

Il controllo ambientale nei pressi di un elettrodotto ad Altissima Tensione: dal monitoraggio alla pubblicazione dei risultati

Comelli M.⁽¹⁾, Colonna N.⁽²⁾, Licitra G.⁽²⁾

(1) IFAC-CNR, Via Madonna del Piano, 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI), m.comelli@ifac.cnr.it

(2) ARPA Toscana, Via Porpora, 22 - 50144 Firenze

La Provincia di Lucca ha finanziato un progetto regionale, realizzato dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT), per il monitoraggio in continua dell'elettrodotto n. 314 "La Spezia - Acciaiole".

La misura dell'induzione magnetica in una postazione fissa consente, mediante l'utilizzo di un modello fisico, di ricavare la corrente circolante sulla linea in un certo istante (senza doverla richiedere di volta in volta al Gestore), e di calcolare quindi i livelli di esposizione all'induzione magnetica a 50 Hz presso i recettori posti lungo l'intero tracciato dell'elettrodotto nel corso del tempo.

A tale scopo ARPAT ha messo a punto e testato una centralina per il monitoraggio in continua dell'induzione magnetica a 50 Hz, in modo da ricavare una descrizione dettagliata dei livelli di campo generati dalla linea (attingendo i dati dal Catasto degli elettrodotti della Regione Toscana - CeRT). I valori registrati dalla centralina vengono memorizzati in un database, confrontati con i risultati di una simulazione effettuata in corrispondenza dei siti più impattati utilizzando una corrente di riferimento, ed utilizzati per ricavare i valori mediano (da confrontare con il limite di legge) e medio (per valutare l'esposizione a lungo termine della popolazione) di induzione magnetica in corrispondenza agli edifici esposti. L'integrazione dell'output dello strumento con il database, il software di calcolo PLEIA-EMF (realizzato per ARPAT dall'IFAC-CNR di Firenze) ed il motore di rendering Mapserver, consente di generare dinamicamente mappe con i livelli di campo nel periodo di riferimento.

Le informazioni sui valori di esposizione generati dall'elettrodotto sono messe a disposizione dei cittadini e degli Enti Locali mediante un bollettino a cadenza mensile (inviato a tutte le Amministrazioni coinvolte e pubblicato sul sito di ARPAT), dopo che i dati sono stati validati dai tecnici dell'Agenzia. In particolare, vengono riportati in dettaglio i dati ottenuti presso il recettore più esposto in ciascuno dei 5 siti maggiormente impattati dalla linea.

PREMESSA

La Provincia di Lucca ha finanziato un progetto regionale, realizzato da ARPAT, per il monitoraggio in continua della linea a 380 kV n. 314 "La Spezia – Acciaiole". Tale elettrodotto (Comelli, 2009) ha un tracciato lungo 89 km che interessa le province di Massa-Carrara, Lucca e Pisa, attraversando il territorio di 15 Comuni: 4 in provincia di Massa-Carrara, 5 in provincia di Lucca e 6 provincia di Pisa. Dall'analisi della Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000, sono stati individuati 235 edifici presenti entro un corridoio di 60 m dall'asse della linea. I risultati delle indagini condotte da ARPAT negli anni precedenti con i monitoraggi in continua, hanno evidenziato in particolare che vi sono almeno 24 abitazioni in cui sia stato superato il valore di 3 μT (inteso come massima mediana dei valori di induzione magnetica nell'arco delle 24 ore); in 2 di tali abitazioni è stato superato anche il valore di 7 μT , sempre come massima mediana giornaliera, a fronte del valore di attenzione di 10 μT . Inoltre, prendendo a riferimento le correnti medie registrate sulla linea n. 314 negli anni dal 2005 al 2011, si evidenzia come in 14 delle abitazioni monitorate da ARPAT sia stato superato il livello medio di esposizione di 1 μT .

La misura dell'induzione magnetica in una postazione fissa consente, mediante l'utilizzo di un modello fisico, di ricavare la corrente circolante sulla linea in un certo istante (senza doverla richiedere al Gestore), e di usarla quindi per calcolare l'esposizione presso i recettori posti lungo l'intero tracciato dell'elettrodotto nel corso del tempo.

