

Copertura di un vasto territorio mediante misure elf da elettrodotti

Benes M. ⁽¹⁾, Moretuzzo M. ⁽¹⁾, Menotti G. ⁽¹⁾, Bampo A. ⁽¹⁾, Villata 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)

benes@arpa.fvg.it

Riassunto

L'ARPA-FVG ha condotto una vasta campagna di misura dei campi ELF a frequenza di rete su tutto il territorio della provincia di Udine, volta a caratterizzare le linee elettriche aeree ad alta (AT) ed altissima (AAT) tensione.

Viene descritta la procedura adottata per effettuare l'indagine su una porzione così vasta di territorio (75% della Regione), interessata da 60 linee elettriche. Dall' approssimazione di simmetria cilindrica del campo magnetico attorno ad una linea e traslazionale lungo una linea, si giunge alla definizione di *punto di misura equivalente* lungo un tracciato.

Nello svolgimento della campagna emerge il problema di effettuare misure di campi di induzione magnetica generati da varie configurazioni di linee elettriche presenti sulla stessa area, si evidenzia come, in alcuni casi complessi, sia necessario ricorrere a un monitoraggio continuo dei livelli di campo.

Le misure condotte sul territorio della Provincia di Udine hanno permesso di delineare una serie di accorgimenti per lo svolgimento delle misure. Viene quindi descritta la procedura di informatizzazione e georeferenziazione dei dati raccolti.

Per la rappresentazione dei risultati è introdotto, infine, un indicatore ambientale denominato *Colore delle Linee* (CL), il quale consente di evidenziare immediatamente, attraverso una semplice scala dei colori, il livello di inquinamento elettromagnetico prodotto da una linea elettrica.

A) INTRODUZIONE

Presso l'ARPA-FVG è stata condotta, nell'ambito di una convenzione, una vasta campagna di misura che ha coinvolto gli elettrodotti dell'intera provincia di Udine. Al fine di coprire l'intero territorio è risultato necessario definire il concetto di *punto equivalente* che verrà descritto nel seguito.

A seconda delle tipologie di linee e del particolare gestore, e, quindi, a seconda del tipo di dato di corrente, è stato necessario impostare la corretta procedura di misura. Questo al fine di ricondurre agevolmente la misura a quanto richiesto dalla normativa italiana in vigore. Il D.P.C.M. 08.07.03 [1] considera, infatti, come valore di attenzione la mediana del valore efficace del campo di induzione magnetica (CIM), valutata sulle 24 ore di normale esercizio (NCE) di un elettrodotto.

In un secondo momento, tutti i punti di misura sono stati georeferenziati in una struttura informatica implementata in GIS-ArcView.

Infine, la definizione dell'indicatore *colore delle linee* CL, ha permesso di raccogliere tutta l'informazione presente nelle misure. Il suo confronto con altri indicatori mostra i suoi pregi ed il suo ambito di utilizzo. Permette di ottenere, per quanto attiene la citata convenzione con la provincia di Udine, delle prime importanti informazioni sul grado di pressione esercitato dalle linee elettriche sul territorio.

B) LA FASE DELLE MISURE ED IL CONCETTO DI PUNTO EQUIVALENTE

Di fronte alla vasta estensione della provincia di Udine ed al cospicuo numero di linee elettriche presenti, è risultato necessario trovare un metodo che permettesse di fornire, senza incorrere in ridondanze, tutta l'informazione necessaria a descrivere completamente la situazione ambientale esistente. Tali linee interessano, infatti, il territorio della provincia con circa 3600 campate, per lo sviluppo complessivo di 1365 km, suddivisi come segue: 596 km di linee a 132 kV, 250 km di linee a 220 kV, 166 km di linee a 380 kV, di patrimonio della società TERNA S.p.A.; quelle a 132 kV sono gestite da ENEL Distribuzione, TERNA ed RFI.

Nell'ambito della convenzione citata, la fase precedente [2] a quella di misura, aveva provveduto a fornire uno strumento molto utile. Erano cioè stati calcolati dei *corridoi* di rispetto dei 0.2 μ T valutati con la corrente media annua del 2002 fornita dai gestori delle linee. Quindi rimaneva individuata una certa porzione di territorio molto più limitata e pertinente che non l'intero territorio provinciale. Per l'esecuzione delle misure ci si è quindi limitati a questi *corridoi* secondo la seguente scaletta di priorità:

- edifici scolastici, asili o luoghi adibiti all'infanzia;
- edifici collocati nelle immediate vicinanze di una linea od in zone particolarmente rappresentative: ad esempio nel punto di franco minimo di una campata;
- edifici più alti rispetto ad altri, nei pressi di una linea.

