

# Intervento di mitigazione su una linea a 132 kV nella città di Pisa

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

Il quartiere di Barbaricina nel Comune di Pisa è attraversato dalle prime 12 campate di una linea a 132 kV (vedi Figura 1); numerose abitazioni e due scuole si trovano molto vicino all'elettrodotto, alla distanza dai conduttori allora consentita dal D.P.C.M. 23/04/1992, ora abrogato.

Figura 1 – foto aerea della zona in esame



In rosso il tracciato della linea a 132 kV che attraversa il quartiere di Barbaricina a Pisa.

Tale linea ha inoltre la particolarità di avere un significativo carico di corrente. L'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) fin dal 1997 esegue misure e monitoraggi dell'induzione magnetica a 50 Hz presso tali recettori. Nel 2003, su specifica richiesta del Comune di Pisa, ARPAT ha inoltre modellizzato in 3D l'impatto elettromagnetico della linea sul quartiere, evidenziando che, pur essendo rispettati i limiti di legge, tuttavia, i livelli presenti sia all'interno delle abitazioni, che delle due scuole non sono trascurabili. Nella situazione di maggiore esposizione con la massima mediana giornaliera della corrente si è raggiunto il valore di 3  $\mu$ T.

A seguito dello studio prodotto da ARPAT l'Amministrazione comunale ha promosso nel tempo varie iniziative volte a risolvere tale problema, non incontrando però la disponibilità del precedente gestore della linea ad avviare un confronto ed a cercare delle soluzioni.

Dopo questa fase di stallo, nel 2009 la linea è diventata di proprietà di Terna S.p.A. e a fine 2010 sono iniziati i contatti del Comune di Pisa col nuovo gestore per trovare una soluzione al problema, sempre col supporto tecnico di ARPAT. Intanto sull'edificio scolastico il Comune ha deciso di intervenire sul recettore progettando la schermatura; per attenuare anche l'esposizione dei residenti del quartiere si è iniziato un percorso per intervenire sulla linea.

## OBIETTIVI

Nel luglio 2011, su richiesta del Comune, ARPAT ha formulato una proposta tecnica di intervento di mitigazione da effettuarsi sulla linea elettrica, che riducesse significativamente i livelli di esposizione dei recettori presenti lungo il tracciato. Tale proposta consiste nell'ottimizzazione delle fasi per le tre campate in doppia terna (di lunghezza complessiva pari a 540 m) e sulla compattazione dei conduttori per le nove campate in terna singola (di lunghezza

complessiva pari a 1600 m); non intervenendo, quindi, sulla modifica del tracciato, per contenere i costi di realizzazione. La proposta tecnica di ARPAT è stata ritenuta valida dal gestore ed è stata presa in esame dallo stesso, in primo luogo per valutarne la specifica fattibilità tecnica sulle campate in esame e, successivamente, per redigere un progetto esecutivo. Il gestore della linea elettrica ed il Comune di Pisa si sono accordati sul fatto che l'intervento di mitigazione dovesse essere a carico dell'Amministrazione.

## MATERIALI E METODI

### STIMA DELL'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE

Al fine di stimare il livello medio di esposizione a lungo termine all'induzione magnetica a 50 Hz della popolazione residente in prossimità dell'elettrodotto di Barbaricina, ARPAT ha acquisito negli anni, a partire dal 1999, i dati sulle correnti circolanti, misurate (ogni quarto d'ora) dal gestore all'estremo della linea. La corrente media nel periodo 1999 ÷ 2011 è stata utilizzata come dato di input per la modellizzazione tridimensionale dell'impatto delle dodici campate che interessano il quartiere. Per tali calcoli è stato utilizzato il software previsionale PLEIA-EMF ver. 1.6, realizzato per ARPAT dall'IFAC-CNR di Firenze [1]. 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. In un corridoio largo 70 m con al centro il tracciato della linea ARPAT ha individuato 104 abitazioni (numeri civici), disposte su varie altezze (in gran parte composte da piano terra e primo piano, ma anche con qualche secondo piano), per le quali è stato calcolato il livello medio dell'induzione magnetica al centro dell'abitazione ed agli estremi (punto più vicino alla linea e punto più lontano). Tali livelli sono stati poi confrontati con quelli attesi dopo la mitigazione della linea per stimarne la riduzione.