A tale scopo ARPAT ha messo a punto e testato una centralina per il monitoraggio in continua dell'induzione magnetica a 50 Hz, in modo da ricavare una descrizione dettagliata dei livelli di campo generati dalla linea.

La centralina è stata inizialmente posizionata in Via del Palazzo a Maggiano (nel Comune di Lucca), in prossimità di un punto particolarmente esposto.

Le informazioni sui valori di esposizione generati dall'elettrodotto sono messe a disposizione dei cittadini e degli Enti Locali mediante un bollettino a cadenza mensile, dopo che i dati sono stati validati dai tecnici ARPAT. Vengono inoltre riportati in dettaglio i dati ottenuti presso il recettore più esposto in ciascuno dei 5 siti maggiormente impattati dalla linea:

- San Carlo Terme (Comune di Massa, MS);
- Marzocchino (Comune di Seravezza, LU);

- Maggiano e San Pietro (Comune di Lucca; LU);
- La Gabella (Comune di Calci, PI).

In corrispondenza a tali recettori e relativamente al periodo di riferimento, sono forniti i livelli di induzione magnetica:

- massima delle mediane giornaliere (per la verifica del rispetto del limite di legge di $10 \mu\text{T}$, secondo il DPCM 8 luglio 2003);
- media (ai fini della stima dell'esposizione a lungo termine);
- minima, 95° percentile e massima (a fini statistici).

In particolare, per i siti di Marzocchino e La Gabella (per i quali è disponibile la Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2000, che consente una fedele riproduzione dell'andamento del terreno) si forniscono le simulazioni dei livelli di induzione su una porzione di territorio intorno alla linea, mentre per San Carlo Terme, Maggiano e San Pietro, a causa dell'orografia complessa del territorio e per l'assenza della cartografia in scala 1:2000, vengono evidenziati solo i valori di campo calcolati in corrispondenza alle abitazioni più vicine al tracciato.

I calcoli previsionali sono ottenuti mediante il programma PLEIA-EMF ver. 1.6, realizzato per ARPAT dall'IFAC-CNR di Firenze.

Il bollettino viene inviato a tutte le Amministrazioni coinvolte e pubblicato sul sito di ARPAT.

Figura 1 - La centralina posizionata in prossimità della linea La Spezia - Acciaiole.



PROPORZIONALITÀ CAMPO-CORRENTE

Per la legge di Biot-Savart, il campo di induzione magnetica generato da una linea elettrica è proporzionale alla corrente circolante nella linea stessa (nelle ipotesi di carico simmetrico e bilanciato, per una linea trifase). È pertanto possibile ricavare l'induzione dispersa da una linea nei suoi dintorni (qualora non ci siano contributi dovuti ad altre linee) avendo a disposizione i valori di corrente e la configurazione geometrica dell'elettrodotto. Viceversa, si può risalire ai valori storici di corrente qualora sia noto l'andamento del campo in un punto, ad esempio attraverso l'utilizzo di una centralina per il monitoraggio in continua.

Ne consegue che, utilizzando i valori registrati dalla centralina, è possibile ricavare dapprima la corrente circolante nella linea, e quindi il campo presente nell'intorno della stessa. A tal fine si esegue una simulazione utilizzando una corrente di riferimento I_{rif} , e si calcolano, per tale intensità di corrente circolante:

- il valore di riferimento B_{rif} del campo nel punto in cui è posizionata la sonda della centralina (è un valore numerico);
- i livelli di campo simulati in una serie di siti rilevanti nei pressi della linea.

A causa della proporzionalità di entrambi questi fattori con la corrente circolante nella linea, i valori di campo nei punti in cui viene eseguita la simulazione sono proporzionali a B_{rif} , ed il fattore di proporzionalità è lo stesso: $B_{\text{calc}}/B_{\text{rif}}$, ove B_{calc} è il valore di campo calcolato nella simulazione.