Per ogni linea si è, inoltre, provveduto ad effettuare, comunque, una misura nel punto di franco minimo al fine della costruzione univoca dell'indicatore CL che verrà analizzato più avanti.

Figura 1.a: campo limite.

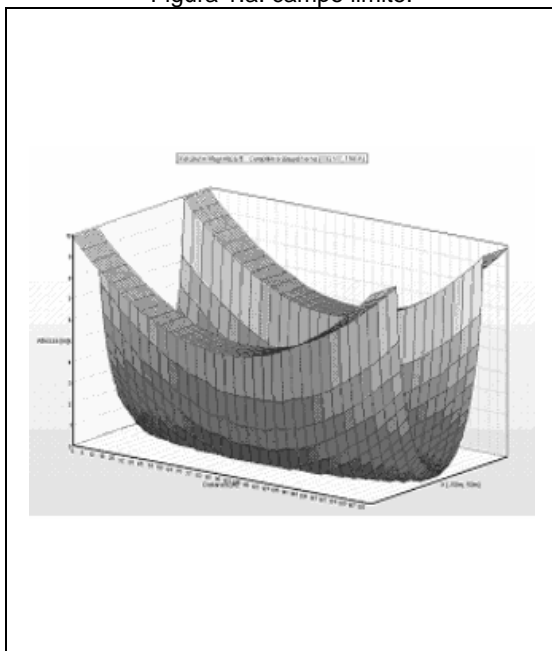


Figura 1.b: punti equivalenti



Andamento del campo limite a $0.2 \mu\text{T}$ del CIM lungo una linea, si noti la simmetria cilindrica attorno all'asse della linea [3].

I punti A, B e C sono equivalenti, così come i punti D ed E. Il punto F è invece il più sfavorito.

Il CIM presenta, approssimativamente, una simmetria cilindrica (Fig. 1.a) attorno all'asse della linea per cui punti corrispondenti situati specularmente da una parte e dall'altra di una linea sono soggetti agli stessi valori di CIM.

Inoltre, è possibile affermare, che il CIM, in prima approssimazione, manifesta una simmetria traslazionale lungo una linea; presenta cioè una ripetibilità della situazione riscontrata presso un punto di una campata in punti corrispondenti presso campate precedenti e successive.

Riunendo i due concetti di simmetria suesposti, rimangono quindi individuati, lungo le linee, dei *punti equivalenti* (Fig. 1.b), con i quali è possibile evitare ridondanze nell'esecuzione delle misure presso gli edifici indicati nella scaletta delle priorità e, contemporaneamente, coprire più velocemente l'intero territorio senza perdita di informazione.

C) IL METODO DI MISURA

La norma CEI 211-6 [4] e le linee guida internazionali dell'IEEE [5], forniscono delle indicazioni solamente di carattere generale per l'esecuzione delle misure senza indicare, ad esempio, la durata che devono avere le stesse, per cui l'Agenzia si è dotata di procedure interne di buona tecnica come descritto nel seguito.

Una volta individuato sulle planimetrie il punto equivalente in grado di caratterizzare una certa porzione di territorio, il metodo di misura ha riguardato la scelta dell'intervallo temporale e della strumentazione di misura più consoni.

L'intervallo temporale è stato scelto a seconda del tipo di linea e del gestore. Nel caso di linee composite (doppie linee) o casi complessi (linee indipendenti intersecantesi) (per la definizione delle tipologie di linee si veda [6]), si è optato per una misura sul lungo periodo (maggiore o uguale a 24 ore). Nei casi semplici di linee singole, si è optato per una misura a *spot*: variabile, in durata, tra 1 minuto e 15 minuti, a seconda della modalità di trasmissione del dato di corrente da parte del gestore.

Nel primo caso, la riconduzione ai limiti di legge è stata fatta estraendo semplicemente la mediana dalle misure.

Nel secondo caso riconducendosi alla mediana sulle 24 ore nelle NCE fornita dal gestore ed utilizzando la proporzionalità, indicata dalla legge di Biot-Savart [7], tra il CIM e la corrente.

Nel primo caso la strumentazione di misura è consistita in una centralina di monitoraggio continuo PMM8055S (Fig. 2.a). La centralina, alimentata da batterie interne, è collegata ad una cella fotovoltaica che consente l'autonomia in normali condizioni di insolazione. Il tempo di campionamento è stato impostato ad una misura al secondo, mentre quello di memorizzazione ad un minuto.

