

# **Incertezze imputabili ai dati di ingresso in un modello di simulazione di campo elettromagnetico generato da Stazioni Radio Base per telefonia mobile**

Bettella D., Bano M., Bertolo A., Gambato E.

ARPA Veneto – Dipartimento di Padova - via Ospedale 22, 35121 Padova, dbettella@arpa.veneto.it

## **RIASSUNTO**

*La simulazione modellistica di campo elettromagnetico emesso dagli impianti fissi di telecomunicazioni costituisce uno strumento essenziale per la verifica ed il controllo preventivo del rispetto dei valori limite di campo imposti dalla normativa vigente. L'algoritmo di calcolo maggiormente utilizzato presso l'Agenzia Regionale di Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) si fonda su ipotesi semplificative, fra cui l'assunzione che la propagazione delle onde elettromagnetiche avvenga in condizioni di campo lontano, ovvero con i campi elettrico e magnetico mutuamente dipendenti, e in condizioni di campo libero, ovvero supponendo che ogni ostacolo sia trasparente alla propagazione; le stime fornite dall'algoritmo risultano generalmente cautelative.*

*In questo contesto, il presente lavoro intende analizzare in quale misura i valori di campo elettromagnetico calcolati siano sensibili alle variazioni dei parametri radioelettrici ed urbanistici di input, stabilendo quindi una "scala di importanza" per determinare quali variabili influiscano significativamente sul risultato della modellizzazione. Vengono presentati i risultati di una serie di prove di simulazione eseguite con i principali modelli di antenna utilizzati nelle Stazioni Radio Base, ipotizzando incertezze sia sulle potenze e sulle altre caratteristiche radioelettriche (tilt, direzione di puntamento), sia sui dati di posizionamento.*

*Sulla base di quanto osservato viene esaminato un caso reale, supponendo che i dati radioelettrici ed urbanistici, forniti dai gestori degli impianti ed inseriti nello strumento modellistico, subiscano variazioni, la cui entità tiene conto delle incertezze di input connesse sia alla conoscenza delle caratteristiche peculiari del territorio, sia alle tolleranze concesse al gestore in fase di fornitura dei dati tecnici all'Agenzia.*

## **INTRODUZIONE**

Per eseguire la simulazione modellistica di campo elettromagnetico emesso dagli impianti fissi di telecomunicazioni, ARPAV dal 2000 si è dotata di ETERE, uno strumento software i cui elementi fondamentali sono il catasto regionale informatizzato e georeferenziato delle sorgenti e la Carta Tecnica Regionale contenente i dati urbanistici degli edifici presenti in Veneto (Casarotto, 2006). ETERE assume che la propagazione delle onde elettromagnetiche avvenga in condizioni di "campo lontano", ovvero con i campi elettrico e magnetico mutuamente dipendenti; per distanze  $r$  da un'antenna trasmittente per cui valgano le condizioni di campo lontano, ovvero per distanze  $r$  maggiori del valore  $d_{CL}$  ottenuto come massimo tra  $2d^2/\lambda$  e  $\lambda$  ( $d$  = massima distanza rilevabile tra due punti appartenenti alla sorgente,  $\lambda$  = lunghezza d'onda della radiazione emessa), i valori efficaci di campo elettrico  $E(V/m)$ , di campo magnetico  $H(A/m)$  e di densità di potenza  $S(W/m^2)$  in campo libero sono dati dalle seguenti note relazioni:

$$E = \sqrt{\frac{377 \cdot P \cdot G \cdot A_o \cdot A_v}{4 \cdot \pi \cdot r^2}}$$

$$H(A/m) = \frac{E(V/m)}{377}$$

$$S(W/m^2) = E(V/m) \cdot H(A/m)$$

$P(W)$  = potenza efficace massima all'apparato di antenna

$G$  = guadagno dell'antenna (espresso in volte)

$r$  = distanza (in metri) dal centro elettrico della sorgente

$A_o$  = attenuazione sul piano orizzontale

$A_v$  = attenuazione sul piano verticale

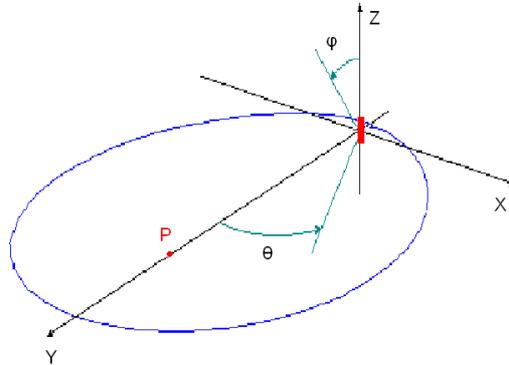
L'algoritmo fornisce stime generalmente cautelative dal punto di vista radioprotezionistico, poiché considera le antenne sempre funzionanti alla massima potenza e non tiene conto della conduttività del terreno e dell'azione schermante degli edifici.