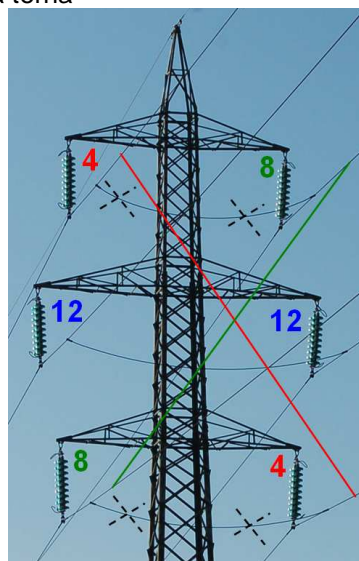
### TRATTO IN DOPPIA TERNA

Per ottimizzare le fasi delle prime tre campate in doppia terna (ammazzettata sia all'estremo della linea che sul quarto sostegno, vedi Figura 2 a sinistra) occorre realizzare la disposizione antisimmetrica, con le fasi identiche disposte sulle mensole centrali dei sostegni. Tale disposizione, in questo caso specifico, si ottiene spostando sul quarto sostegno la fase "4" in basso e la fase "8" in alto e, sugli altri 3 sostegni, rimuovendo i raccordi orizzontali che collegano i conduttori con la stessa fase (sulle mensole alte e su quelle basse), lasciando inalterati i conduttori centrali (fase "12") e collegando tra loro le altre fasi con nuovi raccordi in diagonale (vedi Figura 2 a destra).

Figura 2 – sostegni in doppia terna



Sostegno in doppia terna sul quale avviene l'ammazzettamento, ovvero il passaggio da 2 conduttori per fase ad 1 conduttore per fase.



Schema di realizzazione della disposizione antisimmetrica delle fasi.

### TRATTO IN TERNA SINGOLA

Per il tratto in terna singola la compattazione dei conduttori si ottiene inserendo, in uno o due punti lungo la campata, tre compattatori in materiale composito, disposti a triangolo, che riducono la distanza reciproca dei conduttori da circa 6 m a soli 2 m (vedi Figura 3). Per le due campate con i conduttori disposti “a bandiera” tali compattatori possono essere inseriti verticalmente. Per agevolare l’installazione dei compattatori, su alcuni sostegni, si passerà dall’armamento dei conduttori in sospensione a quello in amarro, agganciando il conduttore più basso al fusto del sostegno. L’inserimento dei compattatori, inoltre, comporta di fatto anche un innalzamento da terra del baricentro dei conduttori.

Figura 3 – Linea a 132 kV in terna singola con i conduttori compattati



Elettrodotto di recente costruzione su cui, in una campata, sono stati inseriti i compattatori a triangolo.

ARPAT, sempre mediante il codice di calcolo PLEIA-EMF ver 1.6, ha modellizzato preventivamente tali modifiche da apportare alla linea, stimando la riduzione attesa dei livelli presso i recettori più vicini al tracciato e fornendo, quindi, al Comune di Pisa tutte le informazioni necessarie per una corretta valutazione costi – benefici, per poi poter decidere sull’impegno di spesa da affrontare.

ARPAT ha inoltre programmato una serie di monitoraggi per quantificare in maniera concreta la riduzione dei livelli ottenuta presso le abitazioni e le scuole.

### RISULTATI

I valori di induzione magnetica di seguito riportati corrispondono, in ogni punto, al livello medio di esposizione a lungo termine, calcolato con la corrente media nel periodo 1999 ÷ 2011.

