

L'utilizzo del software Phidel per la determinazione delle fasce di rispetto nell'ambito della pianificazione territoriale: l'esempio della centrale di Somplago

Comelli M.⁽¹⁾, Bampo A.⁽¹⁾, Villalta R.⁽²⁾

⁽¹⁾ ARPA Friuli Venezia Giulia – Dipartimento di Fisica Ambientale, via Tavagnacco 91 – 33100 Udine

⁽²⁾ ARPA Friuli Venezia Giulia, piazza Collalto 15 – 33057 Palmanova (UD)
comelli@arpa.fvg.it

RIASSUNTO

Nelle more della determinazione della metodologia di calcolo delle fasce di rispetto delle linee elettriche, così come previsto dal decreto DPCM dell'8 luglio 2003, concernente la protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti, continuano a pervenire, da diversi comuni della regione, ad ARPA FVG richieste per la determinazione dell'estensione delle fasce di rispetto relative all'intero territorio comunale o parte di esso, in relazione alla redazione dei rispettivi Piani Regolatori Generali.

Phidel, un software nel quale è stato implementato il calcolo orografico per determinare il campo di induzione magnetica generato da elettrodotti, si è dimostrato utile per l'analisi su vaste porzioni di territorio interessate dalla presenza di linee elettriche.

L'utility che determina l'orografia del terreno a partire dagli elementi quotati della Carta Tecnica Numerica utilizza l'inverso della distanza come algoritmo interpolatore ed esegue il calcolo secondo una griglia di cui l'utente può impostare la dimensione delle maglie e definire la forma in ambiente GIS.

L'analisi è stata condotta per un caso particolare, il territorio circostante la Centrale di Somplago (UD), che presenta sia difficoltà dovute alla particolare orografia che complicazioni relative alla configurazione degli elettrodotti presenti (due linee a 220 kV e diverse tratte di una linea a 132 kV).

Le procedure qui esposte permettono di ricavare un'indicazione sull'esposizione della popolazione e le informazioni necessarie per un progetto di pianificazione territoriale.

A) LA DETERMINAZIONE DELLE FASCE DI RISPETTO

Il DPCM 8 luglio 2003 [1] è il riferimento normativo per quanto concerne la fissazione di limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità per la protezione dall'esposizione della popolazione. In particolare, secondo l'articolo 4 l'obiettivo di qualità è da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. L'articolo 6 (Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti) fa invece riferimento all'obiettivo di qualità ed alla portata in corrente in servizio normale come definita dalla Norma CEI 11-60 [2], e rimanda all'APAT la definizione della metodologia di calcolo per la determinazione di tali fasce di rispetto.

La circolare del Ministero dell'Ambiente del 15 novembre 2004 [3], in attesa della conclusione dei suddetti lavori da parte dell'APAT, suggerisce di proiettare al suolo il volume racchiudente il valore efficace di campo superiore ai 3 µT, calcolato utilizzando i dati caratteristici delle linee forniti dal gestore, la corrente in servizio normale, e schematizzando le linee come previsto dalla Norma CEI 211-4 [4].

La Bozza APAT [5] introduce i solidi di rispetto di I e II livello, corrispondenti rispettivamente a parallelepipedi di altezza infinita (il che ne vincola le dimensioni massime a quelle della circolare ministeriale) e al generico solido geometrico nello spazio che contiene i punti con valore di campo di induzione magnetica maggiore o uguale all'obiettivo di qualità di 3 µT. Questi devono essere calcolati utilizzando una *corrente di esercizio* I_C definita come combinazione lineare di portata in servizio normale e mediana della corrente di linea. Sviluppando algebricamente quanto riportato nel documento, si ottiene:

$$I_C = I_{\text{mediana}} + 0.05 \cdot I_{\text{portata}}$$

La Norma CEI 106-11 [6], attenendosi alle indicazioni ministeriali sulla proiezione al suolo dei volumi di rispetto, introduce alcune formule approssimate per il calcolo della fascia nel caso di varie tipologie standard di elettrodotti, senza tener conto dei cambi di direzione della linea, della presenza di diverse tipologie di traliccio e di possibili variazioni nella disposizione delle fasi dei conduttori. Infine non contempla casi complessi, né sistemi per l'abbattimento del campo.

