

# Schermatura dell'induzione magnetica a 50 Hz in un'aula scolastica: monitoraggi prima e dopo l'intervento.

Colonna N.<sup>(1)</sup>, Licitra G.<sup>(2)</sup>

(1) Dipartimento Provinciale ARPAT di Pisa, Via Vittorio Veneto 27, 56127 Pisa (PI),  
n.colonna@arpat.toscana.it

(2) Dipartimento Provinciale ARPAT di Lucca, Via Vallisneri 6, 55100 Lucca (LU),  
g.licitra@arpat.toscana.it

## PREMESSA

Nel quartiere di Barbaricina nel Comune di Pisa, attraversato da una linea a 132 kV, vi sono numerosi edifici in prossimità del tracciato dell'elettrodotto, alcuni dei quali alla distanza minima dai conduttori della linea, prevista dal D.P.C.M. 23/04/1992, poi abrogato nel 2003. In prossimità della linea elettrica vi sono, inoltre, due edifici scolastici: uno più vetusto (ad est) che dista, sul piano orizzontale, 7 m dall'asse della linea e uno più recente (ad ovest) che dista, sul piano orizzontale, 23 m (fig. 1). A causa del significativo carico di corrente della linea e della ridotta distanza dalla sorgente, all'interno di tali edifici del quartiere vi sono livelli di induzione magnetica non trascurabili, che ARPAT, nella sua attività istituzionale, ha misurato e calcolato, a partire dal 1997, nell'ambito di numerose campagne di studio e monitoraggio. Nel 2000, considerati i livelli di induzione magnetica non trascurabili misurati dall'ARPAT, il Comune, sulla base del parere della ASL, decise di chiudere la scuola più vicina all'elettrodotto, spostando gli alunni nell'altro edificio, più moderno e capiente, e più distante dalla linea elettrica. Inoltre nel 2003, come ulteriore precauzione, sempre su parere della ASL, anche in tale secondo edificio le aule più vicine all'elettrodotto furono destinate ad altri usi, senza farvi permanere gli alunni (magazzino, aula insegnanti, ecc.).

Figura 1 – foto aerea della zona in esame



A sinistra del tracciato dell'elettrodotto (tratteggiato in nero) l'edificio scolastico più recente, oggetto della schermatura (evidenziato in rosso); a destra quello più vetusto (evidenziato in blu).

A partire dal 2003, le dodici campate in ambito urbano dell'elettrodotto di Barbaricina sono state modellizzate in 3D, utilizzando il codice di calcolo previsionale PLEIA-EMF ver. 1.6, realizzato per ARPAT dall'IFAC-CNR di Firenze. Per ottenere una buona accuratezza dei risultati del calcolo ed

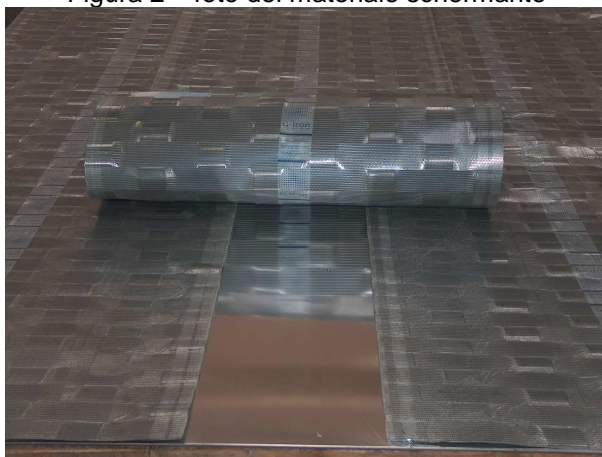
un ottimo accordo con i valori di induzione magnetica misurati, sono stati effettuati numerosi sopralluoghi, in cui sono state misurate tutte le distanze e le altezze utili ai fini della modellizzazione.

