

## La determinazione di un indicatore di stato su scala regionale per le linee elettriche ad alta tensione: definizione della priorità nelle verifiche sul campo

Comelli M.<sup>(1)</sup>, Colonna N.<sup>(2)</sup>, Martini L.<sup>(3)</sup>, Licitra G.<sup>(4)</sup>

- <sup>(1)</sup> IFAC-CNR, via Madonna del Piano, 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI), comelli@ifac.cnr.it  
<sup>(2)</sup> ARPA Toscana - Dipart. prov. di Pisa, via Vittorio Veneto 27 - 56100 Pisa, n.colonna@arpat.toscana.it  
<sup>(3)</sup> ARPA Toscana, Dipart. prov. di Lucca, via Vallisneri 6- 55100 Lucca, l.martini@arpat.toscana.it  
<sup>(4)</sup> ARPA Toscana, via Nicola Porpora 22 - 50144 Firenze, g.licitra@arpat.toscana.it

### Riassunto

L'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Toscana (ARPAT) e l'IFAC (Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del CNR di Firenze), collaborano da diversi anni allo sviluppo di un sistema integrato per la valutazione dell'esposizione al campo magnetico disperso da elettrodotti, in particolar modo avvalendosi di uno specifico modello di simulazione (PLEIA-EMF), costituito da una serie di applicativi soggetti a verifiche interne di congruità e validazioni sul campo.

Avvalendosi dei dati ricavati dalla cartografia numerica, è stato definito un indicatore di stato associato a ciascuna campata, determinato utilizzando il campo calcolato attraverso PLEIA e tenendo conto dei residenti negli edifici più prossimi.

In questa maniera si possono individuare eventuali criticità sul territorio, focalizzando l'attenzione nei casi in cui sono presenti alti livelli di esposizione ed è coinvolto un numero consistente di persone.

A partire dai risultati delle simulazioni è stata programmata, ed è tuttora in corso, una campagna di verifiche in situ, volte a valutare sia l'attendibilità dei dati in archivio nei casi critici individuati con la metodologia descritta, sia la reale entità dell'esposizione della popolazione.

Vengono presentate le procedure che hanno portato prima alla determinazione dell'indicatore, e quindi le modalità di verifica sul campo attuate dai tecnici coinvolti.

### INTRODUZIONE

Poiché i livelli di induzione magnetica presenti all'interno delle abitazioni prossime alle linee elettriche dipendono significativamente dalla distanza del recettore dai conduttori della linea stessa e dalla geometria con cui tali conduttori sono installati, sono stati studiati puntualmente i diversi fattori che sono causa di errore in fase di modellizzazione [1].

I tracciati e i dati tecnici sugli elettrodotti sono forniti dal proprietario della linea, mentre la quota dei sostegni è rilevabile dalla cartografia. Al fine di accertare sia l'affidabilità dei dati forniti dai gestori che la bontà della cartografia digitale regionale, sono state effettuate numerose verifiche sul campo in cui gli operatori hanno rilevato la reale posizione della base dei sostegni e la relativa quota sul livello del mare con un rivelatore GPS a frequenza singola dotato di palmare, su cui era stata precaricata la cartografia della zona da controllare. Mediante telemetro laser sono state rilevate sia le distanze tra i sostegni della linea e gli edifici vicini, sia le altezze da terra degli attacchi dei conduttori (punti di partenza ed arrivo della catenaria). Per determinare univocamente la posizione corretta nello spazio della catenaria è stato inoltre rilevata l'altezza da terra del conduttore più basso, sia in corrispondenza delle singole abitazioni, sia nel suo punto di minima distanza da terra.

La determinazione dei tratti di linee elettriche presso i quali eseguire le verifiche è avvenuta tramite la determinazione di un indicatore di stato associato alle campate delle linee, in modo da fornire una classifica dei tratti più impattanti sull'intero territorio regionale.

### DETERMINAZIONE DELL'INDICATORE

È stato definito un indicatore di stato associato a ciascuna campata, che tiene conto dell'esposizione calcolata negli edifici circostanti e del numero di persone esposte. In questo modo vengono evidenziati i singoli tratti di linea che presentano possibili criticità, dovute sia ad alti valori di campo, sia al coinvolgimento di un numero consistente di persone.

È determinato attraverso la relazione:

$$I_{stato} = \sum_i B_i N_i$$

ove  $B_i$  e  $N_i$  sono l'induzione calcolata in ciascun edificio e gli abitanti ivi residenti, rispettivamente, e la sommatoria avviene sugli edifici prossimi alla campata considerata.

La procedura per la definizione di tale indicatore consiste dapprima in una serie di operazioni in ambiente GIS, che estraggono gli edifici coinvolti ed associano loro le caratteristiche necessarie al calcolo, che viene quindi eseguito avvalendosi del software PLEIA [2].

