

# **La stima dei livelli di campo magnetico prodotto da elettrodotti ad alta e altissima tensione in relazione al processo di pianificazione territoriale comunale**

De Donato S.R., Monti R., Bevitori P., 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 modellistico elaborato dall'ARPA di Rimini è stato avviato uno studio, in collaborazione con la Provincia, finalizzato alla stima del contributo degli elettrodotti ad alta e altissima tensione sull'intero territorio provinciale. Per le stime del campo magnetico a bassa frequenza, al fine di considerare la reale struttura delle linee elettriche, il modello suddivide ogni singolo conduttore in segmenti di cui calcola il contributo in ogni punto di una griglia di valutazione. Tutti i contributi parziali vengono infine opportunamente sommati per ottenere il valore del campo magnetico totale in ogni punto di calcolo.

Il software consente di modellizzare le campate dei conduttori in tutte le situazioni complesse con compresenza di più elettrodotti. E' stata inoltre implementata nel modello la possibilità di considerare la quota sul livello del mare di ogni punto di valutazione in modo da ottenere stime a diverse altezze sul livello del suolo. Il modello risponde inoltre alla norma CEI 211-4/1996 nelle condizioni semplificate previste dalla stessa norma.

Le elaborazioni effettuate hanno preso in considerazione, nell'attuale fase di avvio dello studio, l'intero sviluppo delle linee ad alta ed altissima tensione per gli elettrodotti presenti sul territorio di un Comune della Provincia di Rimini. La cartografia prodotta costituisce uno strumento di estrema importanza per le amministrazioni comunali in termini di pianificazione territoriale. La L.R. n.30/00 prevede, infatti, la possibilità per i Comuni di individuare fasce di rispetto degli elettrodotti in funzione delle caratteristiche strutturali reali degli stessi, prescindendo quindi da ampiezze standard contenute nella Direttiva regionale n.197/01 applicativa della stessa Legge.

Il lavoro esamina le elaborazioni modellistiche in relazione alla citata normativa all'interno del processo di pianificazione territoriale comunale.

## **B) ALGORITMO DI CALCOLO**

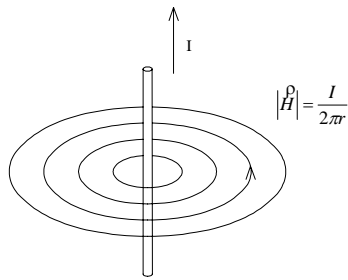
Per il calcolo del contributo dei conduttori delle linee al campo magnetico totale generato in un punto del territorio si è fatto riferimento ad un modello che, nell'ipotesi semplificativa di conduttori rettilinei, paralleli fra loro e di lunghezza indefinita, fornisce gli stessi risultati di quello riportato dalla norma CEI 211-4/1996 [1], [2].

In realtà tuttavia i conduttori di una linea assumono, fra due tralicci consecutivi, la forma di una catenaria; inoltre possono presentarsi in configurazioni di qualsivoglia complessità spaziale.

Per poter considerare tali condizioni si è sviluppato un apposito software che suddivide ogni conduttore della linea in un numero opportuno di segmenti in modo da poter considerare ognuno di questi ultimi rettilineo, mantenendo tuttavia la propria orientazione nello spazio. Si sono quindi opportunamente sommati i contributi dovuti ai singoli segmenti per ottenere il valore del campo magnetico totale in un punto dovuto al contributo di tutte le linee presenti.

In particolare, infatti, ogni conduttore attraversato da corrente è circondato da un campo magnetico che può essere illustrato da linee di forza in forma di cerchi concentrici attorno al conduttore (fig. 1).

Figura 1 - Campo magnetico di un conduttore



La densità del flusso magnetico di una configurazione di conduttori si calcola secondo la legge di Biot-Savart come sovrapposizione di campi parziali di segmenti di conduttori singoli. Ogni conduttore parziale infinitesimale contribuisce al campo totale secondo la:

$$dB(t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dl \times r}{r^3} I(t)$$

Se si pone il segmento *i-esimo* di conduttore di lunghezza  $L$  nell'origine del sistema di coordinate parallelamente all'asse x (fig. 2), il suo contributo di campo nel punto P(x, y, z) è allora [3]:

$$|B_i(t)| = \frac{\mu_0}{4\pi r} I_i(t) \left[ \frac{L_i - x_p}{\sqrt{(L_i - x_p)^2 + r^2}} + \frac{x_p}{\sqrt{x_p^2 + r^2}} \right]$$