## **OBIETTIVI**

Nel 2009, sia per l'aumento del numero di alunni nel quartiere, che per la riorganizzazione degli istituti comprensivi, è nata l'esigenza nel secondo edificio scolastico di riutilizzare come aule gli ambienti dismessi nel 2003. Il Comune di Pisa, poiché tutti i precedenti tentativi di intervenire sulla sorgente non erano andati a buon fine, ha scelto di intervenire direttamente sul recettore mediante l'utilizzo di una schermatura. Per tale scopo nel 2011 ha affidato ad una ditta l'incarico di schermare dall'induzione magnetica a 50 Hz le due aule caratterizzate dai livelli più elevati. L'Amministrazione Comunale ha deciso di intervenire sulle due aule dell'edificio più recente con un progetto pilota, dalle dimensioni ridotte, su cui poter sperimentare l'installazione del materiale schermante: lega di ferro-silicio magnetizzabile tramato e, quindi, flessibile (fig. 2). Tale schermatura, come concordato con la ASL e come previsto dal bando di gara, doveva garantire all'interno di tali aule un livello medio di induzione magnetica inferiore a  $0.30 \mu\text{T}$ : media calcolata sui 210 giorni di lezione dell'anno scolastico, nella fascia oraria 8:00 ÷ 13:00, cioè durante l'effettiva permanenza degli alunni negli ambienti in esame.

L'Amministrazione Comunale ha chiesto ad ARPAT di seguire la fase sperimentale della schermatura della prima aula e di verificare che dopo l'intervento i livelli di induzione magnetica in entrambe le aule fossero in accordo con l'obiettivo prefissato.

Figura 2 – foto del materiale schermante



Posa in opera della schermatura

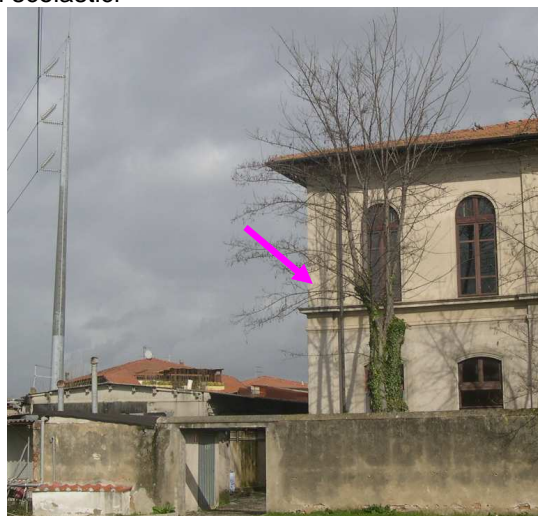
## **MATERIALI E METODI**

ARPAT, per fornire al Comune tale supporto tecnico, ha scelto di effettuare in contemporanea due monitoraggi in continua dell'induzione magnetica all'interno dei due edifici scolastici, posizionando i sensori Enertech mod. Emdex II e mod. Emdex Lite nei punti più vicini al tracciato dell'elettrodotto (fig. 3). Tali punti erano già stati caratterizzati in passato ricavando la correlazione corrente-campo per ciascuna postazione di misura. I monitoraggi dell'induzione magnetica, della durata di numerosi giorni, sono stati effettuati acquisendo un dato ogni minuto. In particolare il monitoraggio in continua presso l'edificio scolastico non soggetto a schermatura, di seguito denominato "punto di riferimento", caratterizzato dai livelli più elevati (a destra in fig. 3) è servito in pratica come stima, quasi in tempo reale, della corrente circolante nella linea ed ha avuto una durata sufficiente per descrivere l'escursione adeguata dell'intensità di corrente.

Il metodo usato da ARPAT per accertare che la riduzione dei livelli di induzione magnetica fosse da attribuire all'efficacia dello schermo e non alla diminuzione della corrente in transito sulla linea, è stato quello di calcolare il rapporto tra i valori istantanei di campo misurati nelle due scuole prima e dopo l'intervento. Poiché il livello misurato in una postazione dipende dalla corrente circolante e da

un fattore di proporzionalità, legato alla distanza dalla sorgente ed alla geometria dei conduttori, il rapporto tra i livelli misurati è indipendente dalla corrente<sup>1</sup>.

Figura 3 – foto degli edifici scolastici



Punti di monitoraggio all'interno degli edifici scolastici: a sinistra l'edificio da schermare.