## **METODOLOGIA DI LAVORO**

I valori di campo elettrico calcolati da ETERE in un punto generico  $P$  dipendono dai dati in ingresso riferiti alle sorgenti (fra cui la potenza, il guadagno e la distanza di  $P$  dal centro elettrico della sorgente). Per valutare la sensibilità del modello alla variazione dei parametri di input, e quindi la loro influenza sul risultato della modellizzazione, sono state effettuate delle prove di calcolo di campo elettrico, valutando la variazione di quest'ultimo in funzione della variazione dei parametri in ingresso.

Si è considerato un sistema di riferimento ortogonale XYZ con una sorgente nell'origine e l'asse Y diretto dalla sorgente al punto di calcolo; sono state introdotte le grandezze  $\theta$ , orientazione sul piano orizzontale, e  $\varphi$ , orientazione sul piano verticale (Fig. n. 1). Tali grandezze descrivono la localizzazione dell'antenna relativamente al punto P.

Fig. 1: Sistema di riferimento utilizzato



Dopo aver posizionato il punto P a una certa distanza  $d$  dalla sorgente tale da rispettare le ipotesi di campo lontano, sono state eseguite alcune prove spostando il punto P e calcolando di volta in volta il valore di campo elettrico. Le posizioni alternative per il punto P sono state scelte sulla base delle tolleranze che vengono concesse ai gestori di telefonia mobile nella loro trasmissione dei dati radioelettrici ad ARPAV: le coordinate spaziali X e Y sono state variate di 3, 6, 9 m in eccesso e in difetto rispetto alla posizione standard, la coordinata Z è stata variata (sempre in eccesso e in difetto) di 1, 2, 3 m, mentre le coordinate angolari  $\theta$  e  $\varphi$  sono state modificate (in eccesso e in difetto) di 5°, 10°, 15° e di 2°, 4°, 6° rispettivamente. Si ottiene in tal modo una serie di punti di "controllo" alternativi che tengono conto della possibile differenza tra dati inseriti in ETERE per il calcolo del campo e dati spaziali reali. Le scelte fatte per le entità degli spostamenti spaziali e angolari sono derivate dalla conoscenza e dall'esperienza maturate nel corso della preparazione dei pareri radioprotezionistici ai sensi della normativa in materia (D.Lgs. 259/03): ad esempio, valori di indeterminazione di qualche metro sul piano orizzontale o in senso verticale sono frequentemente riscontrabili.

Il punto P "imperturbato" è stato posizionato ad una distanza dalla sorgente scelta come compromesso tra la necessità di soddisfare le ipotesi di campo lontano e la scelta di ottenere valori di campo dell'ordine di qualche V/m.

Per ciascuno dei punti considerati, il campo elettrico è stato ricavato come media quadratica dei valori ottenuti a tre altezze, pari a 1.1, 1.5, 1.9 m al di sopra della quota del punto rispettivo: le tre quote corrispondono alle posizioni nelle quali si effettuano abitualmente le misure di campo elettromagnetico, secondo quanto indicato dalla norma CEI (Norma CEI 211-7, 2001).

Nelle simulazioni si è trascurata la possibile variabilità del guadagno e, per quanto riguarda la potenza, si è osservato che una variazione in eccesso fino al 20% del valore nominale non causa modificazioni apprezzabili nel risultato finale. Si è pertanto rinunciato ad indagare nel dettaglio l'influenza delle alterazioni di potenza sul campo elettrico calcolato, ritenendo poco probabili nella realtà le variazioni di potenza che ne causino un aumento superiore al 20%.