ARPA FVG, in assenza di una metodologia di calcolo univocamente definita ai sensi di legge e valida per tutti i casi di possibile interesse, adotta una procedura interna di buona tecnica:

- in riferimento alla portata valuta la distanza massima dall'asse della linea a cui compaiono i 3 µT, estratta tra quelle valutate a varie altezze, da considerarsi come l'estensione della fascia di rispetto proiettata al suolo.

- in riferimento alla mediana valuta la distanza massima dall'asse della linea a cui compaiono i 3 μT per le altezze ritenute significative (tipicamente riferite al livello del suolo, alla quota in gronda di eventuali edifici da costruire in prossimità della linea, e all'estensione massima dei 3 μT).

B) IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DI PHIDEL

Per ovviare alle carenze legislative, è stato studiato l'utilizzo di Phidel [7], un programma per il calcolo del campo efficace di induzione magnetica generato da elettrodotti che implementa la legge di Biot-Savart, secondo quanto previsto dalla Norma CEI 211-4: sono state sviluppate diverse procedure di valutazione dell'induzione in modo da verificare il rispetto degli obiettivi previsti da [1] secondo tutte le modalità descritte nelle normative sopra riportate.

Il programma determina analiticamente il campo efficace tramite la discretizzazione delle campate in segmenti di lunghezza finita: ne somma i contributi e calcola infine il valore efficace del campo.

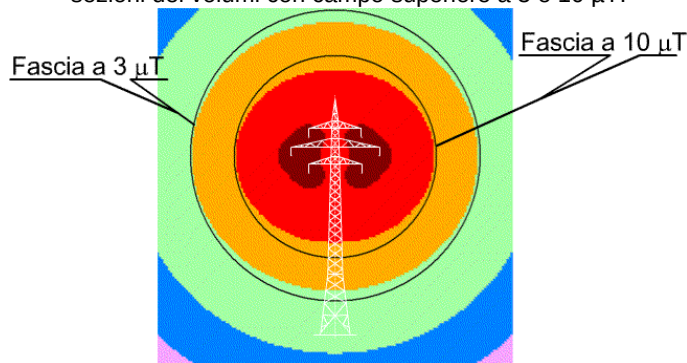
Si può ricavare, come verificato in [8]:

$$B^{eff} = \frac{\mu_0}{4\pi} \sqrt{\sum_{i,j} A_{ij} \cos(\varphi_j - \varphi_i)}$$

ove φ_i indica la fase dell' i -esimo segmento ed A_{ij} è l'elemento tensoriale che considera la dipendenza dalle correnti e la geometria del sistema.

La determinazione delle fasce come proiezione al suolo del volume racchiudente i valori di campo superiori all'obiettivo di qualità risulta immediata, impostando opportunamente i parametri di calcolo ed importando il risultato in ambiente GIS. Il raggio delle circonferenze racchiudenti tali volumi, visualizzate in Figura 1, determina l'estensione delle fasce secondo tale procedura.

Figura 1 - Induzione magnetica calcolata in un piano ortogonale ai conduttori, e circonferenze racchiudenti le sezioni dei volumi con campo superiore a 3 e 10 μT .