In tale rapporto il livello più contenuto, misurato nell'aula da schermare, rappresenta il valore al denominatore, mentre il livello più elevato, misurato nell'altro edificio più vicino alla linea, rappresenta il valore al numeratore.

Inoltre, come ulteriore approfondimento, in concomitanza con il carico di corrente della linea prossimo al 95° percentile, sono state effettuate all'interno dell'aula schermata, una serie di misure puntuali su una griglia di punti con passo 1.5 m, per verificare l'andamento dei livelli di induzione magnetica in tutta l'aula e non solo nel punto di monitoraggio in continua, più vicino all'elettrodotto.

Dopo la campagna di monitoraggio sono state richieste al gestore, e successivamente acquisite, le correnti circolanti sull'elettrodotto per l'intero periodo di misura.

## RISULTATI

I due monitoraggi in continua, della durata di 5 giorni, effettuati prima dell'intervento di schermatura hanno confermato i coefficienti di correlazione ricavati in precedenza per ciascuna postazione di misura ed hanno evidenziato che, in media, il rapporto tra i livelli misurati ogni minuto nel punto di riferimento e quelli misurati ogni minuto nell'aula da schermare era pari a 3.0, con una deviazione standard pari a 0.1. Tali variazioni intorno al livello medio sono dovute sia alla non esatta contemporaneità delle due misure (differenza temporale di 20 ÷ 40 s), che all'incertezza strumentale dei due sensori (fig. 4).

Una volta realizzata la schermatura nella prima aula, è stato ripetuto al suo interno il monitoraggio in continua, durato 22 giorni, utilizzando lo stesso sensore nella stessa postazione di misura. I risultati di tali monitoraggi dopo l'intervento di schermatura hanno evidenziato che il rapporto tra i livelli misurati nel punto di riferimento e quelli misurati nell'aula schermata è risultato in media, su 32200 valori, pari a 4.4, con una deviazione standard pari a 0.2.

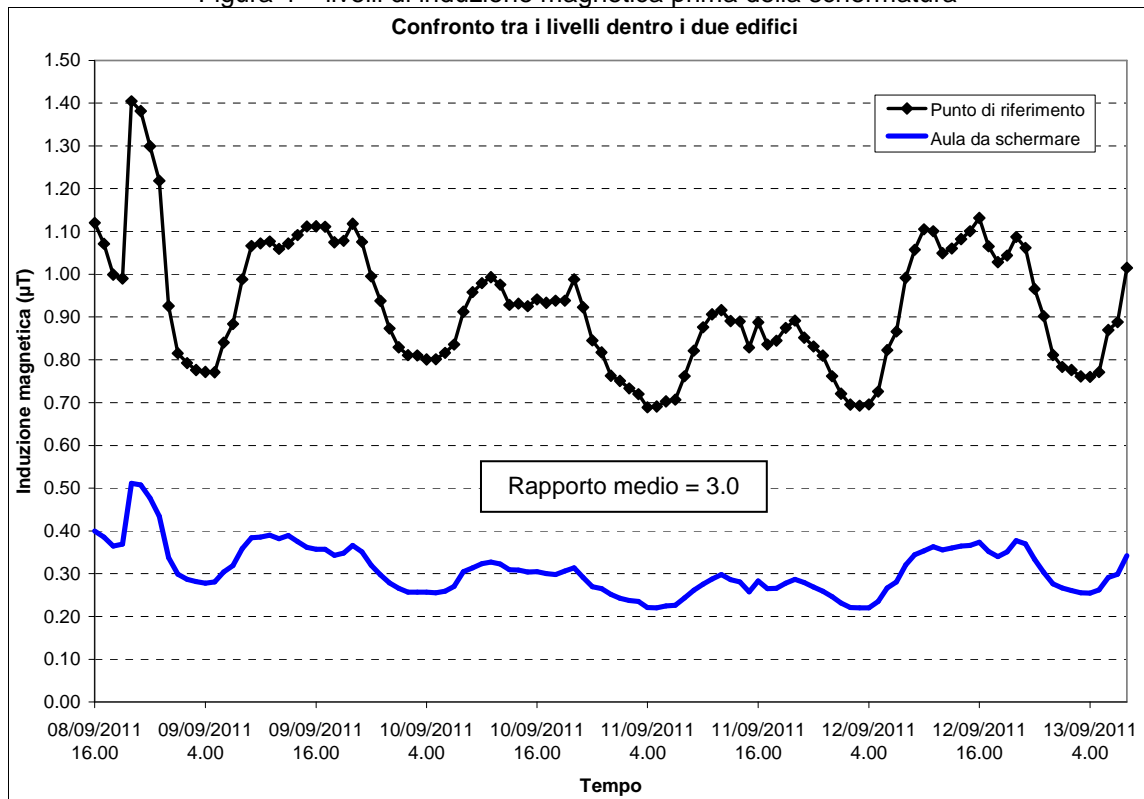
Il rapporto tra i livelli misurati nelle due postazioni, dopo l'intervento di schermatura, è passato da 3.0 a 4.4, da cui si ricava una riduzione dei livelli di induzione magnetica, per effetto dello schermo, pari al 32% (fig. 5).

