnate dall'utilizzo di tecniche raggistiche, per tenere in considerazione gli effetti degli ostacoli [1]. In generale tutte queste tecniche utilizzano il diagramma d'irradiazione dell'antenna, valido solo nella regione di Fraunhofer della sorgente.

Soprattutto le antenne utilizzate per le comunicazioni cellulari e micro-cellulari sono normalmente poste in prossimità degli ambienti di vita: non è improbabile che questi sistemi possano essere così vicini ai luoghi di pubblico accesso, che questi ultimi si trovino in vicinanza della sorgente, rispetto al limite della regione di Fraunhofer. Per applicazioni nelle regioni vicine al radiatore, alcuni autori propongono l'uso di tecniche numeriche di tipo "esatte full wave". Sfortunatamente, queste tecniche richiedono un grande onere computazionale e un'accurata caratterizzazione sia della geometria che della configurazione elettrica dell'antenna, informazioni che devono essere necessariamente fornite dal produttore, ponendo alcune criticità originate dalla protezione della proprietà intellettuale. Alternativamente, la letteratura mette a disposizione il cosiddetto "modello cilindrico", o metodo Faraone [2], [3], che utilizza formule semplificate per rappresentare la propagazione in zona di Fresnel in termini di onde cilindriche. Il metodo può essere applicato con successo alle antenne utilizzate per le stazioni radio base, ed è stato validato mediante confronti con simulazioni e attività sperimentali [4].

## II METODO TRINCHERO

Si tratta di un metodo di recente pubblicazione [4], basato su un approccio semplificato, che non richiede la conoscenza di altri parametri, al di fuori di quelli necessari per calcolare il campo in regione di Fraunhofer: il guadagno, i tagli del diagramma nei piani coordinati, le dimensioni complessive, la potenza di alimentazione. Il metodo introduce una valutazione analitica diretta del campo, partendo esclusivamente dalla conoscenza dei tagli orizzontali e verticali del diagramma d'irradiazione, ciascuno modificato attraverso fattori di correzione che introducono una dipendenza dalla distanza e dalla direzione di osservazione, tipiche della regione di Fresnel del radiatore. Ad esempio, la densità di potenza  $S$  irradiata in qualsiasi piano verticale è calcolata come:

$$S(r, \vartheta) = S_{FR}(r, \vartheta) + \Delta_{PV}(r, \vartheta) + \Delta'_P \sin^2(\tau(\vartheta, \vartheta_M)) \quad (1)$$

dove  $S_{FR}$  è la densità di Potenza in quel piano, calcolata attraverso i diagrammi d'irradiazione standard di Fraunhofer, e le funzioni  $\Delta$  introducono i coefficienti di correzione che garantiscono un risultato conservativo, evitando eccessive sovrastime.

Nell'equazione (1), il parametro  $\Delta_{PV}$  rappresenta la differenza tra le due espressioni della potenza irradiata, calcolata tenendo in considerazione, rispettivamente i primi tre e i primi due termini delle espansioni in serie dell'argomento della fase della funzione di Green, per una distribuzione di corrente nota, di lunghezza  $D$  (essendo  $D$  la dimensione verticale dell'antenna), costante in ampiezza e con sfasamento progressivo tale da produrre un angolo di tilt pari a quello dell'antenna:

$$\Delta(r, \vartheta) = \left| \underline{E}_{3t}(\underline{r}) \right|^2 / Z_0 - \left| \underline{E}_{2t}(\underline{r}) \right|^2 / Z_0 \quad (2)$$

Il termine  $\Delta_{PV}$  rappresenta un termine di correzione efficiente, che tiene in considerazione le variazioni nella distribuzione di campo in regione di Fresnel, ma sfortunatamente non offre sufficienti garanzie di sovrastima. Per questo motivo, si introduce un secondo termine  $\Delta'_P$ :

$$\Delta'_P = (\Delta_0 - (\Delta_1 + \Delta_2)) / 3 \quad (3)$$

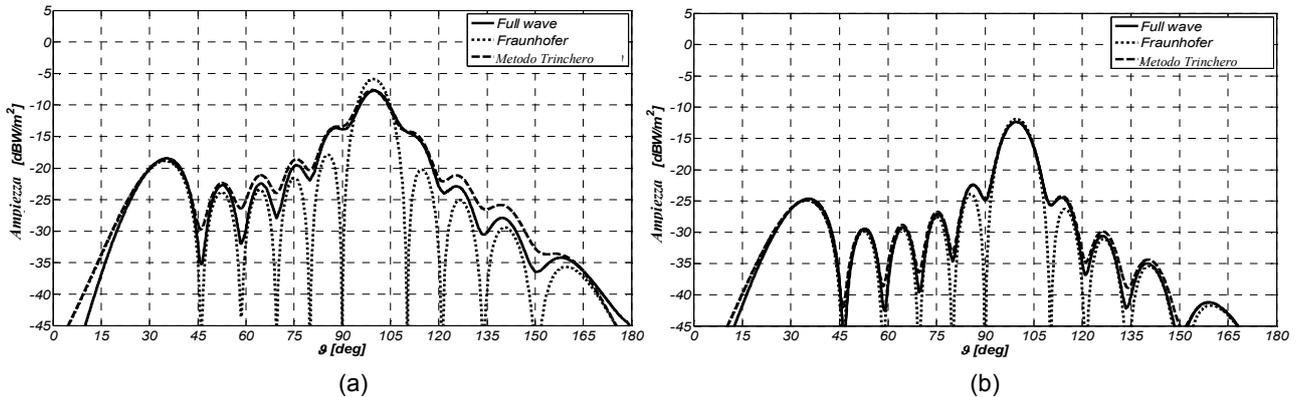
dove  $\Delta_0$  è la riduzione della densità di potenza del lobo principale, mentre  $\Delta_1$  e  $\Delta_2$  sono gli incrementi della densità di potenza in corrispondenza dei primi zeri del diagramma d'irradiazione di Fraunhofer.

Seguendo lo stesso principio, l'applicazione del metodo alle schiere planari, richiede un'analogia ma indipendente modifica dei tagli orizzontale e verticale, attraverso l'utilizzo di due formule simili alla (1). I tagli orizzontali e verticali modificati possono essere quindi combinati attraverso o la moltiplicazione diretta o con qualsiasi formula disponibile in letteratura [4].

## APPLICAZIONE E VALIDAZIONE DEL METODO

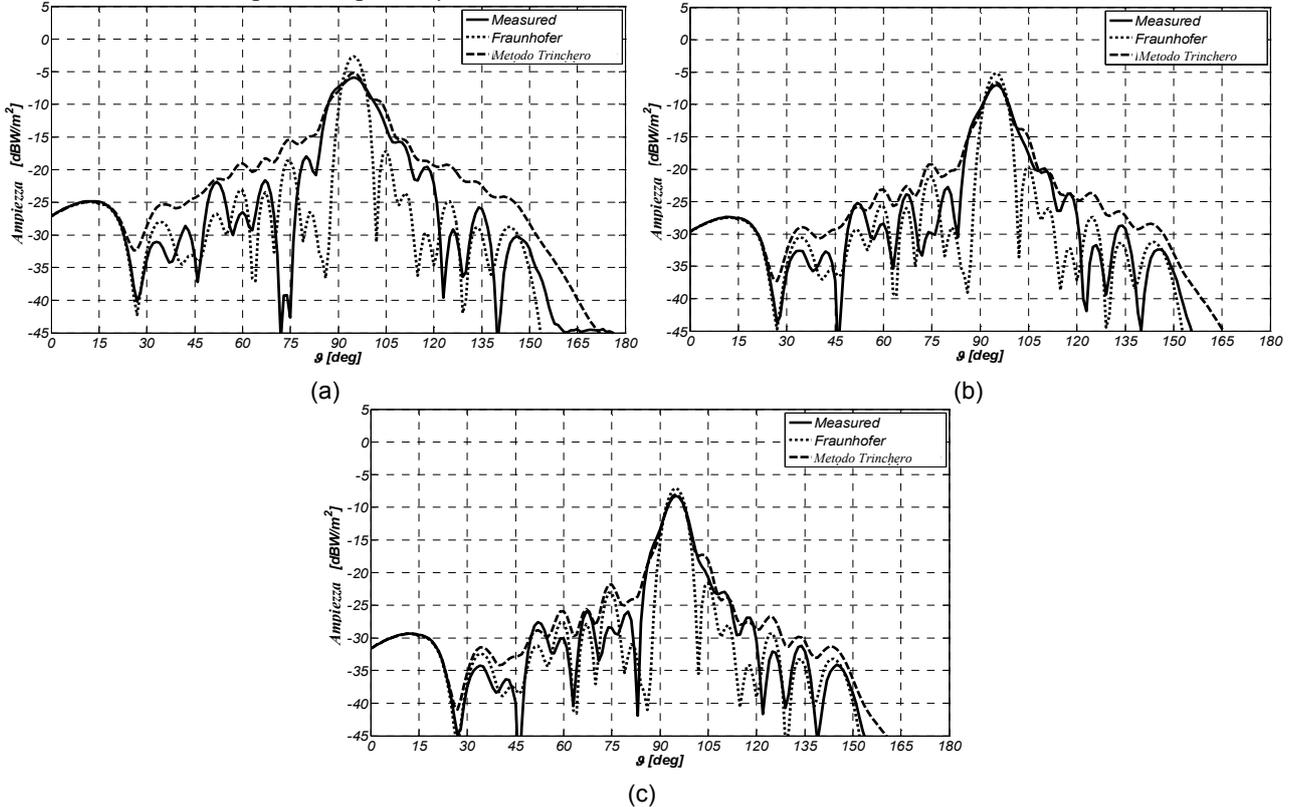
Per verificare la congruità del metodo vengono presentati due confronti con le simulazioni "esatte" e con le misure. In particolare, è stato calcolato il campo nella regione di Fresnel per alcune antenne utilizzate per SRB: Kathrein modello 730691, a 900 MHz con 10° di tilt elettrico e Kathrein modello 742215, a 2.11GHz con 5° di tilt elettrico. I tagli nel piano meridiano sono stati calcolati con il metodo descritto nel precedente paragrafo, e quindi paragonati alle simulazioni ottenute con un metodo "full-wave" o ai risultati di misurazioni. I risultati numerici, per le prime due antenne, sono stati calcolati usando il programma NEC-2, mentre le misure, per la terza, sono state fornite dal costruttore.

Figura 1 Taglio del piano verticale della densità di Potenza, prima antenna



Taglio del piano verticale della densità di Potenza irradiata alla distanza di 4 metri (a) e 8 metri (b) da un'antenna modello Kathrein n° 730691 alimentata con 1W di potenza, 10° di tilt elettrico, 0.9GHz. Metodo "Esatto Full wave" (linea continua), Diagramma Fraunhofer (linea punteggiata), metodo Trinchero (linea tratteggiata)

Figura 2 Taglio del piano verticale della densità di Potenza, seconda antenna



Taglio del piano verticale della densità di Potenza irradiata alla distanza di 3 metri (a), 4 metri (b) e 5 metri (c) da un'antenna modello Kathrein n° 742215 alimentata con 1W di potenza a 2.11GHz. Misure (linea continua), Diagramma Fraunhofer (linea punteggiata), metodo Trinchero (linea tratteggiata)

La figura 1 mostra i tagli del diagramma meridiano calcolati a 4 metri e 8 metri dal centro della prima antenna SRB. Il metodo stima molto bene il lobo principale e il primo lobo secondario, ed è conservativo per i successivi. La figura 2 evidenzia i tagli meridiani calcolati a 3, 4 e 5 metri dal centro della terza antenna. Come nei casi precedenti, anche in questo si evidenzia la buona stima del lobo principale e del primo lobo secondario. Inoltre, risulta evidente l'insufficienza della simulazione che utilizza il solo diagramma di campo lontano, presente che fornisce una chiara sottostima.

## CONCLUSIONI

È stata evidenziata la bontà di un recente metodo di analisi, introdotto per fornire uno strumento di semplice implementazione e di immediata applicazione, ma anche adeguatamente conservativo, per la valutazione dell'esposizione nella regione di Fresnel. Il metodo è stato paragonato a simulazioni "full wave" e a misure per tipologie diverse di antenne. I risultati hanno evidenziato buoni risultati, soprattutto per quanto riguarda la parte più critica: la stima del lobo principale e del primo lobo secondario. Questo dimostra la validità e l'affidabilità dell'approccio, che non richiede una caratterizzazione della distribuzione di corrente sul radiatore.

## Bibliografia

- [1] P. Bernardi, M. Caragnaro, S. Pisa, and E. Piuze, "Human exposure to radio base-station antennas in urban environment," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, pp. 1996–2002, Nov. 2000.
- [2] A. Faraone, R.Y.-S. Tay, K.H. Joyner, and Q. Balzano, "Estimation of the average power density in the vicinity of cellular base-station collinear array antenna," *IEEE Transaction VT*, Vol. 49, No. 3, May 2000.
- [3] R. Cicchetti and A. Faraone, "Estimation of the peak power density in the vicinity of cellular and radio base station antennas," *IEEE Trans EMC*, Vol. 46, No. 2, May 2004.
- [4] D. Trincherò, A. Galardini, R. Stefanelli, B. Fiorelli, P. Gianola, R. Scotti, R. Vallauri, "A Fraunhofer-based Approach for the Assessment of the Field Radiated in the Fresnel Region of an Antenna", in pubblicazione on *IEEE Antennas, Wireless and Propagation Letters*, Vol.. 9, 2009