Degli edifici presenti in cartografia 1:10000 sono esaminati quelli aventi destinazione d'uso residenziale. A ciascuno di essi è stato associato il numero di abitanti utilizzando una proporzione tra la superficie dell'elemento considerato e quella delle abitazioni ricadenti nella stessa sezione censuaria, in base ai dati del censimento dell'anno 2001.

Vengono quindi selezionati gli edifici ricadenti all'interno delle fasce di I livello (corrispondenti alla proiezione al suolo del volume di campo superiore al valore desiderato) a  $0.4 \mu\text{T}$ , calcolate con i valori medi annui di corrente.

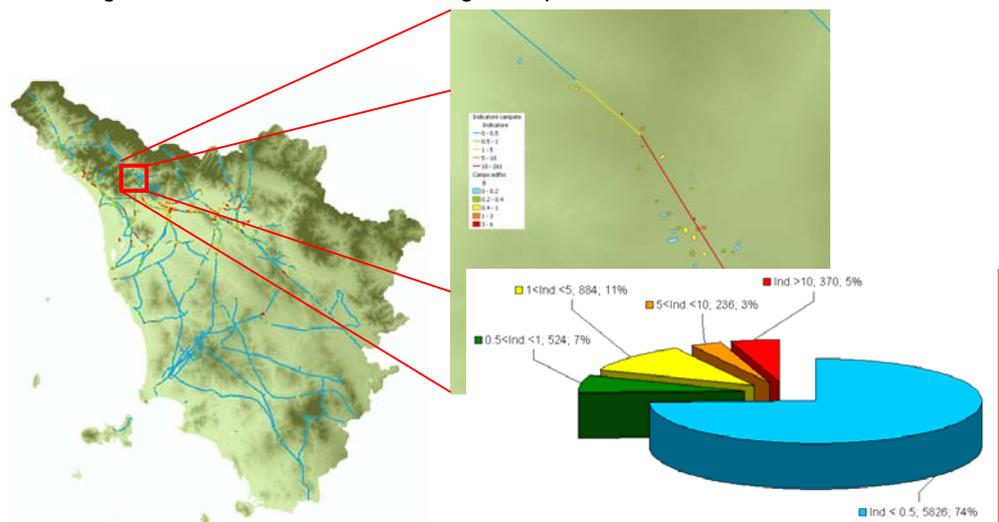
In questa maniera si considerano, con una procedura cautelativa, tutti gli edifici che possono presentare livelli significativi di esposizione, ma viene considerevolmente ridotto il numero totale in modo da contenere il tempo di calcolo.

A questo punto si dispongono di tutti i dati per effettuare il calcolo su una griglia predeterminata: attraverso PLEIA si calcola il valore medio dell'induzione magnetica nell'anno di riferimento a 2 m dal suolo in corrispondenza al centroide di ciascun edificio, estratto come visto in precedenza. La scelta della quota non è influente per definire una graduatoria di criticità delle campate, come è risultato da specifici test condotti su un campione più ridotto di elementi (in corrispondenza di quota gronda, al suolo e a 2 m dal suolo). In seguito è possibile associare a ciascun edificio il valore dell'induzione magnetica determinata in corrispondenza del centroide, e calcolare in un apposito campo il prodotto del numero di residenti per il valore dell'esposizione.

Infine, si associa ad ogni campata la somma di tale valore per tutti gli edifici circostanti, utilizzando un buffer opportunamente costruito.

Il risultato è visualizzato nella figura seguente; nel dettaglio si nota il valore dell'indicatore riferito alla campata ed il campo calcolato in ciascun edificio.

Figura 1 - Indicatore associato ad ogni campata.



Calcolo dell'indicatore per ogni campata su tutto il territorio regionale e sua distribuzione.

## VERIFICHE SUL CAMPO

Le verifiche sui dati presenti in CERT sono state effettuate su vari aspetti, descritti nei punti seguenti.

### POSIZIONE DEL SOSTEGNO

È stato eseguito il raffronto tra la posizione della base dei sostegni ricavata dal tracciato in formato DWG (fornito dai gestori) e quella ricavata dai fogli in scala 1:10'000 e 1:2'000 (ove disponibile).

I sopralluoghi in prossimità dei sostegni della linea sono stati concentrati sulle zone di pianura o nei luoghi ove era possibile raggiungere la base del sostegno e posizionare correttamente il cavalletto con lo strumento di misura, dando priorità ai siti densamente abitati in cui è significativa l'esposizione della popolazione, tralasciando le zone di collina e di montagna in cui non vi sono abitazioni.

Si è ottenuta la statistica riportata nella tabella seguente.

Tabella 1 - Differenze sulla posizione della base dei sostegni.