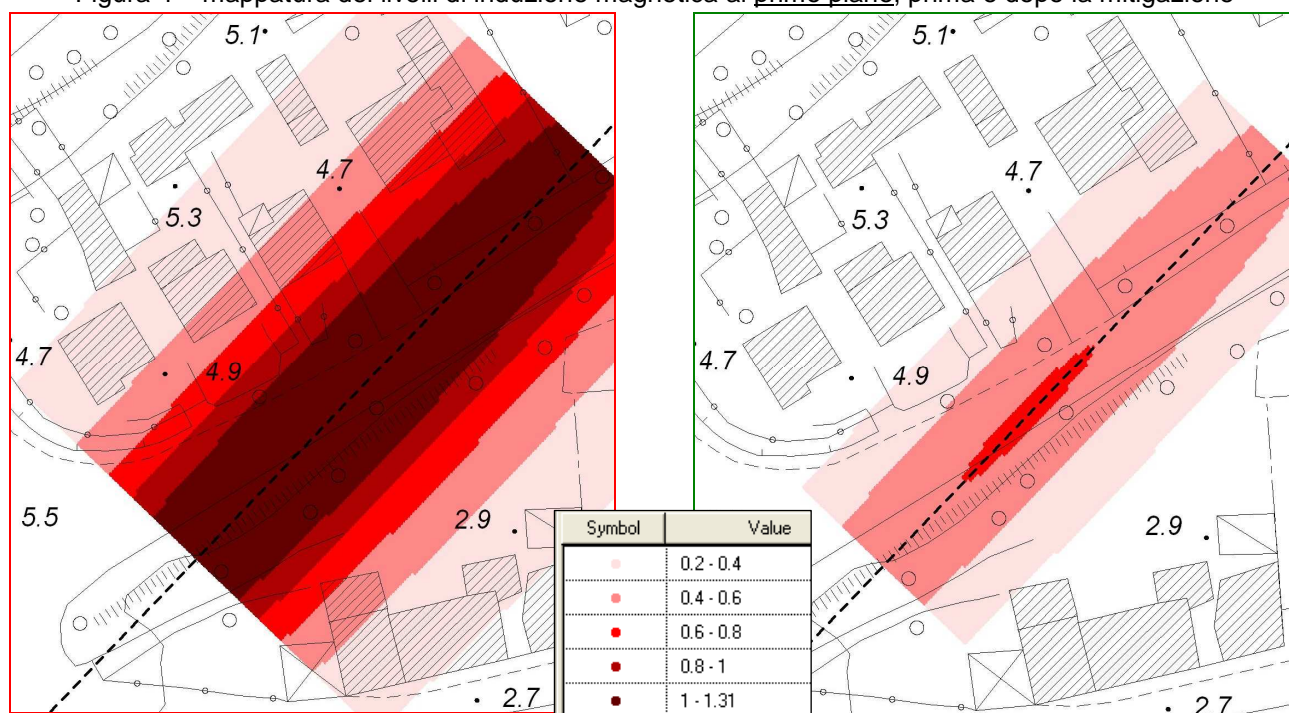
#### TRATTO IN DOPPIA TERNA

Le simulazioni, effettuate a varie altezze su una griglia di punti con passo di 0.5 m e sovrapposte alla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2000, indicano che presso i recettori più vicini al tracciato nel tratto in doppia terna si ottiene, a parità di corrente circolante, una riduzione del 66% dei livelli di induzione magnetica.

In tale tratto al piano terra dell’abitazione più vicina al tracciato si passa da un livello di induzione magnetica di 0.69  $\mu\text{T}$  ad un livello di 0.22  $\mu\text{T}$ ; nell’abitazione al primo piano più vicina al tracciato si passa da un livello di induzione magnetica di 0.66  $\mu\text{T}$  ad un livello di 0.20  $\mu\text{T}$  (vedi Figura 4).



Figura 4 – mappatura dei livelli di induzione magnetica al primo piano, prima e dopo la mitigazione



Livelli di induzione magnetica nelle abitazioni vicine al tratto in doppia terna: a sinistra i livelli attuali e a destra i livelli attesi dopo l'ottimizzazione delle fasi.

#### TRATTO IN TERNA SINGOLA

Nel tratto in terna singola, a parità di corrente circolante, si ottiene una riduzione dei livelli che varia da un minimo del 25% ad un massimo del 55%, a seconda della posizione del recettore e della sua distanza dalla sorgente. I recettori più vicini ai compattatori installati risentono di una maggiore riduzione dei livelli, mentre quelli che si trovano in prossimità dei sostegni della linea risentono, a parità di distanza dalla sorgente, di una riduzione minore.