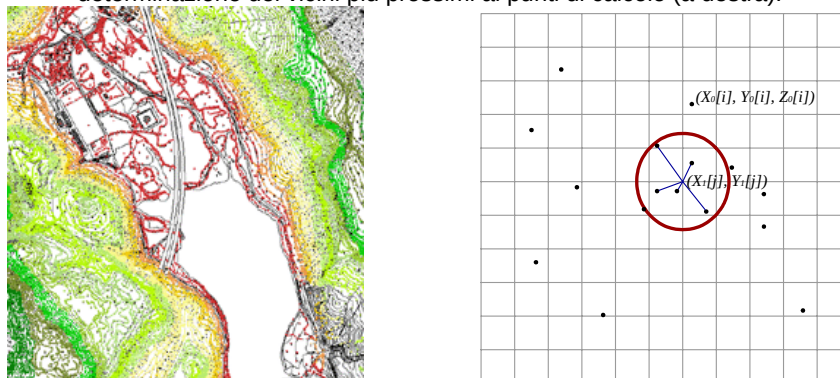


Il software permette di eseguire inoltre il calcolo orografico, a quote definite rispetto al suolo. In questa maniera è possibile determinare i valori di campo, e di conseguenza l'estensione delle fasce di rispetto, secondo qualunque dei metodi visti al paragrafo precedente.

C) L'INTERPOLAZIONE OROGRAFICA CON L'INVERSO DELLE DISTANZE

Per eseguire un calcolo orografico [9], che tenga conto dell'andamento della superficie del terreno onde valutare l'induzione all'altezza dal suolo voluta, è necessario disporre di un DEM (Digital Elevation Model). Un'utility presente in Phidel lo ricava a partire dalla Carta Tecnica Numerica (CTN).

Figura 2 - I punti quotati evidenziati da un'opportuna scala cromatica (a sinistra) e la *griglia di base* per la determinazione dei vicini più prossimi ai punti di calcolo (a destra).



Si definisce un rettangolo coprente la regione di interesse attraverso posizione, dimensioni e passo di campionamento: è la una griglia sui nodi della quale verranno interpolate le quote. Si crea così un *file di base*, nel quale sono riportate le coordinate dei vertici della griglia in formato ASCII.

Utilizzando gli strumenti disponibili in ambiente GIS, si crea un dataset contenente i punti quotati ottenuti da CTN, che vanno quindi georeferenziati (si veda la Figura 2, a sinistra, ove le quote sono evidenziate dalla scala cromatica).

Le quote interpolate vengono calcolate utilizzando il metodo detto “inverso della distanza” (scelto per l'abbondanza di dati a disposizione) applicato ai vicini più prossimi [10] (Figura 1, a destra): ad ogni punto del *file di base*, costituito dagli elementi (X_i, Y_i) , è associata la media delle quote degli s punti più vicini tra i quotati (X_0, Y_0, Z_0) , pesate con l'inverso della distanza. Si definiscono cioè le distanze:

$$d_i = \sqrt{(X_0 - X_i)^2 + (Y_0 - Y_i)^2}$$

e di queste il software estrae il set con le s minori $\{d_1, d_2, \dots, d_s\}$, a ciascuna delle quali corrisponde una quota Z_r , con $1 \leq r \leq s$. Da queste ricava la quota corrispondente al punto considerato come media pesata:

$$Z_i = \sum_{r=1}^s F_r \cdot Z_r$$

e i pesi F_r definiti come $F_r = \frac{G}{d_r^\alpha}$ con $\alpha \in R^+$. La normalizzazione $\sum_r F_r = 1$ comporta:

$$G = \frac{1}{\sum_r \frac{1}{d_r^\alpha}}$$

imposto il vincolo:

$$d_r = 0 \Rightarrow F_r = \delta_{rt}$$

(ove δ_{rt} indica il simbolo di Kronecker) con $r, t = 1, 2, \dots, s$, che fa collassare la soluzione nel caso di calcolo nel punto quotato.