Il calcolo della variazione del campo elettrico in funzione della modificazione delle variabili considerate è stato effettuato utilizzando alcune delle antenne maggiormente diffuse nel comune di Padova; ne sono state scelte due per ognuna delle principali tipologie di servizio utilizzate dai gestori di telefonia mobile (DCS, GSM e UMTS), sulla base del loro diagramma di irradiazione verticale e orizzontale. I modelli di antenna utilizzati nelle simulazioni sono: Kathrein K 742 270 (UMTS), Kathrein K 742 215 (UMTS), Kathrein K 742 265 (GSM), Kathrein K 739 623 (GSM), Kathrein K 742 234 (DCS), Kathrein K 742 212 (DCS).

## RISULTATI

Per ogni antenna considerata sono stati fissati alcuni punti di controllo di riferimento, in zona di campo lontano (rispettivamente a 24, 34, 44, 54 e 64 m di distanza dalla sorgente di emissione), lungo la direzione di massimo irraggiamento. In ciascuno di questi punti è stato effettuato il calcolo della differenza (indicata con  $D_E$ ) tra il valore massimo e il valore minimo di campo elettrico tra tutti quelli calcolati modificando, entro il proprio intervallo di variabilità, ciascuna delle 5 grandezze di input (X, Y, Z,  $\theta$ ,  $\varphi$ ). La quantità  $D_E$  fornisce una stima della massima variazione del campo elettrico dovuta alla variabilità di ciascuna delle 5 variabili rispetto al loro valore nominale. In Figg. n. 2, 3, 4 sono riportati i profili spaziali di  $D_E$  (ossia l'andamento di  $D_E$  in funzione della distanza fra sorgente e punto di calcolo) relativi a ciascuna delle variabili; viene

presentato un solo grafico per ogni tipologia di antenna considerata (UMTS, GSM, DCS), in quanto non sono state evidenziate sensibili differenze tra modelli diversi di antenne della stessa tipologia. Dalle Figg. 1, 2, 3 si può notare che la grandezza  $D_E$  ha un andamento decrescente all'aumentare della distanza dalla sorgente.

Modificare il valore di  $X$  e  $\theta$  comporta una variazione massima del campo elettrico di circa 1.5 V/m rispetto al valore nominale (e solo per distanze dell'ordine di  $d_{CL}$ ); tale variazione si riduce gradualmente allontanandosi dalla fonte di emissione. Ciò è peraltro coerente con l'osservazione che, allontanandosi dalla sorgente, diventano via via meno rilevanti gli spostamenti assoluti, spaziali o angolari, in senso trasverso a quello della direzione sorgente-punto di calcolo.

Effetti decisamente maggiori sul campo elettrico si ottengono invece quando a variare sono le grandezze  $Y$ ,  $Z$  e  $\varphi$ . A grandi distanze (più di 3-4 volte la distanza di campo lontano, ossia oltre i 35-40 m) si può notare la netta predominanza, per tutte le antenne considerate, della variabile  $\varphi$ . In termini pratici, ciò significa che, a distanze superiori a 35-40 m, un eventuale errore nella variabile che definisce l'orientazione delle antenne sul piano verticale può far variare il campo elettrico anche di 3-3.5 V/m, rispetto ad una intensità di campo dello stesso ordine di grandezza, mentre un eventuale errore di posizionamento (in senso verticale o nella direzione sorgente-punto di calcolo) può modificare lo stesso campo elettrico di una quantità pari a 2-2.5 V/m.

#### SITUAZIONE CON IMPIANTI DI FONDO

Le prove di simulazione sono state applicate anche a un "caso reale", ovvero ad un'antenna appartenente ad un impianto realmente esistente in comune di Padova; si tratta di un impianto singolo (non in co-ubicazione con altri), costituito da tre antenne UMTS. In questo caso è stato considerato anche il contributo al campo elettromagnetico dovuto agli impianti "di fondo" presenti in prossimità della sorgente analizzata, fino a distanze da essa di 200 m. Sono state effettuate due prove:

- 1) nella prima prova il calcolo è stato eseguito scegliendo punti all'interno del lobo principale di irraggiamento dell'antenna in esame e variando la distanza  $d$ , esattamente come nei casi precedenti;
- 2) nella seconda prova i punti di controllo sono stati invece posizionati non lungo la direzione di massimo irraggiamento dell'antenna, ma ad una quota di 8 m inferiore rispetto alla quota del centro elettrico, in modo da simulare il campo al di fuori del lobo principale d'irraggiamento; in questa prova preliminare si è ritenuto sufficiente riprodurre i valori di campo in un unico punto, senza ottenere un profilo spaziale della grandezza  $D_E$ .

