

## **Un indice di impatto per la classificazione delle tipologie di sostegni inserite nel catasto degli elettrodotti**

Daniele Andreuccetti, Christian Fulcheri, Francesco Salomone e Nicola Zoppetti

IFAC-CNR (Istituto di Fisica Applicata Nello Carrara del CNR)  
via Madonna del Piano 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI)  
*D.Andreuccetti@ifac.cnr.it*

### **INTRODUZIONE**

Il catasto degli elettrodotti costituisce una risorsa di grande utilità, non solo come strumento di documentazione della presenza sul territorio di questo tipo di sorgenti elettromagnetiche, ma anche come supporto ai programmi di calcolo per la determinazione dell'induzione magnetica da esse dispersa nell'ambiente. Il suo impiego è ormai irrinunciabile, soprattutto quando si debbano eseguire valutazioni che interessano territori molto ampi e che coinvolgono quindi un grande numero di linee elettriche, oppure linee molto lunghe. Tra le applicazioni che traggono maggior vantaggio dall'utilizzo del catasto, rientra senza dubbio l'individuazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti previste dalla normativa nazionale. In Toscana, l'archivio CERT (Catasto degli Elettrodotti della Regione Toscana) è stato sviluppato congiuntamente da ARPAT e IFAC-CNR e si trova oggi ad uno stadio avanzato di popolamento.

Come è noto, i dati richiesti per la modellazione completa di una linea elettrica ai fini dell'esecuzione di una accurata valutazione dell'induzione magnetica comprendono la posizione, l'altezza e l'orientazione dei sostegni, la conformazione della testa di ciascuno di essi (cioè la posizione esatta dei punti di sospensione) ed il parametro di posa dei conduttori, oltre ovviamente alla corrente di linea.

Non sempre, però, i gestori rendono disponibili tutti questi dati. Come sviluppatori ed utenti dell'archivio, ci si è trovati quindi a dover decidere come comportarsi di fronte a dati insufficienti o approssimati. È risaputo che la qualità e la completezza dei dati condizionano l'accuratezza dei risultati forse più delle prestazioni dell'algoritmo di calcolo (Andreuccetti et al., 2006; Zoppetti e Andreuccetti, 2006) e che, per di più, difficilmente si può stimare con ragionevole confidenza quanto questa accuratezza sia degradata in presenza di dati incompleti. A rigore dunque, in mancanza delle informazioni necessarie, si sarebbe dovuto decidere di rinunciare al calcolo dell'induzione magnetica o alla determinazione delle fasce di rispetto. Giudicando questa impostazione eccessivamente penalizzante, si è cercato di individuare un approccio alternativo, che permettesse di popolare il catasto anche con informazioni parziali, conservando la capacità di costruire un modello numerico tridimensionale della linea, pur con una certa penalizzazione dell'accuratezza dei valori di campo calcolati in base ad esso. Si è ritenuto, in altre parole, che una valutazione approssimata può in molti casi essere preferibile ad una totale assenza di valutazione, specie se è possibile ritenere fondatamente che la valutazione eseguita sia approssimata in senso cautelativo. In quest'ottica e con queste finalità, si è dotato CERT di una struttura "scalata" e si sta individuando un indice per classificare le tipologie dei sostegni (ovvero le varie conformazioni delle teste) dal punto di vista del livello di impatto ambientale del campo magnetico generato.

### **L'APPROCCIO SCALATO**

In questo lavoro ci si concentrerà in particolare sulla conformazione delle teste dei sostegni, ma ciò non significa che gli altri parametri non abbiano importanza. La posizione georiferita dei sostegni, per esempio, è assolutamente irrinunciabile, poiché non è concepibile fare valutazioni di impatto magnetico di un elettrodotto se non se ne conosce la collocazione esatta sul territorio. Nel popolare CERT, si è pertanto stabilito di inserire in archivio solo le linee i cui sostegni abbiano una posizione "perfettamente nota" e si sta stimando la precisione con cui è possibile conoscere questa posizione, in relazione a fattori quali l'incertezza cartografica, l'errore insito nella conversione tra sistemi di coordinate etc.