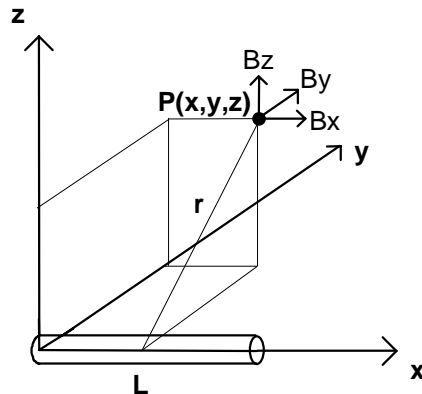
con i componenti di vettore:

$$B_{xi}(t) = 0$$

$$B_{yi}(t) = -\frac{z_p}{\sqrt{y_p^2 + z_p^2}} |B_i(t)|$$

$$B_{zi}(t) = \frac{y_p}{\sqrt{y_p^2 + z_p^2}} |B_i(t)|$$

Figura 2 - Conduttore parziale nell'origine di coordinate



Ogni conduttore della linea è scomposto secondo questo metodo in un prefinito numero di segmenti. La campata di un conduttore che riflette la forma di una catenaria è assimilata ad una parabola.

Per il calcolo dell'intensità di campo, il punto considerato è trasformato nel sistema di coordinate locale del segmento rispettivo. Questo avviene tramite uno spostamento ed una successiva rotazione. Una volta ricavato il contributo del segmento nel sistema locale di coordinate questo viene ritrasformato nel sistema di coordinate generali.

La somma vettoriale dei contributi di campo fornisce il vettore di campo finale:

$$\vec{B} = \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix}$$

Il procedimento sopra descritto è stato implementato in un opportuno software in grado di calcolare il valore di campo magnetico in ogni punto di una ipotetica griglia, di passo definibile dall'utente, sovrapposta all'area del territorio comunale da analizzare e dovuto all'insieme di tutti conduttori delle linee interessate.

In tal modo è stato possibile, attraverso ulteriori e opportuni software di elaborazione dati, esprimere i livelli di campo magnetico sotto forma di isolinee ognuna corrispondente ad un particolare valore del campo magnetico.

Inoltre, potendo considerare le quote sul livello del mare di ogni punto di valutazione, tali isolinee possono essere considerate rappresentare il valore di campo magnetico a diverse altezze dal suolo.

### C) UTILIZZO DEL PROGRAMMA

In generale il programma esegue calcoli sui punti di una griglia all'altezza impostata dall'utente.

Il setup iniziale definisce, utilizzando un file formato testo su diverse righe, le coordinate dei punti minimo e massimo della griglia di valutazione, il passo di analisi, l'altezza per la stima, il numero di conduttori da considerare ed il numero di segmenti per conduttore da considerare.

Per ogni singolo conduttore nelle righe successive del file di setup devono inoltre essere specificate le coordinate di inizio e di fine, l'altezza iniziale, finale e a metà campata, la corrente, la fase e, se elicordato, anche il raggio ed il passo della corda.

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

Tabella 1 – Schema del setup di impostazione

1 <sup>a</sup> riga del file testo per l'impostazione griglia	xmin	ymin	xmax	ymax	Passo griglia	Altezza per la stima	N. segm.		
Una riga per ogni conduttore i-esimo	X <sub>1ini</sub>	Y <sub>1ini</sub>	H <sub>1ini</sub>	H <sub>M1</sub>	X <sub>1fine</sub>	Y <sub>1fine</sub>	H <sub>1fine</sub>	Corrente <sub>1</sub>	Fase <sub>1</sub>
	X <sub>2ini</sub>	Y <sub>2ini</sub>	H <sub>2ini</sub>	H <sub>M2</sub>	X <sub>2fine</sub>	Y <sub>2fine</sub>	H <sub>2fine</sub>	Corrente <sub>2</sub>	Fase <sub>2</sub>
	....	....	....	....	....	....	....	....	....
	X <sub>iini</sub>	Y <sub>iini</sub>	H <sub>iini</sub>	H <sub>Mi</sub>	X <sub>ifine</sub>	Y <sub>ifine</sub>	H <sub>ifine</sub>	Corrente <sub>i</sub>	Fase <sub>i</sub>

Una volta importate anche le coordinate altimetriche del terreno, il file di output è un file di testo costituito dall'indicazione ordinata delle coordinate del punto di griglia di valutazione e del valore di campo magnetico totale calcolato all'altezza dal suolo considerata. I dati sono separati da tabulazione e quindi facilmente importabili in altre applicazioni. Inoltre se per i dati di localizzazione dei conduttori 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 B espresso in  $\mu T$ ) e per una griglia con estremi in x e y di: (-50,-50) e (50,50):

#X	#Y	#B
-50	50	0.1
-49	50	0.2
-48	50	0.2
.....		
50	50	0.5
-50	49	0.3
-49	49	0.3

## D) RISULTATI

Il modello di calcolo verrà applicato alle linee ad alta ed altissima tensione presenti sull'intero territorio della provincia di Rimini. In fase di avvio, l'applicazione è stata realizzata per linee ad alta ed altissima tensione di un singolo Comune.

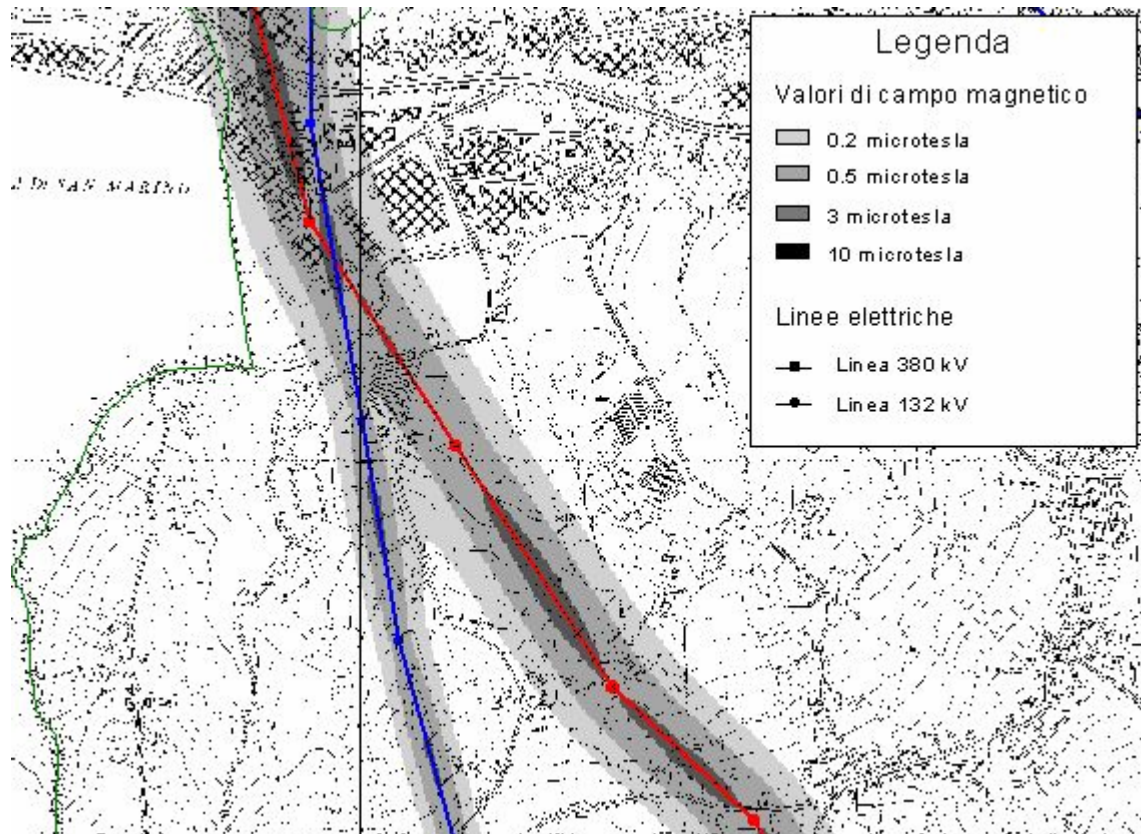
I valori stimati dal complesso delle linee presenti sono stati riprodotti graficamente attraverso isolinee corrispondenti a diversi valori di campo magnetico.

Le caratteristiche strutturali delle linee sono state fornite dai rispettivi gestori, mentre per l'altimetria del terreno si è fatto riferimento ad elaborazioni a partire da dati forniti dalla Provincia.

E' stato impostato un passo di valutazione pari a 5 metri e si sono tenute in considerazione le curve altimetriche del terreno al fine di stimare il campo magnetico ad un'altezza pari ad 1 e 7.5 metri sul livello del suolo. I file di output ricavati sono stati direttamente importati in Surfer, attraverso cui si sono costruite le curve di interpolazione, e quindi in Arcview per la rappresentazione territoriale in forma grafica. Ne è risultato uno shape che riportava, con diversa colorazione, i diversi livelli di campo magnetico stimato. Un parziale esempio, relativo all'incrocio di due linee elettriche, è riportato nella figura 3.

In particolare sono rappresentate le isolinee di campo magnetico corrispondenti ai valori di 0.2 e 0.5  $\mu T$  indicati nella Legge Regionale e 3 e 10  $\mu T$  indicati nel Decreto Nazionale.

Figura 3 – Esempio di rappresentazione dei livelli di campo magnetico calcolati.



## E) DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La Legge della Regione Emilia Romagna n. 30/00 e la Direttiva applicativa 197/01 stabiliscono criteri per la localizzazione delle linee elettriche individuando, per le medesime linee, fasce di rispetto tali da garantire il raggiungimento dei valori di 0.5 e 0.2  $\mu T$  nelle situazioni, rispettivamente, esistenti e di nuova realizzazione.

A tal fine nella Direttiva citata sono indicate le ampiezze delle fasce di rispetto per varie tensioni delle linee, assunte di tipologia standard, utili al fine del raggiungimento dei valori di induzione magnetica sopra ricordati.

Tuttavia la medesima Direttiva, ribadendo che le fasce di rispetto riportate nella medesima norma sono state individuate adottando una tipologia costruttiva standard ed applicando il criterio della massimizzazione dei parametri di calcolo, lascia facoltà di definire ampiezze minori di quelle standard qualora si dimostri il perseguimento del valore di 0.2  $\mu T$  valutato sulla base della corrente media annua di esercizio riferita all'anno precedente incrementata del 5%, ovvero del 50% della corrente massima di esercizio normale, qualora più cautelativo.

La stessa direttiva prevede inoltre una valutazione specifica attraverso l'utilizzo di modelli di calcolo per quelle tipologie di linee non standard e nelle situazioni caratterizzate dalla compresenza di più linee (incroci, linee parallele, ecc.).

L'esercizio della medesima facoltà è inoltre inteso fare riferimento alla tipologia costruttiva reale dell'elettrodotto ed alle condizioni ambientali (ad es. l'altimetria del terreno) all'interno delle quali si colloca la linea elettrica.

In tale contesto trova applicazione il progetto descritto che, in funzione delle condizioni strutturali reali della linea, considerando la forma delle varie campate e tenendo conto dell'interferenza di linee vicine, mantenendo una intensità di corrente cautelativa pari al 50% della corrente massima di esercizio normale e considerando le caratteristiche del terreno, consente di calcolare la dimensione delle fasce laterali a ciascuna linea in grado di garantire il rispetto dei valori soglia desiderati.

Il calcolo delle fasce di rispetto in riferimento alla reale altezza delle linee dal suolo e con i valori di corrente calcolati come previsto dalla norma CEI in funzione di quanto sopra ricordato, ha permesso di ottenere, soprattutto per quanto riguarda le linee ad alta tensione, ampiezze minori di quelle previste dalla direttiva regionale.

Nel caso delle linee ad altissima tensione tale condizione si ottiene quando si considera la corrente adottata dalla direttiva regionale, mentre al contrario l'ampiezza della fascia di rispetto risulta maggiore di quella indicata nella direttiva regionale stessa se si considera, per le linee a 380 kV, il 50% del valore di corrente derivato dall'applicazione della specifica norma CEI.

In conclusione i risultati ottenuti dall'applicazione di queste tipologie di modelli di calcolo del campo magnetico generato da elettrodotti, supportati da verifiche dirette sul campo, permettono di considerare questi strumenti informatici come un valido supporto alle attività di pianificazione delle amministrazioni attraverso l'individuazione di fasce di rispetto nell'ambito degli strumenti urbanistici che tengano conto delle reali condizioni degli impianti elettrici e contemporaneamente essere un valido aiuto a tecnici e progettisti che si trovano a dover operare scelte progettuali in prossimità di elettrodotti.

#### **Bibliografia**

- [1] P. Bevitori, S.R. de Donato "La valutazione dell'inquinamento elettromagnetico" Maggioli Editore, Collana Ambiente Territorio Edilizia Urbanistica, 2003
- [2] CEI 211-4/1996 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"
- [3] EFC 400 Magnetic and Electric Field Calculation. Manuale utente.