In questo modo è possibile risalire ai valori effettivamente presenti in tutti i siti di interesse, a partire dai dati registrati dalla centralina, applicando tale proporzione ai valori simulati in precedenza.

A questo punto i tecnici di ARPAT, dislocati nelle sedi provinciali, devono solo inserire i dati relativi alla specifica postazione di monitoraggio ed ai siti ad essa associati, utilizzando l'apposita interfaccia web.

VERIFICA DELL’AFFIDABILITÀ DEI DATI

I dati acquisiti dalla centralina sono stati validati, utilizzando sia il modello di calcolo previsionale, sia la correlazione corrente-campo. Per le postazioni di misura sono state, infatti, confrontate le correnti circolanti ricavate indirettamente dal monitoraggio con i dati ufficiali sulle correnti, misurate dal Gestore all'estremo di Acciaiuolo. Tali verifiche, effettuate in vari periodi dell'anno, hanno dato esito positivo e nello specifico hanno evidenziato che la differenza tra le correnti ricavate da ARPAT e quelle fornite dal Gestore differiscono tipicamente di ± 10 A per correnti fino a 600 A e di ± 30 A per correnti fino a 1200 A. Tali incertezze, dell'ordine di qualche punto percentuale, sono di fatto trascurabili e non vanno ad inficiare la stima dei livelli di esposizione presso i recettori.

LA CREAZIONE DI UN DATABASE NORMALIZZATO

Per consentire una gestione il più possibile automatizzata del lavoro, ottimale dal punto di vista dei tempi impiegati dagli operatori sia per eseguire le operazioni di scarico dei dati, sia per la produzione della reportistica, è stata innanzitutto implementata un'estensione del database CeRT (Catasto degli elettrodotti della Regione Toscana) presente in ARPA Toscana.

Sono state previste tabelle che tengano conto sia dei punti in cui vengono posizionate le centraline, sia dei siti in cui vengono effettuate le simulazioni. A tal proposito si è reso necessario integrare il formato del data base con l'output di PLEIA, lo strumento informatico utilizzato dagli operatori ARPAT per l'esecuzione delle simulazioni di campi ELF. Inoltre, poiché lo strumento utilizzato per eseguire le misure è stato sempre un sensore Enertech mod. Emdex Lite, è risultato semplice e conveniente implementare un'interfaccia web in cui i tecnici devono semplicemente ricopiare l'output strumentale (dopo un'opportuna analisi preliminare per la verifica della consistenza dei dati)

In questo modo è possibile utilizzare lo stesso lavoro implementato per la linea 314 per il monitoraggio di una qualunque delle linee presenti in CeRT.

LA GESTIONE DELLE CENTRALINE: L’INTERFACCIA UTENTE

L'interfaccia di gestione di una centralina che consente la creazione di un nuovo elemento, e la modifica od eliminazione di uno esistente. In particolare, vanno inseriti i dati relativi alla simulazione di riferimento ed i valori registrati dalla centralina, nonché tutti i dati necessari alla sua completa caratterizzazione. Tra questi denominazione, coordinate e foto, ed in particolar modo il valore della corrente di riferimento ed il campo calcolato con tale valore di corrente nel punto in cui si trova la sonda.

Figura 2 - Interfaccia di inserimento e modifica centraline ELF.

Denominazione centralina	Note	Coordinate	Comune, indirizzo e foto	Valori di riferimento	Simulazione di riferimento	Azioni
Località La Gabbella, Calci (PI)		X : 11620838.99 Y : 4842209.53 Z : 14.65	CALCI Località La Gabbella, Via Calcesana Stoglia...	hsonda : 1.85 [m] Icalc : 1000 [A] Bcalc : 3.60 [μT]		Aggiorna Elimina Inserisci i dati
314 - La Spezia - Acciaiuolo			Selezione un comune... Stoglia...	hsonda : [] [m] Icalc : [] [A] Bcalc : [] [μT]	In seguito...	Inserisci centralina
Selezione una centralina...		X : [] Y : [] Z : []				
Selezione una linea...						

Una volta completata la procedura, alla centralina è associato l'operatore responsabile dell'inserimento, il solo a poterla eliminare o modificare.