Nel tratto in terna singola, infatti, l'inserimento dei compattatori disposti a triangolo comporta una deformazione delle curve isolivello dell'induzione magnetica che, invece, non avviene per l'ottimizzazione delle fasi per il tratto in doppia terna. In conduttori che, in presenza dei compattatori, in un punto si avvicinano significativamente tra loro, modificano l'andamento dei livelli di induzione magnetica all'interno della campata.

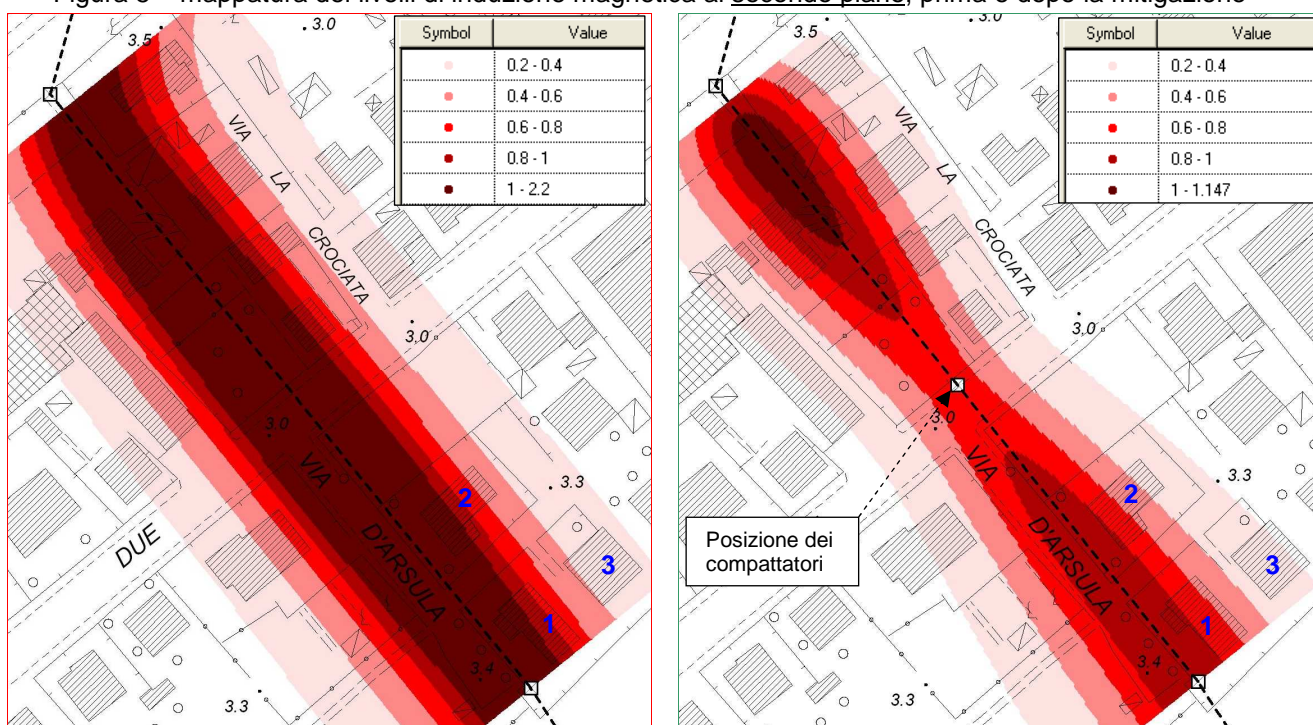
Ad esempio nella campata, descritta nelle Figure 5 e 6, in cui saranno inseriti i compattatori disposti a triangolo, allo stato attuale, ad un'altezza da terra di 7.5 m (corrispondente al secondo piano) i livelli di induzione magnetica raggiungono il valore massimo di 2.2  $\mu\text{T}$  e dentro le abitazioni il valore massimo di 1.5  $\mu\text{T}$ . Tali valori dopo la compattazione dei conduttori si riducono a 1.1  $\mu\text{T}$  all'esterno e a 0.9  $\mu\text{T}$  dentro le abitazioni (vedi Tabella 1).