	MINIMA	MASSIMA	MEDIA $\pm$ DEV. ST.
Discrepanza da CTR 1:2000 [m]	0.1	3.1	$0.7 \pm 0.5$
Discrepanza da CTR 1:10000 [m]	0.0	10.6	$1.8 \pm 1.7$

Figura 2 - Dati tecnici presenti in CERT.



Dati relativi alla posizione e all'altezza del sostegno (a sinistra) ed alla posizione dei conduttori (a destra).

**FORMA GEOMETRICA DELLA TESTA DEL SOSTEGNO**

Si è cercato di raggiungere i sostegni delle linee in modo da fotografarne la testa con un'inquadratura frontale. Tali fotografie consentono di individuare il tipo di testa installata e di confrontarlo con quello presente in archivio. Con tale metodo non si riescono a distinguere tra loro solo i casi in cui, a parità di lunghezza degli sbracci, il conduttore centrale è ad altezze diverse.

Non sono state riscontrate difformità da quanto presente nel Catasto.

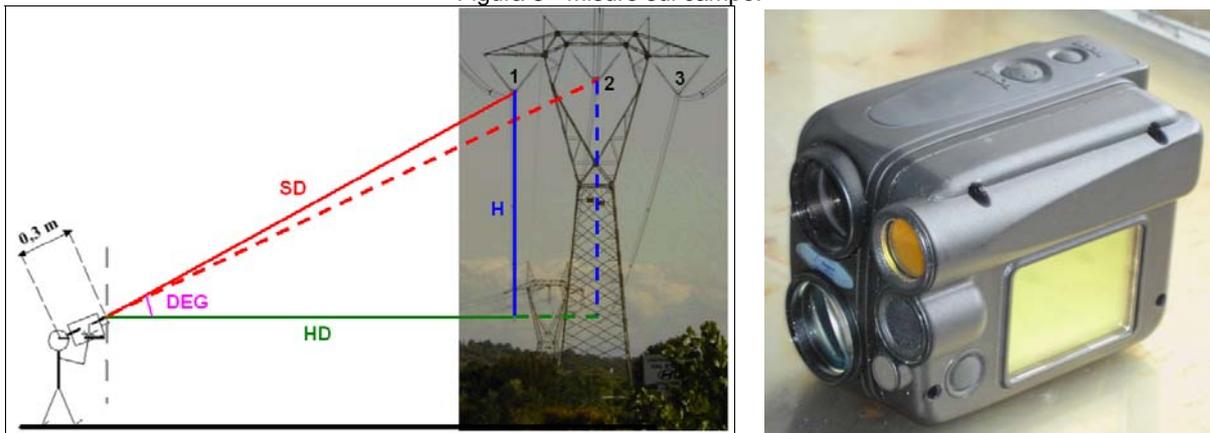
**ALTEZZA DA TERRA DEL CONDUTTORE PIÙ BASSO**

L'ipsometro laser Haglöf mod. Vertex VL400 consente di misurare la distanza dall'osservatore e l'altezza da terra del punto di sospensione dei conduttori di una linea elettrica. Nella modalità *ANGLE* lo strumento restituisce le seguenti informazioni:

- SD: distanza tra l'osservatore ed il punto misurato (ad esempio l'attacco del conduttore);
- HD: distanza sul piano orizzontale tra l'osservatore ed il punto misurato;
- DEG: angolo rispetto al piano orizzontale;
- H: altezza da terra.

È quindi possibile rilevare sul campo l'altezza da terra dei conduttori di una linea elettrica, ed in particolare quella degli attacchi al sostegno.

Figura 3 - Misure sul campo.



Altezze e distanze rilevabili sul campo mediante il misuratore laser di distanza Vertex VL400.

Durante i sopralluoghi effettuati, dove è stato possibile raggiungere la base del sostegno si è proceduto a misurare frontalmente le altezze dei punti di sospensione dei conduttori.

Considerando indipendenti e casuali le incertezze di misura sulla distanza e sull'ampiezza dell'angolo, si ottiene che, al variare dell'angolo (DEG) tra 20° e 70°, l'incertezza sull'altezza varia da 0.2 a 0.5 m.

L'altezza utile dichiarata dal gestore ricade sempre all'interno del *range* di variabilità individuato dall'altezza da terra misurata dei conduttori più bassi e la sua incertezza ( $\Delta h$ ):

$$h_{\text{mis}} - \Delta h \leq h_{\text{CERT}} \leq h_{\text{mis}} + \Delta h$$

## LUNGHEZZE DEGLI SBRACCI

Posizionando il Vertex sul piano verticale ortogonale all'asse della linea e passante per i punti di attacco dei conduttori, è possibile, col metodo illustrato in precedenza, ricavare per sottrazione la lunghezza degli sbracci di una linea elettrica.