Anche l'altezza dei sostegni ed il parametro di posa delle catenarie rivestono un ruolo critico, ma esiste almeno una situazione importante in cui essi risultano relativamente poco influenti: si tratta, come è noto, della determinazione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA) prevista dal Decreto del Ministro dell'Ambiente del 29 maggio 2008, relativo alla "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti". In CERT, si è deciso di inserire, per ciascuna linea, dei valori di *default* per l'altezza dei sostegni ed il parametro della catenaria, da utilizzarsi per modellare la linea, almeno ai fini del calcolo della DPA, ogni qual volta non siano noti i valori specifici. L'orientazione, invece, rappresenta un parametro meno critico, poiché nella stragrande maggioranza dei casi può essere determinata in modo automatico a partire dal tracciato della linea.

Per quanto riguarda la conformazione della testa dei sostegni (quella che in CERT si chiama la “tipologia” del sostegno, ovvero l’insieme dei dati sulla posizione dei singoli punti di sospensione), dall’analisi dei dati che i gestori Terna ed ENEL hanno consegnato ad ARPAT per il popolamento del catasto, è emerso che per ciascun sostegno può presentarsi una delle situazioni seguenti.

1. Non si ha alcuna informazione sulla conformazione della testa del sostegno.

Questa situazione si verifica quando è nota solo la posizione del sostegno, ma non si hanno né documenti cartacei, né tabelle elettroniche, né fotografie o testimonianze visive che diano indicazioni sulla conformazione della testa.

2. Si hanno informazioni sull’aspetto della testa del sostegno, ma senza indicazioni sulle dimensioni delle mensole.

Questa situazione si verifica tipicamente quando si dispone di una scheda tecnica incompleta della linea, che riporta una rappresentazione grafica dell’aspetto del sostegno, priva però di indicazioni sulle dimensioni delle mensole. In altri casi, la conformazione della testa può essere nota grazie a sopralluoghi, fotografie, immagini satellitari.

3. Si hanno informazioni dimensionali incerte sulla testa del sostegno.

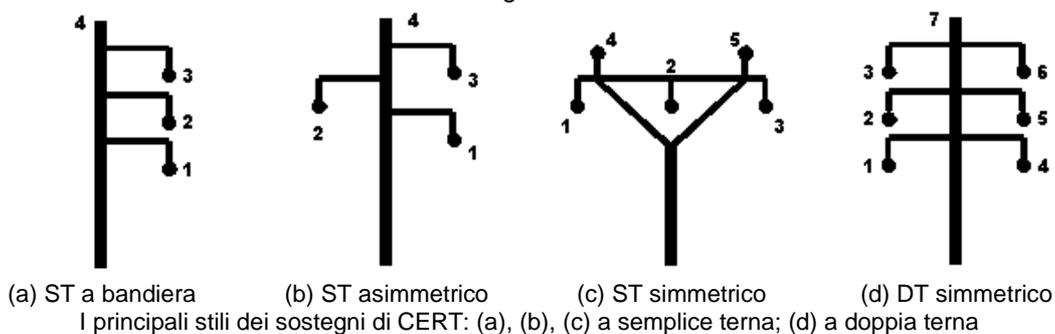
Questa situazione si verifica per esempio quando si dispone di una scheda tecnica che riporta una rappresentazione grafica dell’aspetto del sostegno, corredata di indicazioni sulle dimensioni delle mensole: l’incertezza nasce dal fatto che spesso le schede tecniche delle linee riportano, a questo proposito, solo delle indicazioni medie riferite a gruppi di sostegni simili.

4. Si hanno informazioni dimensionali esatte sulla testa del sostegno.

Questa situazione si verifica quando è possibile associare al sostegno – partendo per esempio dal codice riportato sul profilo oppure sulla tabella dei picchetti – un disegno specifico e particolareggiato che rappresenta la conformazione della testa e delle mensole.