Tabella 1 – riduzione dei livelli di induzione magnetica al secondo piano

Edificio n.	Livelli di induzione magnetica – B ( $\mu\text{T}$ )		Riduzione percentuale dei livelli massimi (%)
	<i>Prima della compattazione</i>	<i>Dopo la compattazione</i>	
1	$0.7 < B < 1.3$	$0.6 < B < 0.9$	31
2	$0.5 < B < 1.5$	$0.3 < B < 0.8$	47
3	$0.2 < B < 0.4$	$0.2 < B < 0.3$	25

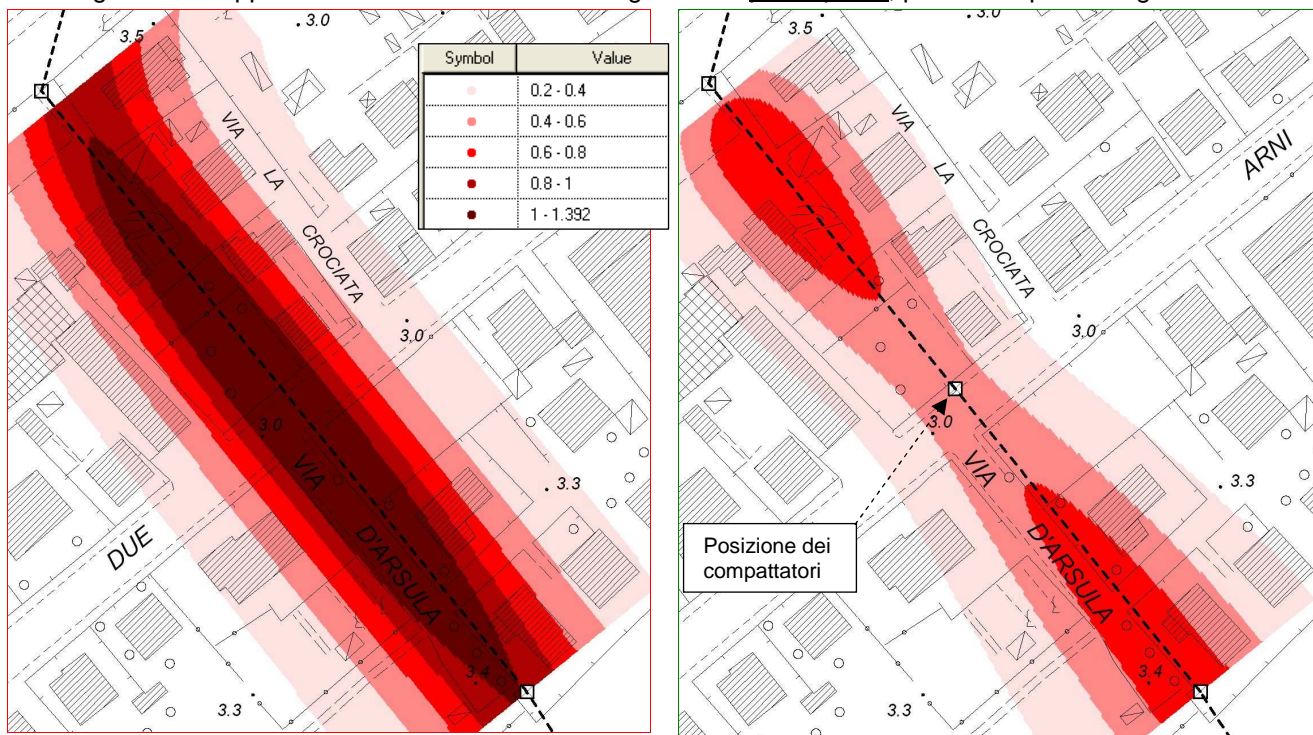
Intervalli di variazione (min e max) dei livelli di induzione magnetica all'interno degli edifici al secondo piano, allo stato attuale e dopo la compattazione dei conduttori.