La simulazione di riferimento, inoltre, deve essere fornita esattamente nel formato di output del software PLEIA-EMF, ricopiandoli in un apposito campo di testo.

Tabella 1 - Dati in output da PILEIA-EMF (file pl5).

09/06/2011 14:26:58

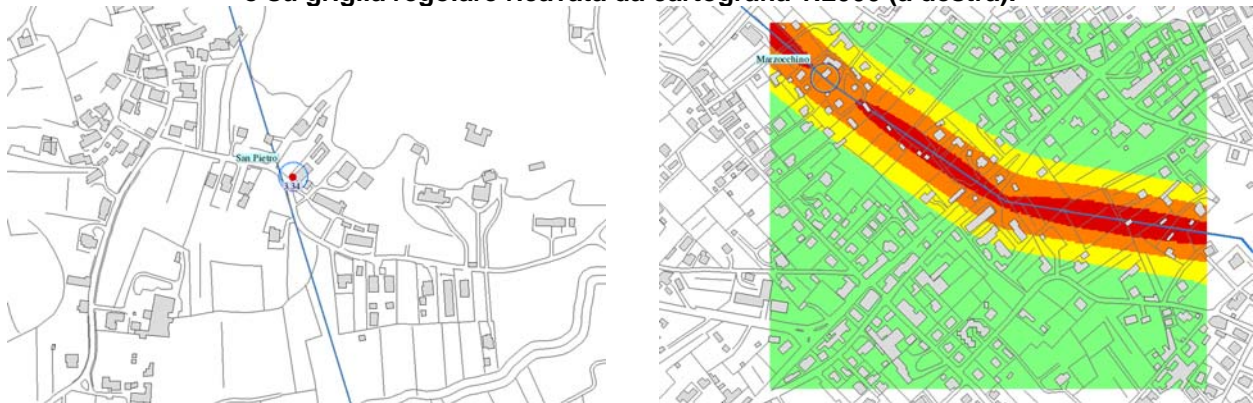
B

ID	X[m]	Y[m]	Z[m]	B[μ T]
0	1592445.00	4876686.00	284.50	2.53
1	1592430.00	4876820.00	268.00	5.90
2	1592368.00	4876858.00	246.00	2.60
3	1592325.00	4877022.00	247.40	8.62
4	1613428.00	4857196.00	71.50	2.93
5	1613474.00	4857150.00	65.50	6.20
6	1613433.00	4857166.00	66.00	2.82
7	1614133.00	4855485.00	19.50	5.40

...

A seconda che nel sito di interesse sia disponibile o meno la cartografia vettoriale in scala 1:2000 è preferibile definire la relativa porzione di grigliato (su cui eseguire la simulazione con PLEIA) su pochi punti in cui la quota sia ben conosciuta (ad es. da rilevamenti sul posto), o su grigliato regolare ottenuto dal DEM ricavato dalla carta tecnica 1:2000 (v. Figura 3).

Figura 3 - Grigliato su singolo punto in assenza di cartografia 1:2000 (a sinistra) o su griglia regolare ricavata da cartografia 1:2000 (a destra).



Un ulteriore campo, accetta i dati forniti in output dallo strumento di tipo Emdex Lite, nel formato in tabella:

Tabella 2 - Dati in output dall'Emdex Lite.

0.78	May/01/2011 12:13:27 AM
0.85	May/01/2011 12:14:27 AM
0.93	May/01/2011 12:15:27 AM
1.01	May/01/2011 12:16:27 AM
1.04	May/01/2011 12:17:27 AM
1.02	May/01/2011 12:18:27 AM
1.02	May/01/2011 12:19:27 AM
1.05	May/01/2011 12:20:27 AM
1.08	May/01/2011 12:21:27 AM
1.1	May/01/2011 12:22:27 AM

e possono venire copiati e incollati direttamente dal foglio di Excel usato per visualizzare il file. Questi dati vengono accodati ogni volta, in modo da aggiungerli ad ogni lettura della centralina.