Le campate che fanno capo ad un sostegno che rientra nel caso 1) non possono essere “cablate” in fase di popolamento del catasto, poiché manca del tutto la possibilità di stabilire la posizione di partenza e di arrivo dei conduttori. Tuttavia, sarà ancora possibile effettuare valutazioni di campo magnetico, purché si provveda a completare “localmente” (cioè all’interno del programma di calcolo) il cablaggio della linea. A questo fine, si potrà utilizzare – se disponibile – la tipologia considerata “tipica” per la linea in studio (conservata in un apposito campo della tabella delle linee), oppure decidere per un approccio massimamente cautelativo ed utilizzare la tipologia più impattante in assoluto tra tutte quelle compatibili con la linea stessa. A questa scelta dovranno poi far seguito delle ipotesi ragionevoli sullo schema di cablaggio.

Figura 1



Nei casi 2) e 3) si hanno evidentemente indicazioni grossolane o incomplete sulla forma della testa, che rendono possibile identificare quello che noi chiamiamo lo “stile” di un sostegno (fig. 1). Non si dispone però delle dimensioni esatte delle mensole e non si è quindi in grado di posizionare accuratamente i punti di sospensione nello spazio. Si è ritenuto allora ragionevole inserire in archivio, per i sostegni in questione, la tipologia che, tra tutte quelle compatibili con lo stile individuato, massimizza il campo magnetico generato. Una volta stabilita la tipologia sostitutiva, le campate che fanno capo al sostegno potranno essere regolarmente cablate in fase di inserimento della linea in archivio.

Per mettere in pratica l’approccio descritto, si è studiata la possibilità di attribuire un “indice di impatto” a ciascuna tipologia di sostegno presente in archivio, che ne rappresenti l’impatto dal punto di vista del campo magnetico generato e consenta quindi di mettere in ordine i tipi di sostegno sotto questo aspetto.

L’analisi che segue si applica in primo luogo alle tipologie a semplice terna; al termine, si farà cenno ai problemi specifici delle tipologie a doppia terna. Per inquadrare correttamente la questione, si tenga presente che attualmente nel catasto CERT sono descritte 307 diverse tipologie di sostegno aereo, di cui

239 a semplice terna e 68 a doppia terna. A queste tipologie fanno capo 16935 sostegni aerei, di cui 15499 a semplice terna e 1436 a doppia terna.

**LA RICERCA DELL'INDICE DI IMPATTO**

La ricerca di un indice di impatto per i tipi di sostegni si è mossa inizialmente con l'ambizioso obiettivo di raggiungere una ampia serie di requisiti.

L'indice avrebbe dovuto essere determinato a partire dalle sole caratteristiche geometriche del sostegno, senza coinvolgere la corrente trasportata dalla linea e senza richiedere il calcolo del campo magnetico. Nel contempo, esso avrebbe dovuto consentire di ordinare in modo coerente il maggior numero possibile di tipi di sostegno in riferimento a numerosi indicatori ambientali, tra cui per esempio:

- il valore dell'induzione magnetica in punti prossimi alla linea, sia al livello del suolo sia ad una certa altezza;
- il valore dell'induzione magnetica in punti distanti dalla linea (dove l'altezza da terra del punto di valutazione non ha un'influenza significativa);
- la larghezza della proiezione al suolo della "fascia di rispetto" a 3 µT (come definita dal sopracitato Decreto Ministeriale).

Come primo tentativo, si è partiti dalla constatazione (Kaune e Zaffanella, 1993) che il modulo dell'induzione magnetica *B* presente in un punto *P* posto a grande distanza dalla linea elettrica che la genera, può essere stimato con buona approssimazione dall'eq. 1, dove *k* è una costante dipendente dalla conformazione della testa, *I* è la corrente di linea e *d* è la distanza di *P* dal baricentro dei punti dove i conduttori intersecano il piano ortogonale alla linea passante per *P*. L'approssimazione è tanto migliore quanto più la distanza *d* è maggiore della media delle interdistanze tra i conduttori.

$$B = \frac{kI}{d^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Questa espressione suggerisce l'idea di utilizzare come indice di impatto il parametro *k*, anche considerando che esistono formule semplificate per la sua determinazione in funzione della struttura geometrica della testa del sostegno (CEI, 1996; CEI, 2006). Come ci si

poteva aspettare, questo approccio conduce però ad individuare un indice che risulta in grado di mettere in ordine le tipologie di sostegno solo in relazione all'intensità del campo prodotto ad una certa distanza dalla linea, mentre in altri casi conduce a risultati contraddittori o non del tutto soddisfacenti.