Figura 5 – mappatura dei livelli di induzione magnetica al secondo piano, prima e dopo la mitigazione



Livelli di induzione magnetica nelle abitazioni vicine al tratto in terna singola: a sinistra i livelli attuali e a destra i livelli attesi dopo l'inserimento dei compattatori a centro campata. I numeri in blu indicano i 3 edifici con il secondo piano.

Figura 6 – mappatura dei livelli di induzione magnetica al primo piano, prima e dopo la mitigazione



Livelli di induzione magnetica nelle abitazioni vicine al tratto in terna singola: a sinistra i livelli attuali e a destra i livelli attesi dopo l'inserimento dei compattatori a centro campata.

Sempre per la campata, descritta nelle Figure 5 e 6, allo stato attuale, ad un'altezza da terra di 4.5 m (corrispondente al primo piano) i livelli di induzione magnetica raggiungono il valore massimo di 1.4  $\mu\text{T}$  all'esterno e il valore massimo di 1.1  $\mu\text{T}$  dentro le abitazioni. Tali valori dopo la compattazione dei conduttori si riducono a 0.8  $\mu\text{T}$  all'esterno e a 0.7  $\mu\text{T}$  dentro le abitazioni.

Nella campata, descritta nelle Figure 7 e 8 (alla pagina seguente), con conduttori disposti a "bandiera", in cui saranno inseriti i compattatori disposti verticalmente, allo stato attuale, ad un'altezza da terra di 7.5 m (corrispondente al secondo piano) i livelli di induzione magnetica raggiungono il valore massimo di 3.1  $\mu\text{T}$  e dentro le abitazioni il valore massimo di 1.9  $\mu\text{T}$ . Tali valori dopo la compattazione dei conduttori si riducono a 1.0  $\mu\text{T}$  all'esterno e a 0.8  $\mu\text{T}$  dentro le abitazioni (vedi Tabella 2).

Tabella 2 – riduzione dei livelli di induzione magnetica al secondo piano

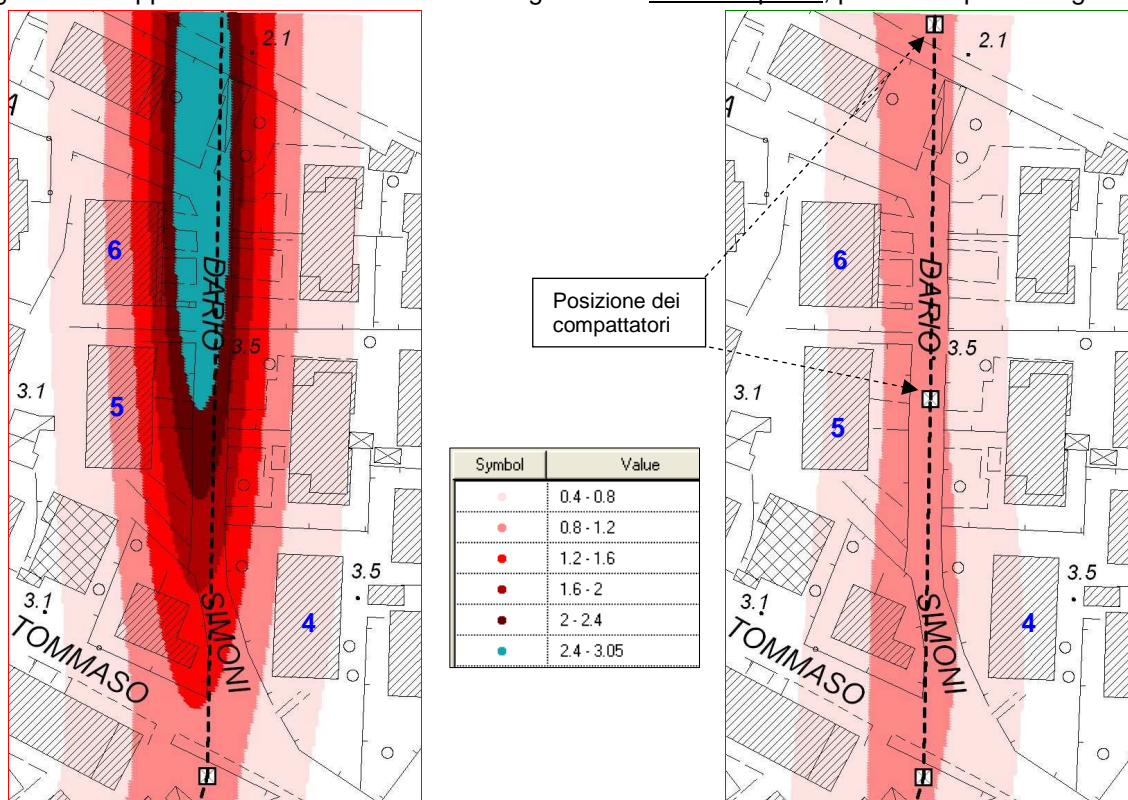
Edificio n.	Livelli di induzione magnetica – B ( $\mu\text{T}$ )		Riduzione percentuale dei livelli massimi (%)
	<i>Prima della compattazione</i>	<i>Dopo la compattazione</i>	
4	$0.3 < B < 0.9$	$0.2 < B < 0.6$	33
5	$0.5 < B < 1.6$	$0.3 < B < 0.7$	55
6	$0.5 < B < 1.9$	$0.3 < B < 0.8$	55