Infine, ad ogni centralina l'utente può associare uno o più siti in cui valutare il campo presso le abitazioni particolarmente esposte. Per ognuno di essi vanno inseriti, sempre attraverso un'interfaccia web, i dati necessari alla loro completa caratterizzazione (in particolare a quale centralina sono associati, le coordinate, il valore di induzione calcolata con la corrente di riferimento, il limite di legge applicato)

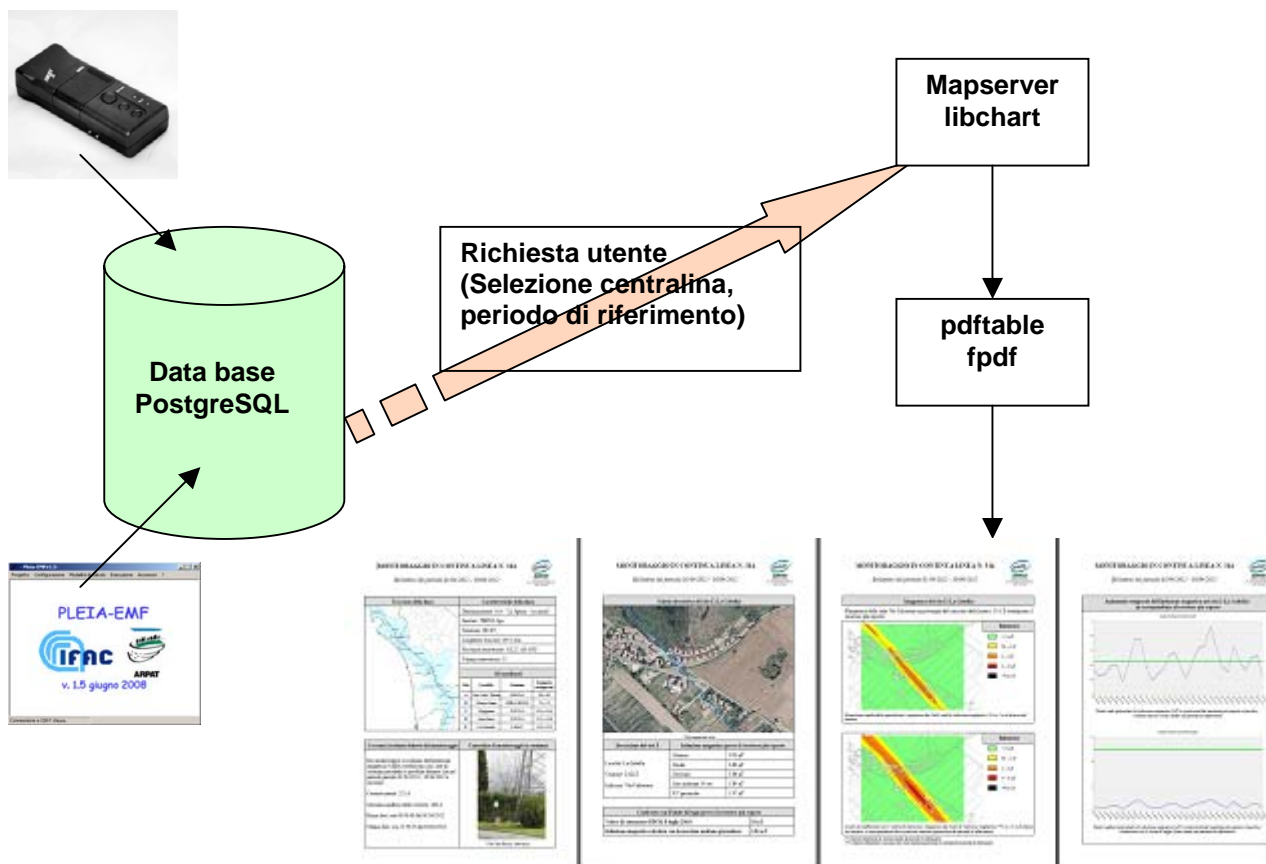
CREAZIONE DELLA REPORTISTICA: I BOLLETTINI MENSILI

Un'apposita interfaccia permette l'esportazione dei dati riferiti ad una centralina nel periodo selezionato dall'utente, che deve quindi specificare il nome della centralina, le date di inizio e di fine monitoraggio (ossia il periodo di riferimento) e se abilitare il programma alla creazione di grafici riepilogativi i valori medi e mediani di campo in ciascuno dei siti, rapportati al limite di legge.