D) L'ESEMPIO DELLA CENTRALE DI SOMPLAGO

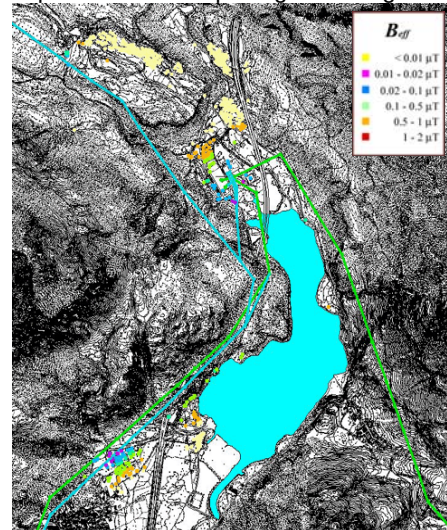
L'analisi d'impatto elettromagnetico in un'area di interesse può schematicamente essere condotta secondo quattro modalità:

- calcolo in corrispondenza alle quote gronda degli edifici.
- calcolo piano;
- calcolo nei punti quotati desunti dalla Carta Tecnica;
- calcolo nei punti ottenuti da interpolazione orografica.

Figura 3 - Veduta dell'impianto di Somplago (UD).



Figura 4 - Calcolo dell'induzione magnetica in corrispondenza delle quote gronda degli edifici.



La scelta del particolare *modus operandi* è vincolata alla finalità dello studio (valutazione dell'esposizione della popolazione o analisi dei valori di campo sul territorio) e da eventuali restrizioni legate alle risorse di sistema a disposizione dell'utente. Si espongono qui le procedure riferite al calcolo del campo nella sola modalità orografica in prossimità della centrale di trasformazione di Somplago, in provincia di Udine, (vedi Figura 3), scelta come esempio per la presenza di diverse linee ad Alta Tensione, della particolare orografia del terreno, della presenza di un lago, ossia di una zona nella Carta Tecnica priva di riferimenti quotati, e di infrastrutture che richiedono un'analisi più accurata nella scelta dei dati altimetrici da utilizzare nella successiva interpolazione.

1) CALCOLO DEL CAMPO IN CORRISPONDENZA DELLE QUOTE GRONDA

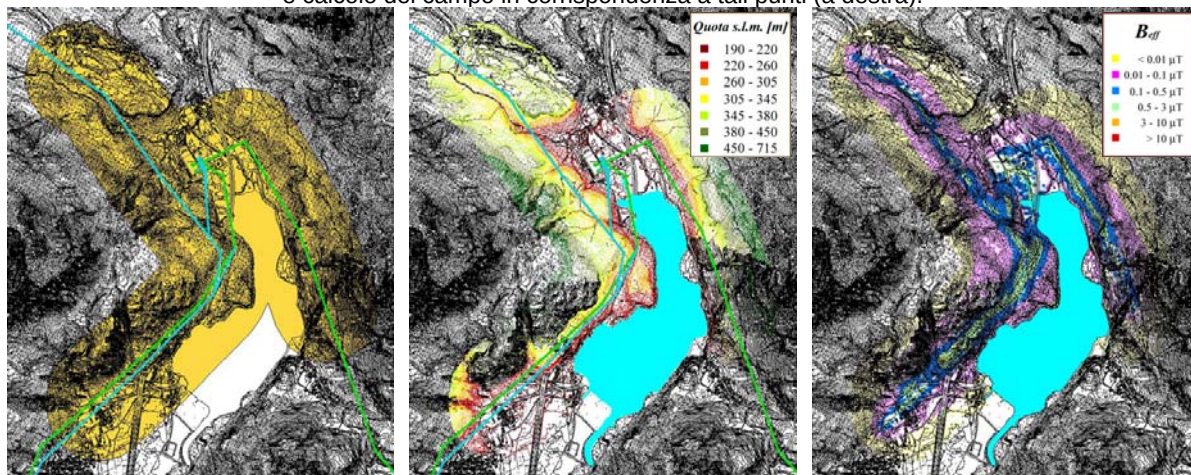
Dopo aver definito i tratti di linea di interesse e reperito i dati elettrici e geometrici ad essi relativi, il calcolo del campo in corrispondenza alle quote gronda degli edifici (come visualizzato in Figura 4) si esegue in tempi rapidi, vista l'esiguità del numero di punti di analisi, e si ottiene una valutazione cautelativa dell'esposizione della popolazione, qualora il calcolo venga effettuato utilizzando i valori di portata della corrente.