Figura 2.a: centralina per il monitoraggio continuo
PMM8055S

Figura 2.b: multimetro
PMM8053

Figura 2.c: EMDEXII



Nel secondo caso la strumentazione di misura è consistita nel PMM8053 (Fig. 2.b) e nell'EMDEXII (Enertech Consultants, Fig. 2.c).

Tutti gli strumenti sono stati collocati all'altezza di 1.5 metri rispetto al suolo ed impostati, per le letture, in modalità AVR (media aritmetica). Questo per tener conto del fatto che le correnti indotte nell'organismo sono proporzionali ai CIM. Si sarebbe optato per la modalità RMS (media quadratica) nel caso gli effetti fossero dipesi dalla densità di potenza, come nel caso delle radiofrequenze.

L'EMDEXII è sicuramente da preferirsi per misure con bassi valori di CIM data la maggiore sensibilità, inoltre, essendo più maneggevole, è utile per uno *screening* preliminare della zona al fine dell'individuazione veloce dei punti di posizionamento di una centralina. Diventa molto meno affidabile per le misure di campo elettrico (qui condotte per la verifica dello stato di attivazione delle linee) nel qual caso richiede una sonda esterna non isotropa. Per cui, per le misure di campo elettrico, si è optato per il PMM8053. Le centraline PMM8055S vengono invece preferite nel caso di misure prolungate.

La campagna di misura è stata condotta iniziando dalle linee ad altissima tensione (220-380 kV) procedendo poi ad una caratterizzazione di tutte le rimanenti linee ad alta tensione (132 kV).

Ne è conseguita una copertura pressoché omogenea dell'intero territorio della provincia di Udine e, facendo ricorso al concetto di *punto equivalente*, una caratterizzazione esaustiva di tutte le linee di interesse.

D) INFORMATIZZAZIONE DELLA CAMPAGNA DI MISURE

La fase di raccolta dati sul territorio ha richiesto lo sviluppo di una struttura informatica dedicata al salvataggio, raccolta ed organizzazione degli stessi. Al fine di soddisfare le richieste di aggiornabilità, modificabilità, portabilità e fruibilità dei dati per la loro elaborazione, è stato sviluppato un supporto informatico in ambiente GIS-ArcView del tipo *shape-file*. Tale database presenta i campi di interesse riportati in tab. 1 (estratto):

Tabella 1: estratto dei campi principali del database impiegato per la georeferenziazione.

CAMPO	DESCRIZIONE
COMUNE	Comune in cui sono state fatte le misure
INDIRIZZO	Indirizzo del punto di misura, nel caso di edifici descrizione del luogo di misura: terrazzo, piano abitazione, orientamento rispetto alla linea.
DATA_I	Data inizio misura
DATA_F	Data fine misura
H_B_I	Ora inizio misura per l'induzione magnetica
H_B_F	Ora fine misura per l'induzione magnetica
BMIS	Valore misurato di induzione magnetica nel caso di misura a spot oppure valore di induzione magnetica mediana sulle 24 h nel caso di misura lunga.
IMIS	Corrente fornita dal gestore circolante al momento della misura
IMN	Corrente mediana sulle 24 h nelle normali condizioni di esercizio fornita dal gestore.
BMN	Valore di induzione magnetica mediana sulle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio calcolato da IMN.

Tutti i punti di misura, eseguiti secondo le modalità descritte ai paragrafi precedenti, sono stati così georeferenziati in ambiente GIS-ArcView. Si tratta di 216 punti di misura riportati in Fig. 3.

E) L'INDICATORE COLORE DELLE LINEE CL

Il modello utilizzato per l'organizzazione, l'analisi e la presentazione dei dati in questo lavoro, è quello elaborato dall'OECD (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) nel 1993 e definito come Pressione-Stato-Risposta (PSR). L'Agenzia Europea per la protezione dell'Ambiente (EEA) ha successivamente ampliato il modello introducendo due ulteriori elementi: le Cause Generatrici (*Driving Forces*) (D) e gli Impatti (I). Il modello che ne deriva è denominato DPSIR ed è stato adottato, a livello nazionale, dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA, oggi APAT), per la costruzione del sistema conoscitivo d'informazione e osservazione ambientale.