Con i valori misurati di induzione magnetica sono state ricavate le rette di correlazione corrente-campo, sia prima che dopo la schermatura: la diminuzione della pendenza della retta rende evidente l'effetto della schermatura (fig. 6).

Inoltre i valori misurati puntualmente all'interno dell'aula schermata, in corrispondenza di una corrente circolante pari al 95° percentile, sono risultati essere compresi tra 0.27  $\mu\text{T}$  e 0.35  $\mu\text{T}$ , garantendo di fatto che il livello medio si attesti al di sotto di 0.30  $\mu\text{T}$ .

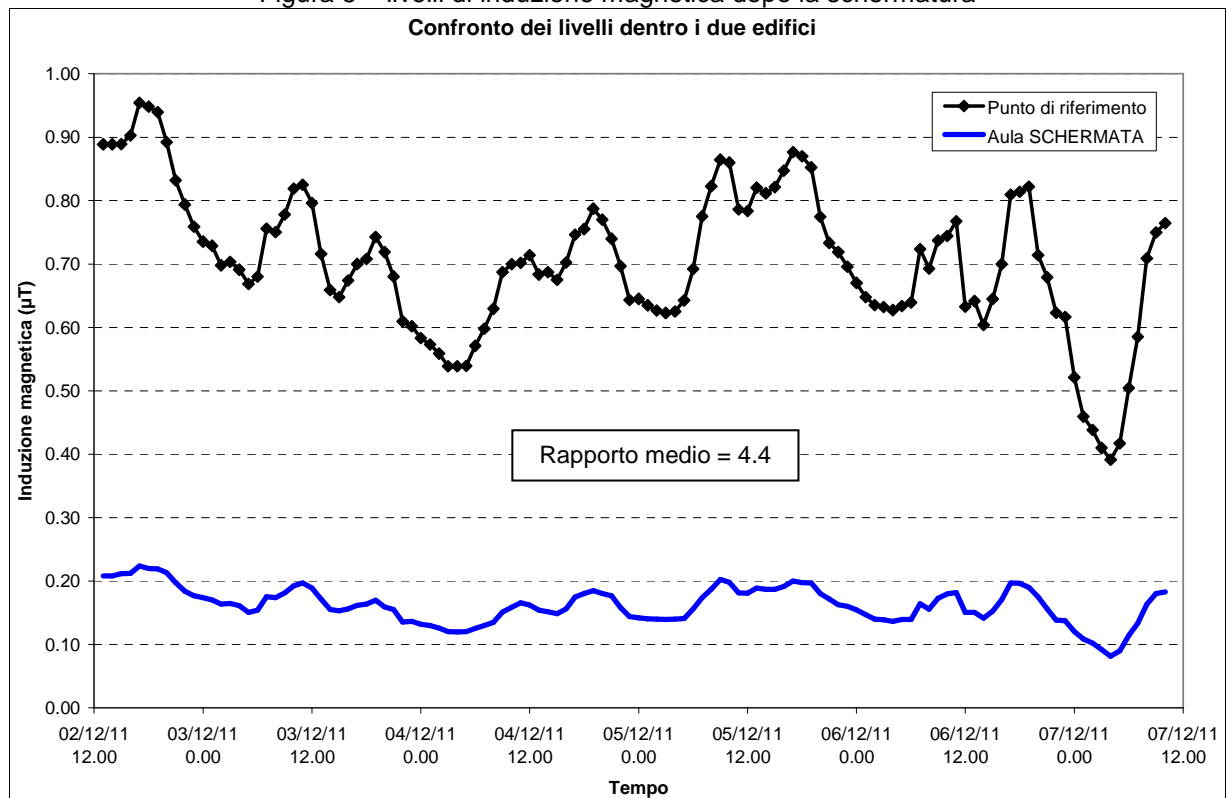
<sup>1</sup>  $B_1 = k_1 \cdot I$  e  $B_2 = k_2 \cdot I$  quindi  $B_1 / B_2 = k_1 / k_2$