I risultati della prima prova (Fig. n. 5) evidenziano che gli andamenti di  $D_E$  non differiscono in misura significativa rispetto ai casi precedentemente analizzati (Figg. n. 2, 3, 4), e questo risulta interpretabile considerando che, nella zona corrispondente al lobo principale dell'antenna in esame, l'influenza degli impianti di fondo non contribuisce ad alterare i valori di campo in misura significativa.

La seconda prova, invece, effettuata ad un'altezza inferiore, è caratterizzata da un contributo non influente degli impianti di fondo, che causa una distorsione dei profili spaziali di campo elettrico: i valori di  $D_E$ , in questo caso, aumentano leggermente rispetto ai casi privi di contributo del fondo. Risultano quindi necessari ulteriori approfondimenti che permettano di confrontare tale situazione con una in cui, posizionandosi alla medesima altezza, non siano presenti impianti di fondo, in modo da poter valutare il contributo dei lobi secondari.

#### CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stata eseguita una serie di prove di simulazione per studiare in che modo e in che misura la variazione dei parametri di input influenzi il campo elettrico calcolato in un dato punto di controllo, in condizioni di campo lontano. L'analisi è stata compiuta considerando come fonti di emissione alcune sorgenti a radiofrequenza scelte tra quelle più diffuse nel comune di Padova, tentando di correlare la massima variazione delle principali variabili di input spaziali e angolari con la massima variabilità del campo calcolato. Ogni parametro di input è stato modificato entro un intervallo di variabilità suggerito sia dall'esperienza maturata durante la realizzazione dei pareri radioprotezionistici, sia dalla tolleranza con la quale i gestori di telefonia forniscono ad ARPAV i dati radioelettrici ed urbanistici.

Nonostante l'esiguo numero di casi indagati, il risultato principale ottenuto riguarda l'indicazione della possibile variabilità del campo elettrico modificando le variabili che definiscono le posizioni relative antenna-punto di calcolo sul piano verticale: in particolari situazioni tale variabilità può raggiungere anche il 100%.

I risultati suggeriscono quindi un'attenzione particolare da dedicare all'accuratezza della quota del centro elettrico e delle quote urbanistiche, nonché l'opportunità di ridurre la tolleranza che attualmente viene concessa ai gestori di telefonia in fase di trasmissione dei dati ad ARPAV: ad esempio, valori di tolleranza non superiori a 1 m sulle quote e 2 m sulle posizioni (nel piano orizzontale) degli edifici ridurrebbero

sensibilmente l'intervallo di variabilità del campo elettrico calcolato.

Si ritiene inoltre necessario segnalare che l'incompletezza e il mancato aggiornamento della Carta Tecnica Regionale impediscono un raffronto efficace fra i dati urbanistici, non sempre coincidenti, provenienti dai differenti gestori.

Il caso reale analizzato, con più sorgenti attive, ha evidenziato che, eseguendo il calcolo del campo nella direzione di massimo irraggiamento, i risultati generali non cambiano in modo sostanziale. Si è osservato inoltre che, con un dislivello di alcuni metri tra quota del centro elettrico e quota del punto di calcolo, l'andamento dei profili di campo calcolato subisce delle modificazioni che, con ogni probabilità, sono imputabili al contributo del fondo elettromagnetico e che richiederebbero ulteriori approfondimenti, per valutare anche il non più trascurabile contributo dei lobi secondari.

