

# **La stima dei livelli di campo elettrico prodotto da antenne radiotelevisive e di telefonia mobile in relazione al processo di pianificazione territoriale comunale**

De Donato S.R., Rovere F., Bagli, M.T.

ARPA Emilia-Romagna, Sezione di Rimini, Via Gambalunga 83, 47900 Rimini (RN),  
sez@rn.arpa.emr.it

## **A) INTRODUZIONE**

Attraverso l'utilizzo di un apposito software previsionale elaborato dall'ARPA di Rimini [1] è stato avviato uno studio finanziato dalla Provincia di Rimini e finalizzato alla stima del contributo delle Stazioni Radio Base (SRB) e Radiotelevisive (RTV) sull'intero territorio provinciale. Il software utilizzato per le stime di campi elettromagnetici (cem) in alta frequenza è conforme alla norma CEI 211-10/2002 [2] e quindi, in particolare, utilizza un algoritmo valido in campo libero ed in campo lontano.

E' stata implementata nel modello anche l'altimetria del terreno in modo da ottenere stime a diverse altezze sul livello del suolo.

Le elaborazioni effettuate hanno preso in considerazione le 1983 antenne SRB e RTV presenti in provincia. La cartografia prodotta costituisce uno strumento di estrema importanza per le amministrazioni comunali in termini di pianificazione territoriale: oltre alla normativa nazionale e regionale che prevede per i Comuni la possibilità di un intervento urbanistico inteso come definizione di criteri localizzativi delle sorgenti, è in adozione presso gli stessi comuni un regolamento proposto dalla Provincia di Rimini per la gestione della localizzazione delle SRB che prevede l'individuazione di ambiti territoriali soggetti a determinati livelli di campo elettrico e su cui intervengono fattori limitanti all'installazione delle stesse SRB.

Il lavoro discute le elaborazioni modellistiche prodotte in relazione alle citate normative/regolamenti locali al fine della corretta gestione territoriale delle sorgenti cem.

## **B) ALGORITMO DI CALCOLO**

Per il calcolo del contributo di SRB ed emittenti radiotelevisive al fine della determinazione del campo elettrico totale generato si è fatto riferimento all'algoritmo di calcolo riportato nella norma CEI 211-10/2002. Si tratta in particolare di un metodo di calcolo semplificato del campo elettromagnetico in un punto generico dello spazio. La semplificazione consiste nel calcolare il campo utilizzando una formulazione formalmente valida in condizioni di campo lontano ed in una situazione di spazio libero, trascurando così riflessioni da parte del terreno, di infrastrutture, vegetazione e strutture orografiche eventualmente presenti. Tale procedura di calcolo risulta tuttavia di estrema utilità in termini protezionistici in quanto porta, nella quasi totalità dei casi, a sovrastimare i valori di campo, ed è pertanto da intendersi di tipo cautelativo. Tale sovrastima si realizza anche per distanze inferiori a quella di campo lontano e quindi la procedura diviene applicabile, nell'ambito delle precedenti considerazioni, anche a distanze minori di quelle a cui si realizza la condizione di onda piana.

Nelle condizioni sopra ricordate il valore efficace del campo elettrico prodotto da un'antenna in un punto dello spazio è dato dalla:

$$E(r, \theta, \varphi) = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G(\theta, \varphi)}}{r}$$

dove  $r$ ,  $\theta$  e  $\varphi$  rappresentano il punto di valutazione in un sistema di coordinate sferico riferito al centro elettrico della sorgente,  $P$  la potenza di alimentazione dell'antenna e  $G(\theta, \varphi)$  la funzione guadagno che può essere espressa come:

$$G(\theta, \varphi) \cong G_{\text{MAX}} D_V(\theta) D_H(\varphi)$$

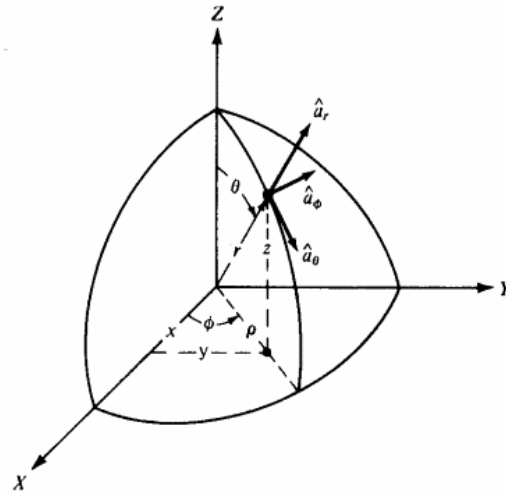
dove  $D_V(\theta)$  e  $D_H(\varphi)$  sono il diagramma di irradiazione dell'antenna normalizzato a 1, rispettivamente nel piano verticale e orizzontale e  $G_{MAX}$  è il valore di guadagno nella direzione di massima irradiazione. I dati disponibili per i diagrammi di irradiazione sono tuttavia disponibili in dB, mentre il guadagno massimo riferito al radiatore isotropo è in dBiso. In questo caso:

$$G(\theta, \varphi)_{dB_i} \cong G_{MAX}(dB_i) + D_V(dB)(\theta) + D_H(dB)(\varphi)$$

$$G_{MAX} = 10^{G_{max}(dB_i)/10}$$

Con riferimento alle espressioni per la funzione guadagno occorre precisare che in un sistema di riferimento sferico si definiscono generalmente gli intervalli delle coordinate come segue (fig. 1):

Figura 1 – Rappresentazione degli angoli in un sistema di riferimento sferico.



$$\begin{aligned} r &\in [0; \infty] \\ \theta &\in [-\pi/2; \pi/2] \\ \varphi &\in [-\pi; \pi] \end{aligned}$$

Conseguentemente, mantenendo tali intervalli, nella ricostruzione del diagramma di irradiazione verticale viene considerata solo la parte di ampiezza angolare pari a 180° contenente il lobo principale.

I valori di campo calcolati vanno riferiti al sistema di riferimento globale. In particolare occorre quindi far riferimento, per ogni antenna, alle formule di passaggio tra il sistema di riferimento locale dell'antenna e quello del sistema globale, tenendo conto della posizione dell'antenna, della direzione di puntamento e dell'angolo di tilt meccanico, avendo già considerato il tilt elettrico dell'antenna nel diagramma di irradiazione.

In pratica, considerando un sistema di riferimento globale nelle coordinate cartesiane  $x_G$ ,  $y_G$  e  $z_G$  in cui la direzione  $x_G$  indichi l'Est geografico, la direzione  $y_G$  il Nord geografico e la direzione  $z_G$  lo zenith, ed un'antenna avente:

- centro elettrico posizionato nel punto di coordinate  $x_A$ ,  $y_A$  e  $z_A$  nel sistema di riferimento globale  $x_G$ ,  $y_G$  e  $z_G$ ;
- angolo tra la proiezione dell'asse del lobo principale di radiazione sul piano  $x_G$ ,  $y_G$  e l'asse  $z_G$  (misurato in senso antiorario) pari ad  $\alpha^1$ ;
- angolo di tilt meccanico dell'antenna  $\beta$ , misurato tra l'asse meccanico principale dell'antenna e l'asse  $z_G$ .

<sup>1</sup> Generalmente viene fornito l'angolo  $\gamma$  tra l'asse del lobo principale e il Nord geografico misurato in senso orario. Precisando che  $\gamma$  e  $\alpha \in [0, 2\pi]$ , si ha che:  $\alpha = \pi/2 - \gamma$  per  $\gamma \in [0, \pi/2]$  e  $\alpha = 5\pi/2 - \gamma$  per  $\gamma \in [\pi/2, 2\pi]$ .