Figura 4 – livelli di induzione magnetica prima della schermatura



Andamento nel tempo dei livelli medi orari di induzione magnetica misurati sia dentro l'edificio non schermato – punto di riferimento – (valori più elevati), che dentro l'aula da schermare (valori più contenuti).

Figura 5 – livelli di induzione magnetica dopo la schermatura



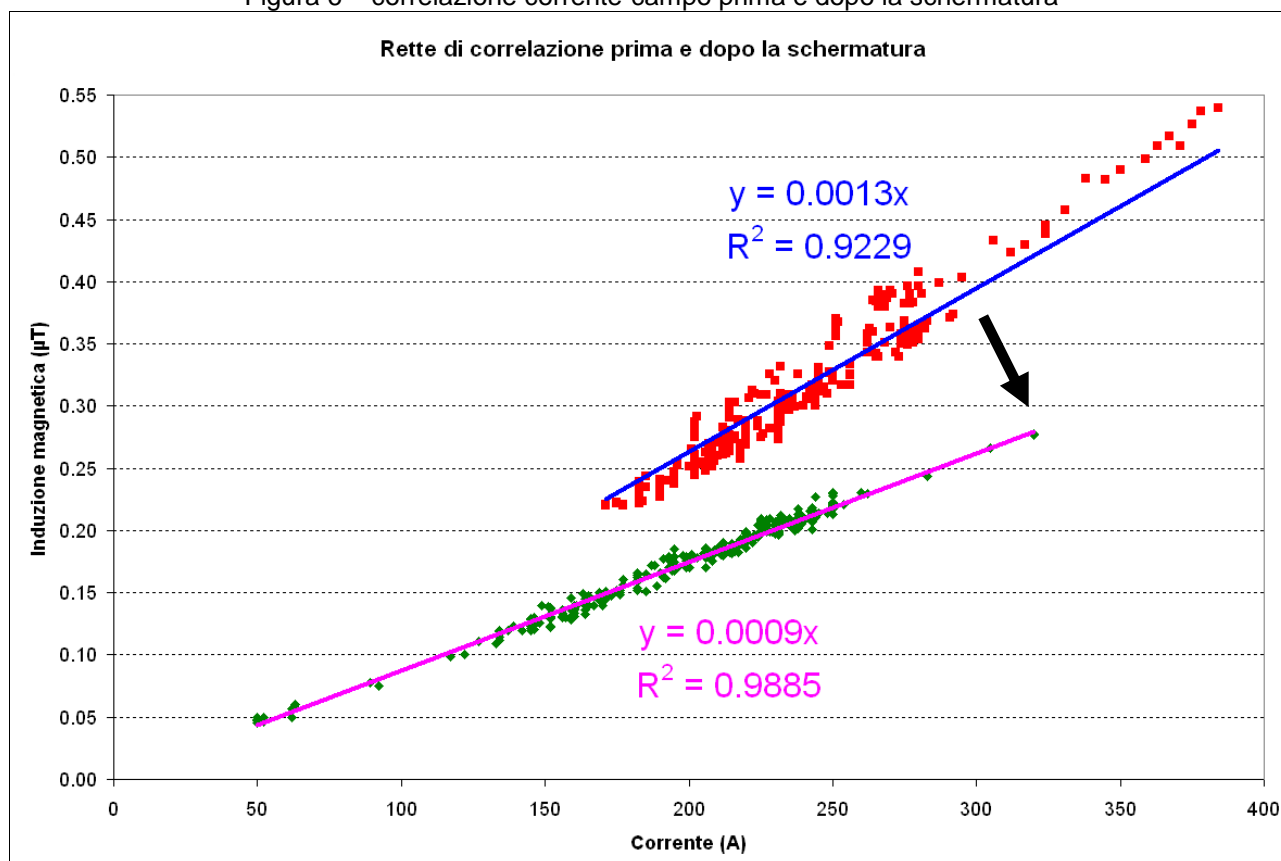
Andamento nel tempo dei livelli medi orari di induzione magnetica misurati sia dentro l'edificio non schermato – punto di riferimento – (valori più elevati), che dentro l'aula schermata (valori più contenuti).