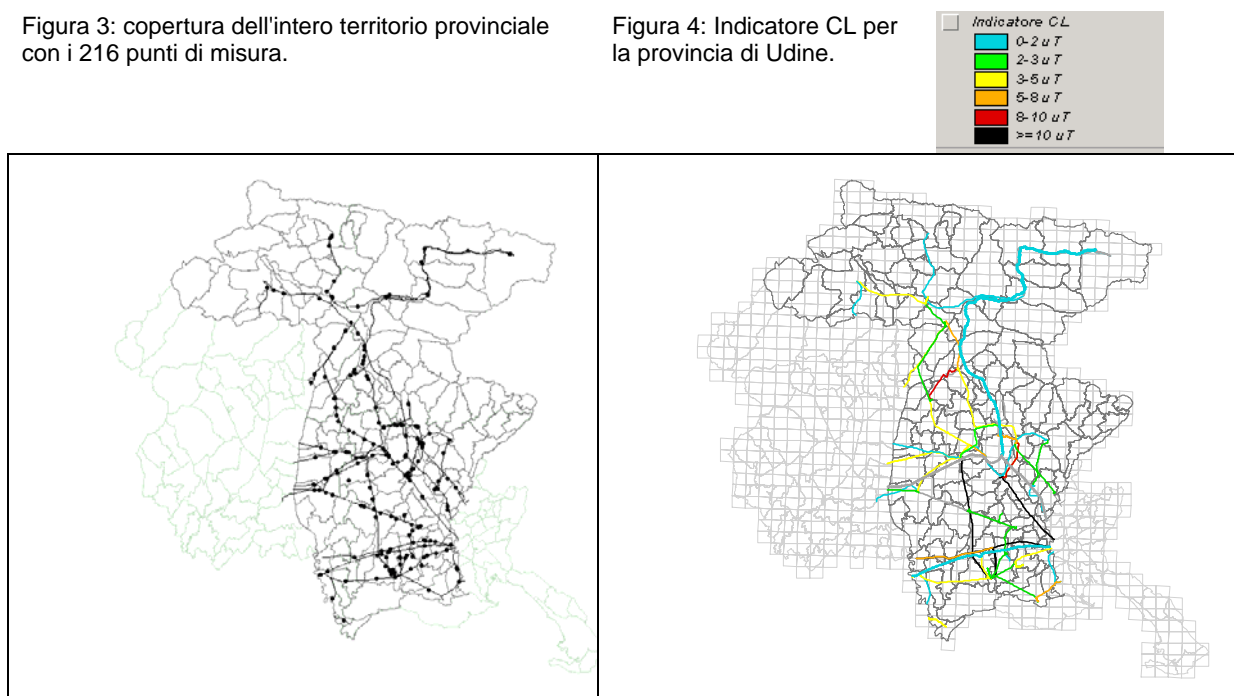
In questo ambito viene definito un indicatore di tipo nuovo per la caratterizzazione della situazione ambientale di porzioni di territorio attraversati da elettrodotti. L'indicatore *Colore delle Linee* CL vuole soddisfare questo proposito. CL si presenta come un indicatore di pressione in base alla seguente definizione: data una linea elettrica, si fa riferimento al risultato di una misura condotta presso il franco minimo di una sua campata. Tale misura viene, nel caso dello scenario italiano, riferita alla mediana di 24 ore nelle NCE della linea (la maggiore delle mediane di 24 ore dell'anno precedente a quello di esecuzione della misura); ma può, in linea di principio, venire riferita a qualsiasi valore del CIM. Per la sua visualizzazione grafica, è utile fare poi riferimento ad una scala dei colori riferita convenzionalmente ai valori del CIM come indicato in Fig. 4.

Rimane così assegnato un colore per ogni linea elettrica. Le linee azzurre e verdi rispettano l'obiettivo di qualità, quelle nere superano il valore di attenzione [1]; quelle rosse si trovano in una zona di potenziale superamento e quindi da sottoporre ad ulteriori indagini.

L'indicatore CL fornisce lo stato dell'ambiente in riferimento ad un particolare periodo temporale, ma può anche evolvere nel tempo e fornire un'indicazione continuamente aggiornata. Questo si ottiene semplicemente valutando i punti di misura ogni anno con la nuova mediana massima. In questo modo i punti di misura possono venire assimilati a delle centraline virtuali.

Figura 3: copertura dell'intero territorio provinciale con i 216 punti di misura.

Figura 4: Indicatore CL per la provincia di Udine.



In Fig. 4 viene mostrato l'indicatore CL per la provincia di Udine: si noti il grado di informazione che immediatamente si può trarre, a "colpo d'occhio", dai colori per quanto riguarda la pressione ambientale della linee sul territorio.

L'indicatore CL fornisce un'informazione capace di descrivere un vasto territorio come quello di una provincia così come un'informazione locale, di dettaglio, riferita al particolare sito o complesso di edifici attraversato da una linea elettrica. Il vecchio indicatore di pressione "Lunghezza e tracciato degli elettrodotti", invece, pur essendo in grado di ben definire un livello medio del fattore di pressione, non riesce ad individuare possibili situazioni locali di criticità.