l'espressione delle coordinate del sistema locale in funzione delle coordinate del sistema globale può essere indicata come:

$$\begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \sin \alpha \cos \beta & -\sin \beta \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ \cos \alpha \sin \beta & \sin \alpha \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_G - x_A \\ y_G - y_A \\ z_G - z_A \end{bmatrix}$$

$$r_L = \sqrt{(x_G - x_A)^2 + (y_G - y_A)^2 + (z_G - z_A)^2}$$

$$\theta_L = \arcsin\left(\frac{z_L}{r_L}\right)$$

$$\varphi_L = \arcsin\left(\frac{y_L}{\sqrt{r_L^2 - z_L^2}}\right) \operatorname{sgn}(x_L) + \frac{\pi}{2} \operatorname{sgn}(y_L)(1 - \operatorname{sgn}(x_L))$$

Quando ci si trova in presenza di più antenne trasmettenti è necessario operare le valutazioni di campo elettromagnetico considerando contemporaneamente le emissioni di tutte le antenne che contribuiscono al valore di campo. Considerando che le sorgenti di segnale risultano essere non correlate, i contributi di campo di ogni antenna  $i$ -esima vengono sommati quadraticamente secondo la:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^M E_i^2}$$

dove  $M$  è il numero di sorgenti che contribuiscono al valore di campo elettrico.

Il procedimento di calcolo per il campo elettrico  $E$  generato in un punto dello spazio da più sorgenti può essere reiterato per determinare il valore di campo elettrico su una griglia di punti sovrapposta all'area che si vuole analizzare.

Inoltre il modello di calcolo è in grado di assumere le coordinate del terreno in modo tale da creare griglie di valutazione che rappresentano i livelli di campo elettrico a diverse quote sul livello del suolo.

### C) UTILIZZO DEL PROGRAMMA

In generale il programma esegue calcoli sui punti di una griglia orizzontale alle diverse altezze indicate.

Il setup di impostazione definisce, utilizzando un file formato testo su diverse righe, le coordinate dei punti minimo e massimo della griglia di valutazione, il passo di analisi, le altezze per le stime ed il passo relativo, il numero di antenne ed il fondo eventualmente già presente nella zona da esaminare.

Per ogni singola antenna, inoltre, devono essere specificate le coordinate di localizzazione, l'altezza del centro elettrico, potenza, guadagno, direzione di irraggiamento, tilt meccanico e sigla del diagramma di irradiazione. Il diagramma di irradiazione deve essere un file testo contenente il diagramma di antenna totale in campo lontano orizzontale e verticale del tipo riportato, in forma parziale, nell'esempio seguente con le attenuazioni espresse in dB:

```
NAME 739494
FREQUENCY 1862.5
GAIN 15.85 dBd
TILT
COMMENT DATE 28.08.2000 + 45 degrees polarized system
HORIZONTAL 360
0.0    0.0
1.0    0.0
```

```

2.0    0.0
3.0    0.0
.....
357.0  0.0
358.0  0.0
359.0  0.0
VERTICAL 360
0.0    0.0
1.0    0.4
2.0    1.5
3.0    3.2
.....
357.0  2.0
358.0  0.8
359.0  0.1

```

Nella tabella 1 è riportato un riassunto delle informazioni di impostazione richieste nel file di setup.

Tabella 1 – Schema del setup di impostazione

| 1 <sup>a</sup> riga del file<br>testo per<br>l'impostazione<br>della griglia | xmin             | ymin             | xmax             | ymax                 | Passo<br>griglia | Altezza<br>max         | Altezza<br>min    | Passo<br>altezza                          | N.<br>ant. | E <sub>fondo</sub> |
|--|------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------------|-------------------|---|------------|--------------------|
| Una riga per ogni<br>antenna i-esima   | X <sub>1CE</sub> | Y <sub>1CE</sub> | H <sub>1CE</sub> | Potenza <sub>1</sub> | G <sub>1</sub>   | Direzione <sub>1</sub> | Tilt <sub>1</sub> | Sigla diagramma<br>irradiaz. <sub>1</sub> |            |                    |
|  | X <sub>2CE</sub> | Y <sub>2CE</sub> | H <sub>2CE</sub> | Potenza <sub>2</sub> | G <sub>2</sub>   | Direzione <sub>2</sub> | Tilt <sub>2</sub> | Sigla diagramma<br>irradiaz. <sub>2</sub> |            |                    |
|  | ....             | ....             | ....             | ....                 | ....             | ....                   | ....              | .....                                     |            |                    |
|  | X <sub>iCE</sub> | Y <sub>iCE</sub> | H <sub>iCE</sub> | Potenza <sub>i</sub> | G <sub>i</sub>   | Direzione <sub>i</sub> | Tilt <sub>i</sub> | Sigla diagramma<br>irradiaz. <sub>i</sub> |            |                    |