2) BUFFER DI I LIVELLO E CALCOLO DEL CAMPO SUGLI ELEMENTI QUOTATI

Per eseguire un'analisi approfondita su una vasta porzione di territorio, va creato il *buffer di I livello*, ossia la superficie entro una distanza definita dalle campate considerate, in base alle caratteristiche delle linee elettriche, tenendo conto della tipica estensione dei volumi di rispetto e della compresenza di più linee sul territorio, che racchiuda sicuramente l'isolinea dei 3 μT : nell'esempio qui riportato si è scelta una distanza di 500 m (Figura 5, a sinistra).

Si selezionano quindi all'interno del buffer gli elementi quotati nella Carta Tecnica (Figura 5, al centro). Per eseguire l'interpolazione orografica del terreno si scartano i punti riferiti alle sommità degli edifici (ad esempio quote gronda e ciminiera) e ad infrastrutture non a diretto contatto con il suolo (quali sopraelevate o cavalcavia). Un'analisi più accurata, sia della tabella contenente gli attributi dei punti quotati, che visiva con un'opportuna scala cromatica, permette di eliminare eventuali errori presenti nella cartografia.

Figura 5 - Definizione del *buffer di I livello* (a sinistra) sulla planimetria di interesse, con indicazione delle linee a 220 kV (in verde) e a 132 kV (in azzurro); elementi quotati al suo interno (al centro) e calcolo del campo in corrispondenza a tali punti (a destra).



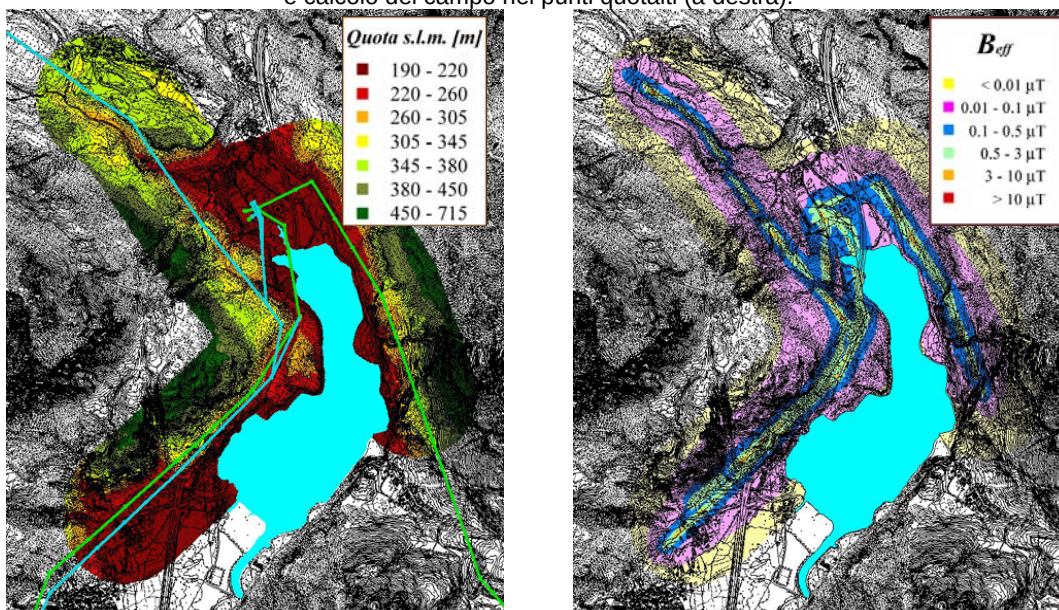
A causa della presenza nell'area d'interesse di un lago (evidenziato dal poligono azzurro), che comporta dal punto di vista cartografico l'assenza di punti quotati per l'intera sua superficie, si eliminano nelle procedure di calcolo i punti ricadenti in tale settore.