La procedura legge i dati relativi alla centralina nel periodo prescelto, calcola i valori minimo, medio, massimo e il 95° percentile dei valori di campo, e la massima delle mediane sulle 24 ore ottenute avendo come riferimento l'intervallo orario 00:00-23:59. Viene generata una pagina iniziale in cui sono presentati i dati generali della centralina e dei siti indagati, e per ognuno di questi vengono fornite due pagine di dettaglio con le mappe ricavate dall'ortofoto e dalla cartografia numerica, cui sono sovrapposti i valori di campo ottenuti considerando l'esposizione media e la massima mediana sulle 24 ore.

La generazione delle mappe avviene dinamicamente, sulla base dei dati inseriti in archivio, rapportati a quelli della simulazione di riferimento. L'interfacciamento con il Mapserver consente di generare le immagini delle mappe (ortofoto con il tracciato della linea e carta vettoriale sovrapposta alle simulazioni), mentre il software libchart è stato utilizzato per la generazione dei grafici che illustrano l'andamento temporale dei valori medi e mediani di campo.

Figura 4 – Schema di funzionamento: dall'inserimento dati alla generazione del bollettino.



La generazione dei pdf viene infine affidata a pdftable, un software open source basato sulle librerie fpdf.

CONCLUSIONI

Le potenzialità dello strumento implementato per la creazione dei bollettini periodici consente, utilizzando solo i risultati del monitoraggio in un'unica postazione, di calcolare i livelli di induzione magnetica presso i recettori lungo l'intero tracciato di una linea elettrica. Noti tali livelli è possibile sia verificare il rispetto dei limiti di legge, sia stimare l'esposizione a lungo termine della popolazione residente nei pressi dell'elettrodotto.

In particolare i risultati del monitoraggio in continua (da marzo 2011 a maggio 2012) dei livelli di induzione magnetica, generata dalla linea a 380 kV n. 314 "La Spezia - Acciaiole", hanno mostrato come l'andamento del carico di corrente è stato, in tale periodo, simile a quello riscontrato negli anni precedenti e che il limite di legge (valore di attenzione di 10 μ T) è stato rispettato presso tutti i recettori esaminati, con la conferma che i livelli più elevati sono stati riscontrati nel sito di San Carlo a Massa e nel sito di Maggiano a Lucca.

L'analisi statistica dell'andamento temporale dei livelli di induzione magnetica ha evidenziato, inoltre, come caratteristica dell'andamento del carico di corrente sulla linea n. 314 (rilevante ai fini dell'esposizione della popolazione) che, presso i recettori, durante il periodo notturno vi sono livelli di induzione magnetica inferiori del 30% rispetto a quelli presenti durante il giorno.

Il lavoro svolto ha fornito costantemente alle amministrazioni locali e alla cittadinanza i livelli di induzione riscontrati lungo l'intero tracciato dell'elettrodotto attraverso i bollettini mensili pubblicati sul sito di ARPAT, mettendo così in atto il progetto condiviso tra tutte le amministrazioni coinvolte.

Bibliografia

1. Comelli M., Colonna N., Martini L. Licitra G., *A state indicator on regional scale for high voltage power lines: defining a priority for in situ inspections*, 2009, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 137, No. 3-4, pp. 223-226
2. <http://www.arpat.toscana.it/datiemappe/bollettino-elettrodotto-la-spezia-acciaiole/T>
3. Sito internet di Mapserver: <http://mapserver.org/>
4. Sito internet di libchart: <http://naku.dohcrew.com/libchart/pages/introduction/>
5. Sito internet di pdftable: <http://www.vanxuan.net/tool/pdftable/>
6. Sito internet di fpdf: <http://www.fpdf.org/>