Intervalli di variazione (min e max) dei livelli di induzione magnetica all'interno degli edifici al secondo piano, allo stato attuale e dopo la compattazione dei conduttori.

Per la stessa campata, allo stato attuale, ad un'altezza da terra di 4.5 m (corrispondente al primo piano) i livelli di induzione magnetica raggiungono il valore massimo di 1.8  $\mu\text{T}$  e dentro le abitazioni il valore massimo di 1.3  $\mu\text{T}$ . Tali valori dopo l'inserimento dei compattatori si riducono a 0.7  $\mu\text{T}$  all'esterno e a 0.6  $\mu\text{T}$  dentro le abitazioni (vedi Figura 8 alla pagina seguente).

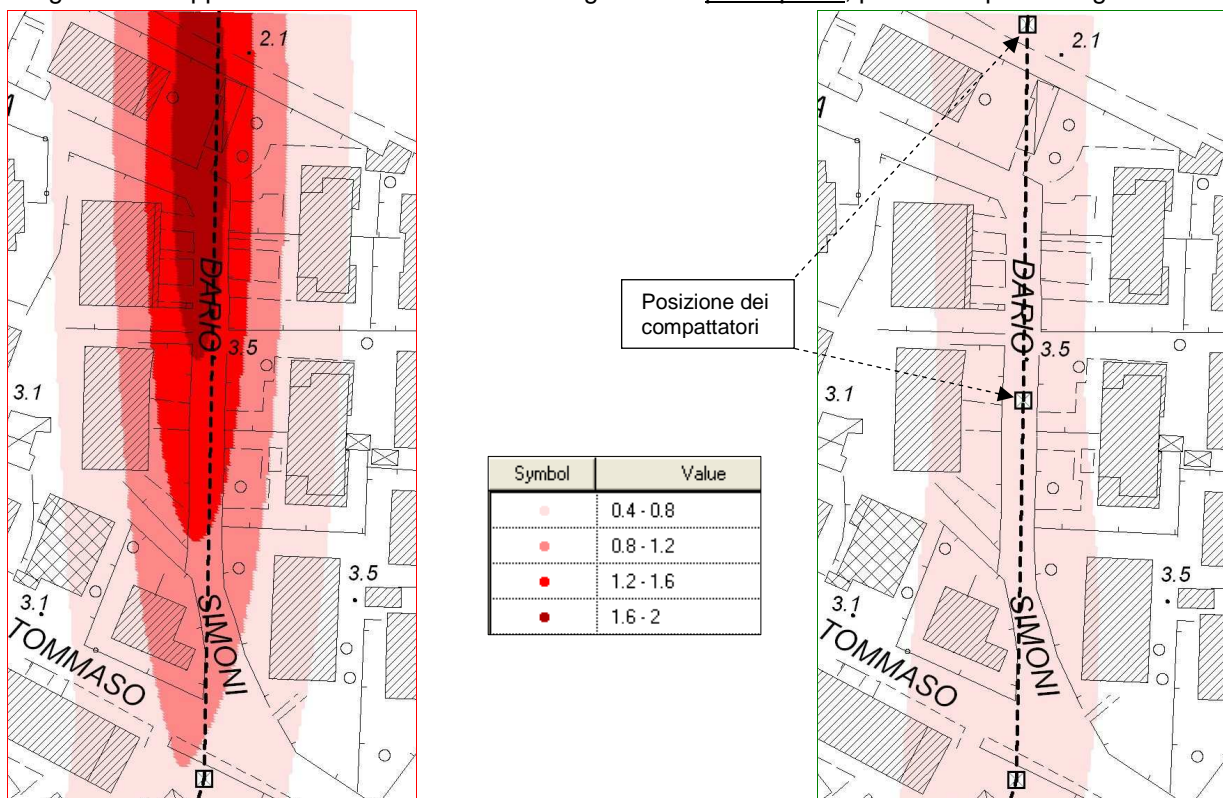


Figura 7 – mappatura dei livelli di induzione magnetica al secondo piano, prima e dopo la mitigazione



Livelli di induzione magnetica nelle abitazioni vicine al tratto in terna singola a bandiera: a sinistra i livelli attuali e a destra i livelli attesi dopo l'inserimento in due punti dei compattatori disposti verticalmente. I numeri in blu indicano i 3 edifici con il secondo piano.

Figura 8 – mappatura dei livelli di induzione magnetica al primo piano, prima e dopo la mitigazione



Livelli di induzione magnetica nelle abitazioni vicine al tratto in terna singola a bandiera: a sinistra i livelli attuali e a destra i livelli attesi dopo l'inserimento in due punti dei compattatori disposti verticalmente.

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'intervento di mitigazione, proposto da ARPAT, sulle 12 campate dell'elettrodotto che attraversano il quartiere di Barbaricina a Pisa, comporterà una significativa riduzione dei livelli di esposizione a lungo termine dei circa 350 residenti, presenti, lungo il tratto in esame di 2.1 km, in un corridoio di 70 m di larghezza con al centro il tracciato della linea. In particolare per le situazioni più critiche, al secondo piano e a 10 m dai conduttori, si stima un dimezzamento dei livelli di esposizione all'induzione magnetica.