Le stesse procedure di misura e di analisi sono state ripetute anche per la schermatura della seconda aula, più distante dall'elettrodotto rispetto alla prima. In tale caso il rapporto tra i livelli misurati nelle due postazioni è passato dopo l'intervento da 3.2 a 4.1, con una riduzione per effetto della schermatura pari al 22%.

Confrontando i valori di corrente forniti dal gestore con quelli calcolati mediante la correlazione corrente-campo si è verificato che sono sovrapponibili e che le differenze minime (di alcuni ampère) sono trascurabili.

Figura 6 – correlazione corrente-campo prima e dopo la schermatura



Confronto tra le rette di correlazione tra corrente e campo: la pendenza diminuisce dopo la schermatura dell'aula. Il valore minore di  $R^2$  nella retta in alto (in blu) è dovuto all'effetto della elevata temperatura esterna, che influisce sull'accuratezza della misura di corrente.

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I monitoraggi in continua effettuati nei due edifici scolastici ed in particolare nell'aula scolastica da schermare sono risultati significativi e tali da consentire una corretta descrizione dell'esposizione a lungo termine all'induzione magnetica all'interno dell'ambiente schermato. Ciò a causa del fatto che durante il periodo prolungato di misura il range di variazione delle correnti in transito è stato sufficientemente esteso ed ha compreso in particolare i carichi più elevati, ben descritti dal 95° percentile della corrente. È importante, infatti, non trascurare nelle verifiche i periodi temporali in cui il carico di un elettrodotto è più elevato (condizione non facile da individuare a priori), ricorrendo eventualmente a più sessioni di misura durante l'anno.

Nelle verifiche *post operam*, quindi, rimane di fondamentale importanza l'acquisizione delle informazioni sulla corrente circolante nella linea elettrica. Ciò può essere ottenuto in due modi: o a posteriori, acquisendo i dati dal gestore, o, in tempi più brevi, tramite la correlazione-corrente campo già nota, che permette di ricavare indirettamente la corrente circolante dai livelli di induzione magnetica registrati. Tale metodo è del tutto simile alla valutazione indiretta dell'induzione magnetica, prevista dall'Allegato al DM 29/05/08 al paragrafo 5.2.1, utilizzata al rovescio: dal campo misurato alla corrente.

Ai fini della caratterizzazione dell'efficacia dei materiali schermanti, il metodo di eseguire i monitoraggi in due punti accoppiati, in cui quello imperturbato fa da riferimento, caratterizzando il rapporto tra i valori misurati nelle due postazioni, prima e dopo l'intervento, fornisce un'utile indicazione.

Ai fini della stima dell'esposizione della popolazione, tuttavia, oltre all'applicazione di tale metodo, è comunque necessario accertarsi che non sono stati trascurati i periodi in cui circolano sulla linea elettrica le correnti più elevate.

Al di là delle scelte operate dal Comune, su indicazione della ASL, nel caso specifico, la possibilità di schermare efficacemente gli ambienti di vita dall'induzione magnetica a 50 Hz, con materiali innovativi facilmente installabili, rappresenta una novità importante nell'ambito della tutela della popolazione dall'esposizione ai campi elettromagnetici, in perfetto accordo con quanto enunciato dall'Art. 1 punto c della L.36/01: *"promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili"*.