L'indicatore CL potrebbe collocarsi, provenendo da un approccio sperimentale, sullo stesso piano dell'indicatore "Mappa dell'induzione magnetica" presentato in [8] ed attenuato per via analitica, precisando, comunque, che è esente da tutte le approssimazioni adottate in [8]. La "Mappa della popolazione" [8], potrebbe essere un valido indicatore, il suo problema è comunque legato alla reperibilità del dato necessario alla sua costruzione: al grado di aggiornamento dello stesso (la Carta Tecnica Regionale CTR stessa non è sempre aggiornata), nonché alla differente collocazione delle informazioni presso enti locali, amministrazioni comunali e gestori. L'indicatore CL è, invece, svincolato da queste informazioni di partenza in quanto richiede solamente l'esecuzione di una misura eseguita da personale e mediante un metodo ben determinati.

Presso l'ARPA-FVG si sta provvedendo all'effettuazione di un'analisi del territorio e ad un monitoraggio più dettagliati della campagna di misure qui presentata concentrando l'attenzione sulle linee rosse e nere. L'indicatore CL ha permesso di effettuare una scrematura dei casi che si potevano presentare a priori su un vasto territorio come quello provinciale permettendo, così, di concentrare l'attenzione su poche zone di interesse. Saranno tali zone a venire indagate più a fondo con l'aiuto delle amministrazioni locali per l'individuazione di pertinenze o destinazioni d'uso di edifici non rilevabili da CTR.

F) CONCLUSIONI

Nell'ambito di una convenzione con la provincia di Udine, l'ARPA-FVG ha effettuato una campagna di misura presso gli elettrodotti ad alta ed altissima tensione che interessano il territorio provinciale. La copertura del territorio è stata effettuata facendo ricorso al concetto di *punto equivalente*. I 216 punti di misura effettuati sono stati assurti al ruolo di centraline virtuali in grado di fornire un'informazione sempre aggiornabile in futuro.

Viste le difficoltà intrinseche degli indicatori esistenti proposte per gli elettrodotti, si è qui proposto l'indicatore di pressione *Colore delle Linee* CL. Questo ha permesso di ottenere una mappa a colori delle linee della provincia di Udine che fornisce un'indicazione a "colpo d'occhio" della pressione ambientale delle linee sul territorio. L'integrazione dell'indicatore CL con gli indicatori che prendono in considerazione la distribuzione degli edifici e delle persone potrebbe costituire un quadro ottimale.

L'indicatore CL fornisce un'indicazione cautelativa della situazione ambientale per le costruzioni esistenti presso le linee, sia che siano indicate su CTR, sia che siano mancanti. Fornisce, inoltre, un'indicazione anche per le future costruzioni (obiettivo di qualità) e piani regolatori o per le procedure di Valutazione di Impatto Ambientale. Si propone, quindi, l'indicatore CL come un utile strumento per le amministrazioni locali per un'indagine ed una comprensione dettagliati del loro territorio.

G) RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] D.P.C.M. del 08.07.2003 – "*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*". Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 200 (29-8-2003).
- [2] M. Benes, M. Comelli, A. Drigo, C. Giovani, F. Montanari, R. Villalta, "*Strumenti per una mappatura degli elettrodotti: database, software di simulazione e monitoraggio*", Comunicazione orale, pag 21, Atti del Convegno Nazionale – Dal Monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell'esposizione ambientale, 29-31 Ottobre 2003, Villa Gualino, Torino.
- [3] Stema-Euronion "*Studio e mappatura dei campi elettromagnetici generati da elettrodotti*", Ver. 1.2.
- [4] CEI 211-6. "*Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0-10 kHz con riferimento all'esposizione umana*." (2001).
- [5] IEEE *Standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC power lines*. 644 (1994).
- [6] M. Benes, M. Comelli, R. Villalta, "*ELF Field in the proximity of complex power-line configurations measurement procedures*", Radiation Protection Dosimetry, 12 gennaio 2006 *Advanced Access Published* (doi:10.1093/rpd/nci348).
- [7] CEI 211-4 "*Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche*." (1996).
- [8] C. Malacarne, L. Cristoforetti, R. Pontalti, A. Vaccari, "*Indicatori di impatto ambientale per linee elettriche ad alta tensione in ambiente urbano: criteri per la messa a punto e loro impiego nella città di Trento*.", Comunicazione orale, pag 21, Atti del Convegno Nazionale – Dal Monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell'esposizione ambientale, 29-31 Ottobre 2003, Villa Gualino, Torino.