Fig. 2: profili spaziali di  $D_E = E_{max} - E_{min}$

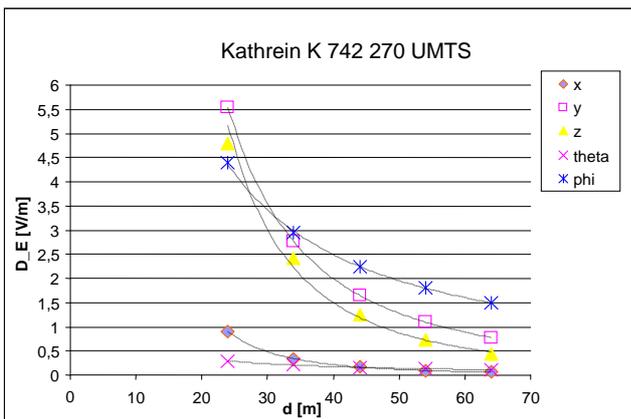


Fig. 3: profili spaziali di  $D_E = E_{max} - E_{min}$

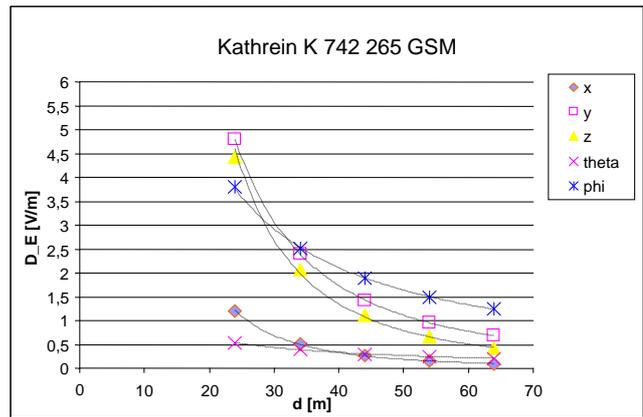


Fig. 4: profili spaziali di  $D_E = E_{max} - E_{min}$

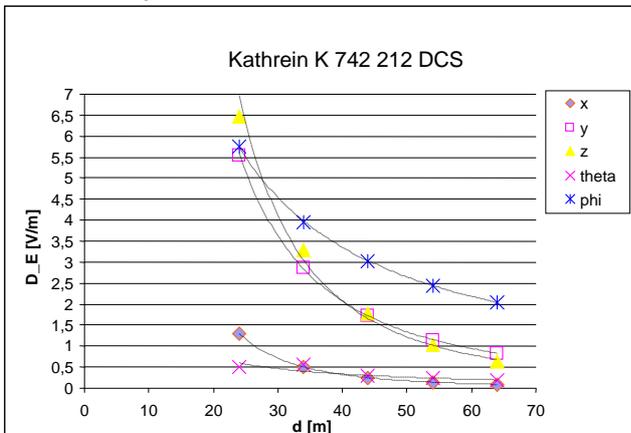


Fig. 5: profili spaziali di  $D_E = E_{max} - E_{min}$

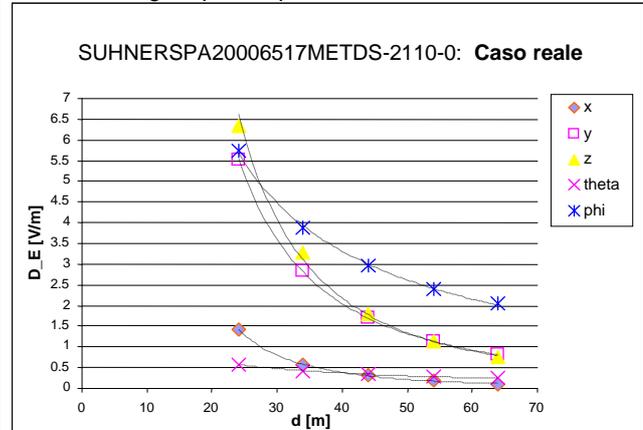


Fig. 2, 3, 4,5: prove di simulazione del profilo spaziale della grandezza  $D_E$  (pari alla differenza  $E_{max} - E_{min}$ ); ogni curva è associata a una delle variabili di input (X, Y, Z,  $\theta$ ,  $\phi$ ). Si nota che per distanze dalla sorgente superiori a 35-40 m la variabile di input che maggiormente influenza il campo elettrico è  $\phi$  (coordinata angolare sul piano verticale).

## Bibliografia

Casarotto E. et al., *Approccio operativo alla valutazione preventiva e al controllo successivo dei campi elettromagnetici a radiofrequenza: il modello previsionale ETERE integrato dalla rete di monitoraggio in continuo*, Atti del Convegno nazionale "Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica", Biella 7-8-9 Giugno 2006.

Decreto Legislativo 259/03 *Codice delle Comunicazioni Elettroniche*.

Norma CEI 211-7 *Guida per la misura e per la valutazione dei campo elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10kHz-300GHz, con riferimento all'esposizione umana*.