Una volta importate anche le coordinate altimetriche del terreno, i file di output, uno per ogni altezza considerata, sono file di testo costituiti dall'indicazione ordinata delle coordinate del punto di griglia di valutazione e del valore di campo totale calcolato alla specifica altezza dal suolo considerata. I dati sono separati da tabulazione e quindi facilmente importabili in altre applicazioni. Inoltre se per i dati di localizzazione delle antenne e della griglia di valutazione si sono utilizzate coordinate geografiche metriche il file di output risulta automaticamente georeferenziato.

Un esempio di file di output è riportato di seguito (con E espresso in V/m) e per una griglia con estremi in x e y di: (-50,-50) e (50,50):

```

#X    #Y    #E
-50    50    3.3
-49    50    3.4
-48    50    3.4
.....
50     50    4.5
-50    49    3.3
-49    49    3.3

```

## D) RISULTATI

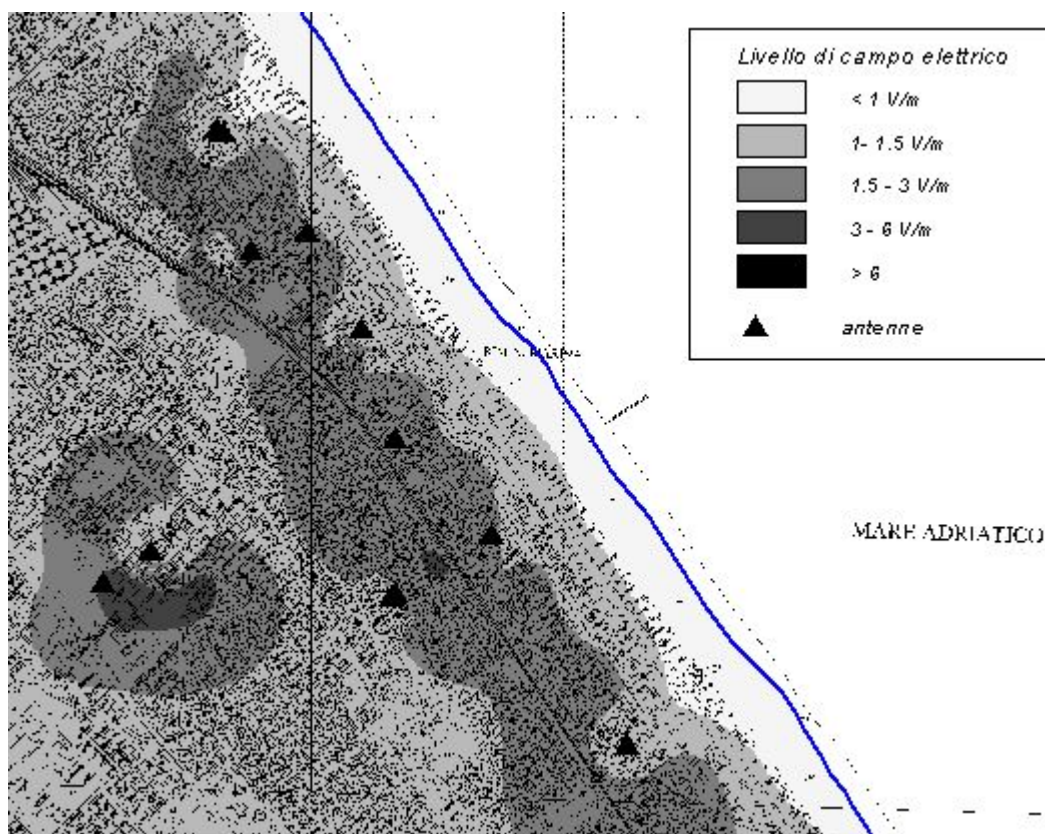
Il modello di calcolo è stato applicato all'intera provincia di Rimini al fine di considerare il contributo, su ogni punto della griglia di valutazione, del complesso delle antenne radiotelevisive e delle stazioni radio base.