Sempre considerando le incertezze di misura sulla distanza e sull'ampiezza dell'angolo come indipendenti e casuali, si ottiene che, al variare dell'angolo (DEG) tra 20° e 70°, l'incertezza sulla lunghezza degli sbracci varia da 0.4 a 1 m. Poiché l'incertezza sulla lunghezza degli sbracci varia in funzione dell'angolo (DEG), si è riscontrato che in diversi casi si ricava con buona precisione lo sbraccio più vicino all'osservatore e si sottostima o sovrastima lo sbraccio più lontano. Per avere una stima più corretta e simmetrica dei due sbracci si è provveduto, ove possibile, a ripetere l'operazione di misura dalla parte opposta rispetto all'asse di simmetria del sostegno.

Anche se con un'incertezza maggiore rispetto all'altezza, tale metodo per la determinazione della lunghezza degli sbracci consente comunque di distinguere tra loro i casi in cui, a parità di forma geometrica della testa, gli sbracci differiscono tra un tipo e l'altro di almeno 0.5 m. Ad esempio, si riesce a distinguere la testa tipo MV (o LV, o NV) da quella tipo VV.

All'interno dell'intervallo di confidenza del metodo non sono state riscontrate difformità da quanto presente nel Catasto.

## QUOTE DEGLI EDIFICI

Le altezze sono state acquisite mediante telemetro laser. La verifica sul campo delle quote dell'edificio vicino all'elettrodotto ha permesso di riscontrare in diversi casi le difformità rispetto alle informazioni disponibili in formato digitale, soprattutto in assenza di cartografia 1:2000, o nelle situazioni in cui l'edificio si trova in territorio collinare o montano (nel qual caso la differenza di quota riscontrata arriva ad alcuni metri). Le difformità tra la cartografia digitale e quanto rilevato direttamente sul campo si sono inoltre riscontrate anche ove è disponibile la cartografia in scala 1:2000 e il sostegno si trovi in territorio pianeggiante.

## CONCLUSIONI

Le verifiche eseguite sul campo hanno evidenziato su linee a 380 kV una buona corrispondenza tra i dati tecnici e geometrici (geometria delle teste, altezze dei conduttori e sbracci) dichiarati dal gestore e quanto rilevato dagli operatori ARPAT sul campo. Nel dettaglio le altezze dei conduttori da terra, misurate con un'incertezza massima di 0.5 m, e gli sbracci, misurati con un'incertezza massima di 1.0 m, risultano in tutti i casi esaminati sovrapponibili a quelli dichiarati dal gestore. È stato inoltre verificato che con tali incertezze sugli sbracci è possibile calcolare la distanza di prima approssimazione [3, paragrafo 5.1.3] relativa alla tipologia di testa con un errore percentuale contenuto nel 10%.

Le difformità riscontrate riguardano le coordinate geografiche delle basi dei sostegni che differiscono, a volte significativamente, da quelle ricavabili dalla cartografia digitale regionale. In particolare, tale differenza di posizione dalla cartografia in scala 1:2.000 è pari in media a  $0.5 \div 0.7$  m, e dalla cartografia in scala 1:10.000 è pari in media a  $1.7 \div 1.8$  m.

Vi sono significative differenze tra la quota s.l.m. della base dei sostegni, ricavata dalla cartografia in scala 1:2.000, e quella dedotta dalla cartografia in scala 1:10.000. Le verifiche delle quote degli edifici mostrano differenze con i dati cartografici più o meno rilevanti in funzione dell'orografia, risultando rilevanti in situazione di più marcata pendenza.

Approfondimenti sono in corso soprattutto per linee a 132 kV per le quali le informazioni dai gestori sono più carenti, sia in relazione alla vetustà delle linee, sia all'assenza di standardizzazione dei sostegni. Ci si attende, quindi, che le incertezze associate alle dimensioni delle fasce di rispetto siano percentualmente più ampie. In ogni caso comunque l'importanza di uno strumento affidabile di previsione degli impatti delle linee ai fini di una corretta pianificazione dell'uso del territorio è del tutto evidente.

## Bibliografia

- [1] M. Comelli, N. Colonna, C. Licciardello and G. Licitra: "3-Dimensional modelling in evaluating ELF fields exposure", 5th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Città del Mare, Terrasini (PA), Italy, September 28<sup>th</sup> – October 2<sup>nd</sup> 2008.
- [2] Andreuccetti e Zoppetti (2003): "Campo magnetico disperso da elettrodotti ad alta tensione: una metodologia avanzata di valutazione basata su modelli 3D di linee elettriche e territorio", Atti del convegno "Dal monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell'esposizione ambientale", Torino, 29-31 ottobre 2003, pp.17-20.
- [3] DM 29/05/2008 – Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti, GU 08/07/2008.