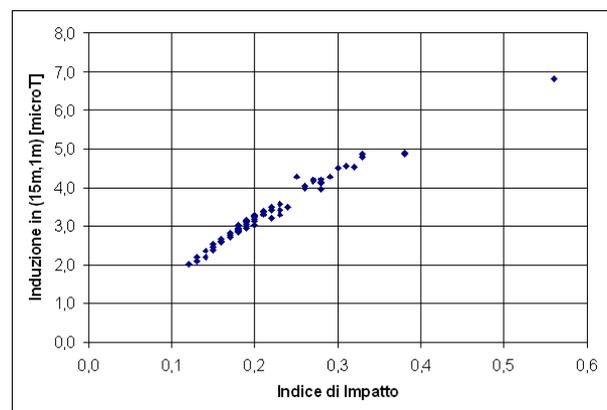
Come secondo approccio, si è tentato di utilizzare come indice di impatto un parametro basato sulla dimensione della fascia di rispetto (intesa come luogo dei punti nello spazio dove il valore del campo è maggiore o uguale a 3 µT): per esempio, il diametro medio dell'intersezione della fascia con un piano verticale ortogonale alla direzione della linea. Neppure in questo caso, però, si sono ottenuti risultati completamente soddisfacenti, anche a causa dell'impossibilità di svincolarsi dal valore della corrente di linea e, per contro, della difficoltà ad individuare un unico valore di corrente che sia compatibile con le diverse tipologie di elettrodotto.

**ESEMPIO DI INDICE DI IMPATTO PER I SOSTEGNI A SEMPLICE TERNA**

Allo stato attuale, la scelta più promettente sembra essere quella di ancorare la definizione dell'indice di impatto alla media dell'ampiezza dell'induzione magnetica *B* calcolata nei punti di una circonferenza di raggio *R* opportuno, giacente su un piano verticale ortogonale all'asse della linea e centrata nel baricentro della testa. È possibile svincolarsi dal valore della corrente di linea *I* (e questo è uno dei vantaggi dell'approccio) normalizzando il valore calcolato a quello che sarebbe generato da un conduttore rettilineo indefinito posto nel baricentro e percorso dalla stessa corrente. Inoltre, si può pensare di applicare al processo di media una opportuna funzione angolare di peso *w(θ)* che, per esempio, permetta di privilegiare la direzione orizzontale rispetto a quella verticale. In questo modo l'indice di impatto, indicato con *II*, verrebbe ad essere determinato dall'espressione seguente:

$$II = \frac{R}{\mu_0 I} \int_0^{2\pi} |B(R, \theta)| w(\theta) d\theta \quad \text{Eq. 2}$$

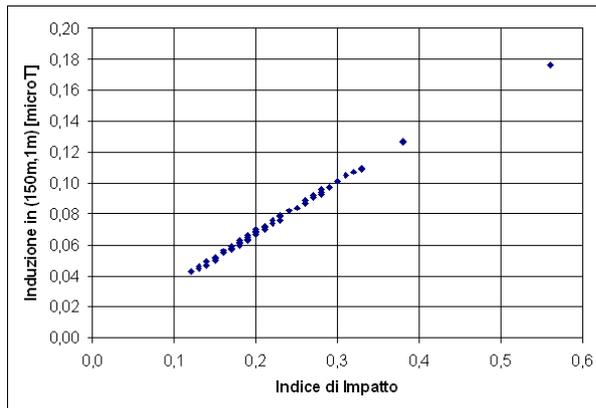
Figura 2



Indice di impatto vs. induzione in prossimità della linea (caso a)