L'intervento di mitigazione sarà realizzato da Terna Rete Italia S.p.A. nei prossimi mesi, nell'arco di due settimane, durante il periodo programmato di non disponibilità della linea stessa.

Tale intervento nella città di Pisa, dimostra che è possibile ridurre significativamente i livelli di esposizione della popolazione, qualora si ritenga di intervenire, anche laddove sono rispettati i limiti di legge, puntando su soluzioni tecniche relativamente semplici da realizzare e che abbiano soprattutto costi sostenibili per il bilancio di un Comune. Indispensabile inoltre per raggiungere l'obiettivo la concreta disponibilità dei vari soggetti interessati ad interagire in maniera sinergica.

Il caso studio illustrato mostra inoltre come sia fondamentale una corretta pianificazione urbanistica per la costruzione di nuovi edifici, per evitare che poi ci si trovi a dover cercare di intervenire, con vincoli tecnici ed economici, su una linea elettrica già esistente. Nei casi in cui comunque è necessario, o opportuno, intervenire è possibile evitare di ricondursi necessariamente all'interramento delle linee, essendo questo intervento tale da determinare difficoltà spesso insormontabili.

## Bibliografia

- [1] D. Andreuccetti, N. Zopetti, *Magnetic fields dispersed by high-voltage power lines: an advanced evaluation method based on 3d models of electrical lines and the territory*. Radiation Protection Dosimetry, volume 111 N.4 2004 pp.343-347.