Ne è risultato un file di impostazione con 1983 antenne, di cui 74 RTV, il cui contributo è stato complessivamente considerato in ogni punto d'esame.

Le caratteristiche tecniche degli impianti considerate nel calcolo sono quelle contenute nei progetti presentati dalle emittenti in sede di richiesta di autorizzazione. In questo senso rappresentano le configurazioni massime, in termini di potenza reale installata, che i gestori possono implementare sugli impianti.

E' stato impostato un passo di valutazione pari a 10 metri e si sono tenute in considerazione le curve altimetriche del terreno al fine di stimare il campo elettrico ad un'altezza pari 10 metri sul livello del suolo. Il file di output ricavato è stato direttamente importato in Surfer, attraverso cui si sono costruite le curve di interpolazione, e quindi in Arcview per la rappresentazione grafica su base territoriale. Ne è risultato uno shape che riportava, con diversa colorazione, i diversi livelli di campo elettrico stimato. Un parziale esempio, relativo alla parte costiera della provincia di Rimini, è riportato in figura 2.

Figura 2 – Esempio di rappresentazione dei livelli di campo elettrico calcolati.



## E) DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La Legge n. 36/2001 stabilisce all'art. 8 la potestà dei Comuni di emanare regolamenti per assicurare il corretto insediamento degli impianti e minimizzare l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici. Sulla base del medesimo principio la Regione Emilia-Romagna con propria Legge e successiva Direttiva ha stabilito, in particolare per le SRB, il divieto all'installazione in aree destinate ad attrezzature sanitarie, assistenziali e scolastiche e, per installazioni in prossimità di dette aree, la necessità di perseguire obiettivi di qualità che minimizzino l'esposizione.

In tale ambito la Provincia di Rimini ha coordinato la stesura di un Regolamento comunale tipo contenente indicazioni per il corretto insediamento degli impianti di telefonia sui territori comunali. Tale proposta di Regolamento è stata quindi consegnata ai Comuni per la discussione e l'approvazione. A tutt'oggi 10 dei 20 Comuni della Provincia si sono dotati di un Regolamento in materia.

Fra i punti salienti della proposta di Regolamento vi è l'introduzione delle aree di attenzione definite, fra l'altro, come quelle aree interessate da valori di campo elettrico stimato o misurato

superiore ad una soglia che gli stessi comuni sono chiamati ad individuare e che viene suggerita, a titolo di esempio, pari al valore di 3 V/m. L'installazione di un nuovo impianto in zona di attenzione prevede che il gestore possa essere chiamato a proporre localizzazioni alternative e debba comunque adottare tutti gli accorgimenti possibili in termini di caratteristiche degli impianti e tecnologie applicate tesi ad una minimizzazione dell'esposizione.

In tale contesto normativo/regolamentare le elaborazioni mostrate nel presente lavoro hanno acquistato presso le Amministrazioni comunali il valore di strumento a supporto della pianificazione in quanto in grado di individuare sul territorio tutte le aree caratterizzate da specifici valori di campo elettrico.

I Comuni possono quindi, in funzione di quanto riportato in tale strumento, concordare con i gestori degli impianti le proposte di nuove collocazioni. Tale strumento risulta inoltre di estrema utilità per i gestori degli impianti in quanto fornisce una visione complessiva dei livelli di campo elettrico presenti sul territorio stesso derivato dall'insieme dei contributi delle SRB di tutti i gestori e del complesso delle antenne radiotelevisive consentendo quindi, già in fase preventiva, di ottimizzare le proposte di localizzazione dei nuovi impianti.

### **Bibliografia**

- [1] P. Bevitori, S.R. de Donato "La valutazione dell'inquinamento elettromagnetico" Maggioli Editore, Collana Ambiente Territorio Edilizia Urbanistica, 2003
- [2] CEI 211-10/2002 "Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici ad alta frequenza"