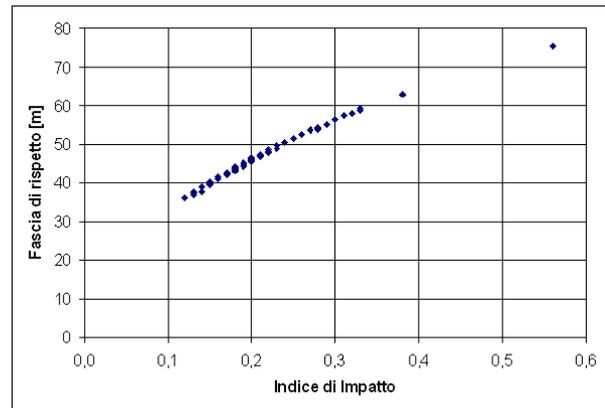
I grafici delle fig. 2, 3 e 4 si riferiscono all'indice di impatto calcolato con l'eq. 2 ponendo  $R = 20 \text{ m}$  e scegliendo come peso la funzione  $w(\theta) = |\cos \theta|$ , con l'angolo  $\theta$  misurato in senso antiorario a partire dalla direzione orizzontale. Nei tre grafici l'indice, riportato in ascissa, viene confrontato rispettivamente con (a) il valore dell'induzione in un punto relativamente vicino all'asse della linea (15 metri in pianta, 1 metro di altezza da terra); (b) il valore dell'induzione in un punto relativamente lontano dall'asse della linea (150 metri in pianta, 1 metro di altezza da terra); (c) la larghezza del corridoio a  $3 \mu\text{T}$ , calcolata con una corrente di 1000 A. Nei casi (a) e (b) la linea è posizionata con il conduttore più basso ad una altezza di 15 metri da terra. Come si vede, l'indice (specie nei casi (b) e (c)) è ragionevolmente rappresentativo del parametro ambientale.

Figura 3



Indice di impatto vs. induzione a distanza dalla linea (caso b)

Figura 4



Indice di impatto vs. larghezza corridoio a  $3 \mu\text{T}$  con corrente di 1000 A (caso c)

## IL PROBLEMA DEI SOSTEGNI A DOPPIA TERNA

La stragrande maggioranza dei sostegni a doppia terna presenti in Toscana (per la precisione, 1372 sostegni su 1436, afferenti a 57 tipologie su 68) sono di tipo "simmetrico", in cui le due terne sono disposte su due file verticali contrapposte ai due lati del sostegno. Non sarebbe difficile applicare l'approccio sopra descritto per disporre di un indice in grado di mettere in ordine almeno questo gruppo preponderante. Tuttavia, a differenza di quanto avviene con i sostegni a semplice terna, non ha molto senso basare l'indicazione del livello di impatto di un tipo di sostegno a doppia terna sulla sola conformazione geometrica. In questo caso, infatti, la corrente non contribuisce al campo solo come costante moltiplicativa, ma bensì in modo più complesso, che coinvolge la direzione dei flussi di potenza, il bilanciamento tra le due linee e lo schema di cablaggio adottato. La ricerca di un indice di impatto che tenga in qualche modo conto anche di questi aspetti è tuttora in corso.

## CONCLUSIONI

Nel corso dello sviluppo e dell'utilizzo del Catasto Regionale degli Elettrodotti della Toscana, ci si è trovati ad affrontare il problema di come poter popolare il catasto, per poi utilizzarne i contenuti per eseguire valutazioni di induzione magnetica o calcoli di fasce di rispetto, nel caso di linee documentate in modo incompleto. La modalità di popolamento scalata e la definizione di un indice di impatto per i tipi di sostegni costituiscono, pur con delle oggettive limitazioni, una possibile soluzione.

## BIBLIOGRAFIA

- Andreuccetti D., Colonna N., Fossi R. e Zoppetti N. (2006). *Campo magnetico disperso da elettrodotti ad alta tensione: validazione di una metodologia avanzata di valutazione basata su modelli 3D di linee elettriche e territorio*. Atti del terzo convegno nazionale "Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica", Biella, 7-9 giugno 2006, vol.2, pp.704-709.
- CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) (1996). *Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche*. CEI 211-4, Milano.
- CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) (2006). *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*. CEI 106-11, Milano.
- Kaune W.T. and Zaffanella L.E. (1993). *Analysis of Magnetic Fields Produced Far from Electric Power Lines*. IEEE Trans. On Power Delivery. Vol. 7, N°4, Oct. 1993, pp. 2082-2091.
- Zoppetti N. e Andreuccetti D. (2006). *Influenza del modello della linea nella determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti*. Atti del terzo convegno nazionale "Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica", Biella, 7-9 giugno 2006, vol.2, pp.574-579.