Gli elementi quotati sono quindi georeferenziati, utilizzando opportuni script nell'ambiente GIS utilizzato. È ora possibile eseguire il calcolo del campo in corrispondenza di tali punti; il risultato ottenuto è visualizzato in Figura 5 (a destra).

3) INTERPOLAZIONE OROGRAFICA E CALCOLO DEL CAMPO NEI PUNTI INTERPOLATI

L'interpolazione orografica viene compiuta sulla griglia di punti rettangolare definita dall'utente, memorizzata nel file di base. Quindi, in ambiente GIS si estraggono i soli punti interni al buffer e non ricadenti all'interno del lago, ottenendo una *base ridotta*. Il software calcola l'orografia interpolando i punti quotati georeferenziati sulla *base ridotta* secondo l'algoritmo visto prima: il risultato finale è riportato in Figura 6 (a sinistra).

Figura 6 - Risultato dell'interpolazione orografica nei punti del file di base ridotto (a sinistra) e calcolo del campo nei punti quotati (a destra).

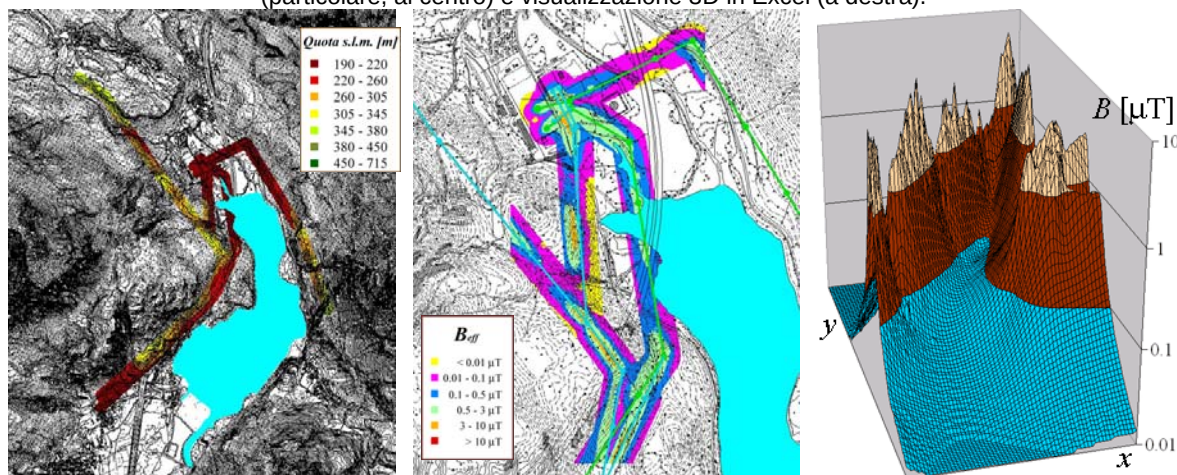


Si dispone ora di tutte le informazioni necessarie per eseguire il calcolo in corrispondenza dei punti interpolati con un passo di 10 m: il risultato è visualizzato in Figura 6, a destra.

4) DEFINIZIONE DEL BUFFER DI II LIVELLO, INTERPOLAZIONE E CALCOLO DEL CAMPO

Per mappare più fittamente la regione d'interesse, si determina un'area più ristretta, definita *buffer di II livello*, a partire dai valori di campo ottenuti ogni 10 m. Scegliendo, ad esempio, l'area interessata da valori superiori a $1 \mu T$, resta definita una distanza massima pari a 50 m dalle linee in questione, che definisce il *buffer di II livello*. In questo viene eseguita nuovamente l'interpolazione orografica, con un passo di 1 m (si veda la Figura 8, a sinistra).

Figura 7 – Interpolazione orografica con passo di 1 m nel *buffer di II livello* (a sinistra), calcolo del campo (particolare, al centro) e visualizzazione 3D in Excel (a destra).



Il calcolo finale si esegue nei punti interni al *buffer di II livello*, che ricopre un'area più ristretta della precedente, ma con campionamento eseguito ad un passo più fitto. Un particolare del risultato è riportato in Figura 7, al centro e a destra (in modalità 3D, utilizzando una scala semilogaritmica in Excel).

Questo tipo di procedura permette di diminuire i tempi di calcolo, evitando di calcolare il campo con un'alta risoluzione in ampie aree senza effettiva necessità.

E) CONCLUSIONI

L'assenza di una procedura unica definita e riconosciuta a livello nazionale ha imposto ad ARPA FVG lo studio e lo sviluppo di metodologie proprie per affrontare le problematiche connesse alla

salvaguardia dall'esposizione ai campi generati dai sistemi di produzione e trasmissione dell'energia elettrica.

In particolare, prendendo spunto dalle indicazioni tuttora provvisorie fornite anche dalla Norma CEI 106-11 [6] e dalla Bozza APAT [5], onde far fronte a diverse richieste a livello comunale inerenti alla determinazione delle fasce di rispetto nell'ambito della stesura dei Piani Regolatori Comunali, si è reso necessario definire una procedura per quanto possibile generale e che tenesse in debita considerazione tutti i possibili sviluppi della situazione normativa.

L'esigenza di eseguire in tempi accettabili le valutazioni dei livelli di campo su vaste aree ha permesso di individuare in Phidel lo strumento più idoneo ad eseguire le valutazioni richieste, sia per quanto concerne una valutazione cautelativa dell'esposizione della popolazione (calcolo del campo in corrispondenza alle quote gronda tutti gli edifici di un comune, utilizzando il valore di portata delle correnti), che come strumento di supporto al piano urbanistico.

La possibilità di calcolare il campo alle quote desiderate tenendo conto dell'orografia consente infatti di fornire ai comuni indicazioni precise sull'estensione della fasce di rispetto sia nell'ipotesi cautelativa di proiettare al suolo i volumi con campo superiore ai 3 μ T (come suggerito dalla Circolare Ministeriale [3]) che nell'approssimazione successiva di considerare il reale andamento dei suddetti volumi di campo, al fine di valutare eventuali intersezioni con gli edifici in progetto a seconda dei vincoli predisposti dalle Amministrazioni locali.

F) BIBLIOGRAFIA

- [1]. Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. (GU n. 200 del 29-8-2003).
- [2]. "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV", Norma Italiana CEI 11-60, 2002.
- [3]. Circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione generale per la salvaguardia ambientale, "Protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici – Determinazione delle fasce di rispetto", Roma, 15 novembre 2004.
- [4]. "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche". Norma Italiana CEI 211-4, 1996.
- [5]. Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto delle linee elettriche", revisione 0.40.
- [6]. Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) - Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo, Norma Italiana CEI 106-11, 2006.
- [7]. Comelli M., "Phidel 3, Manuale di Riferimento", <http://www.phidel.it>, 2006.
- [8]. Comelli M., Bertocchi L., Benes M., Villalta R., "Analisi, modelli previsionali e valutazione di impatto ambientale di campi di induzione magnetica generati da linee elettriche ad altissima tensione", Trieste 2004.
- [9]. Kanevski M., Maignan M., "Analysis and Modelling of Spatial Environmental Data" (EPLF Press), 2004.
- [10]. Raspa G., Dispense di geostatistica applicata, (Capitolo 3-Geostatistica di base) del corso integrato "Calcolo delle Probabilità e Geostatistica" impartito nel corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza".