




*Luca Barberini*

		<i>P. Barberini</i>	<i>B. Barberini</i>	<i>B. Barberini</i>	
A	8.4.2026	117	101	093	Emissione per autorizzazione
REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
CODICE PRATICA CAPOFILA <b>C.P. 202304178</b>					TIPOLOGIA IMPIANTO CAPOFILA / POTENZA IN IMMISSIONE <b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO POTENZA NOMINALE E IN IMMISSIONE 79,2 MW</b>
CAPOFILA <b>MENINAS Srl</b> Via Barberini, 95 00187 - Roma (RM)					IMPIANTO <b>LINEA 132 kV MIRANDOLA CP - CREVALCORE CP</b>
INGEGNERIA & COSTRUZIONI <b>BRULLI</b> <b>trasmissione</b>					TITOLO <b>RELAZIONE CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI</b>
SCALA  -	FORMATO  A4	FOGLIO / DI  1 / 90		N. DOCUMENTO  4 6 8 7 0 4 A	

 Reggio nell'Emilia - ITALIA	Progetto <b>LINEA 132 kV MIRANDOLA CP-CREVALCORE CP.</b> <b>Relazione campi elettrici e magnetici</b>	Documento e revisione <b>468704A</b> <b>2</b>
<p><b>SOMMARIO</b></p> <p>1   PREMESSA.....3</p> <p>2   QUADRO NORMATIVO .....9</p> <p>3   VALUTAZIONE DEI CAMPI ELETTRICO E MAGNETICO PER L'ELETTRODOTTO IN PROGETTO..... 10</p> <p>    3.1   Caratteristiche principali degli elettrodotti aerei a 132 kV ..... 10</p> <p>    3.2   Caratteristiche principali degli elettrodotti in cavo interrato a 132 kV ..... 11</p> <p>    3.3   Caratteristiche geometriche dei sostegni ..... 11</p> <p>    3.4   Disposizione delle fasi ..... 11</p> <p>4   VERIFICA DEL LIMITE DI ESPOSIZIONE ..... 11</p> <p>    4.1   Campo elettrico per gli elettrodotti aerei in progetto..... 12</p> <p>    4.2   Campo elettrico per gli elettrodotti in cavo interrato in progetto ..... 12</p> <p>    4.3   Campo di induzione magnetica per gli elettrodotti aerei in progetto ..... 13</p> <p>    4.4   Campo di induzione magnetica per gli elettrodotti in cavo in progetto ..... 13</p> <p>5   VALUTAZIONE FASCE DI RISPETTO E DPA..... 15</p> <p>    5.1   Metodologia di calcolo ..... 15</p> <p>    5.2   Valori di corrente caratteristici degli elettrodotti in progetto e/o interferenti ..... 15</p> <p>    5.3   Valutazione delle DPA..... 16</p> <p>    5.4   Rappresentazione dei risultati ..... 18</p> <p>    5.5   Analisi interferenze ..... 18</p> <p>6   ANALISI DEI RICETTORI ..... 32</p> <p>    6.1   Schede ricettori sensibili ..... 41</p> <p>    6.2   Verifica modifiche al tracciato dell'elettrodotto ..... 56</p> <p>        6.2.1   Analisi interferenze ..... 56</p> <p>        6.2.2   Analisi dei ricettori ..... 56</p> <p>        6.2.3   Schede ricettori sensibili ..... 70</p> <p>7   CONCLUSIONI..... 76</p>		

**1 PREMESSA**

L'oggetto della presente relazione è il calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dal potenziamento dell'elettrodotto 132 kV esistente che collega la cabina primaria 132 kV Crevalcore con la cabina primaria Mirandola. **Si sottolinea inoltre che lungo la tratta della linea 132 kV è previsto l'inserimento in entrase della futura stazione SE RTN 132 kV Regina del Bosco**, descritta nei documenti di cui alla presente progettazione. Per questo motivo la linea 132 kV oggetto di potenziamento sarà suddivisa nelle seguenti tratte: "Crevalcore CP – Regina del Bosco" e "Regina del Bosco – Mirandola CP".

Tali valutazioni sono state fatte nel pieno rispetto del **D.P.C.M. dell'8 luglio 2003**, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", nonché della "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti", approvata con DM 29 maggio 2008. (pubblicato in G.U. n. 156 del 05/07/2008 – Supplemento Ordinario n. 160).

I valori indicati sono i seguenti:

- **Limite di esposizione:** 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intensi come valori efficaci;
- **Valore di attenzione:** 10  $\mu$ T per l'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio, da osservare negli ambienti abitativi, nelle aree gioco per l'infanzia, nelle scuole ed in tutti quei luoghi dove si soggiorna per più di quattro ore al giorno;
- **Obiettivo di qualità:** 3  $\mu$ T per l'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio, che deve essere rispettato nella progettazione dei nuovi elettrodotti in corrispondenza degli ambienti e delle aree definiti al punto precedente e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazione elettriche esistenti.

Per "**fasce di rispetto**" si intendono quelle definite dalla Legge 22 febbraio 2001 n° 36, ovvero il volume racchiuso dalla curva isolivello a 3  $\mu$ T, all'interno delle quali non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore a 4 ore, da determinare in conformità alla metodologia di cui al D.P.C.M. 08/07/2003.

Tale DPCM prevede (art. 6 comma 2) che l'APAT, sentite le ARPA, definisca la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Con Decreto 29 maggio 2008 (pubblicato in G.U. n. 156 del 05/07/2008 – Supplemento Ordinario n. 160) il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha approvato la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti.

L'opera in oggetto verrà realizzata principalmente per consentire la connessione di impianti di produzione energia da fonte rinnovabile. I produttori hanno eletto come capofila la società Meninas Srl (CP202304178), quale capofila del tavolo tecnico per la progettazione delle opere richieste da Terna in sede di STMG, seguito voltura della pratica dalla società Greening Italy EWD Srl.

L'attuale elettrodotto, che collega la "CP Mirandola" con la "CP Crevalcore", è armato con conduttore ACSR  $\varnothing$ 22,8mm.

La derivazione in antenna della linea 23664F1 (D), localizzata in "T – rigido" sul sostegno P36, collega la cabina primaria 132 kV di San Prospero ed è armata con conduttore ACSR  $\varnothing$ 31,5 mm. **Questa derivazione non è oggetto della presente progettazione.**

Il gestore della rete ha evidenziato la necessità di potenziare tale linea, per garantire una portata continuativa non inferiore ad 650 A, anche nel periodo estivo. I parametri limite di progettazione, oltre alla portata di corrente, sono il rispetto del franco minimo di legge (come da DM LLPP 21 marzo 1988) e del valore di qualità per i campi magnetici di 3  $\mu$ T, così come previsto dal DM 8 luglio 2003. Al fine di soddisfare le prescrizioni sopra citate, la progettazione richiede la sostituzione del conduttore ACSR  $\varnothing$ 22,8 mm con altro conduttore adeguato al soddisfacimento della portata richiesta. Al fine di rispettare i parametri meccanici per i quali la linea risulta essere ad oggi verificata, si ritiene plausibile l'utilizzo di un conduttore alternativo ad alta temperatura come lo ZTACIR o ZTAL  $\varnothing$ 22,75 mm.

La presente progettazione prevede di mantenere gran parte delle palificazioni esistenti e semplicemente di ritisare le tratte di linea, fatta eccezione per quelle tratte che, anche per il rispetto della distanza dai ricettori

sensibili per i campi elettromagnetici, richiedono la modifica del tracciato. In questo caso, il potenziamento si effettuerà mediante la costruzione di nuovi sostegni e la demolizione degli esistenti.

Il tratto di elettrodotto tra il sostegno P75N (palo gatto di transizione aereo-cavo) e lo stallo linea all'interno della Cabina Primaria 132 kV di Crevalcore sarà realizzato mediante cavidotto interrato. Questa scelta è necessaria in quanto un eventuale linea aerea non sarebbe compatibile con la verifica dei campi elettromagnetici, visti i numerosi ricettori presenti tra il palo 75 esistente e il palo gatto in CP 132 kV Crevalcore.

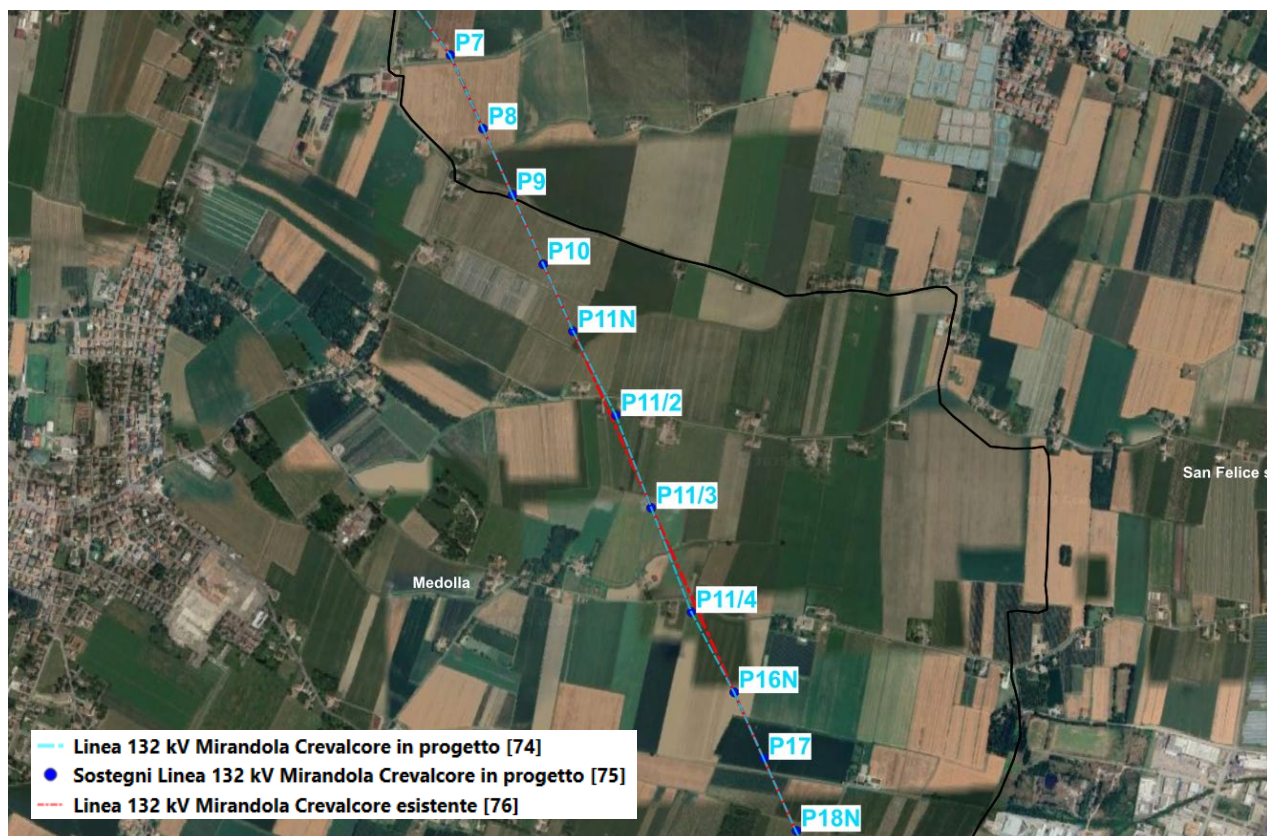
La scelta del cavo permette inoltre di sfruttare la fascia di servitù già presente per l'elettrodotto oggetto di potenziamento, ed evita di realizzare un nuovo tratto aereo che per forza di cose dovrebbe discostarsi dal tracciato esistente al fine di allontanarsi dalle abitazioni presenti. Il nuovo tratto in cavo avrà dunque una lunghezza di circa 150 m.

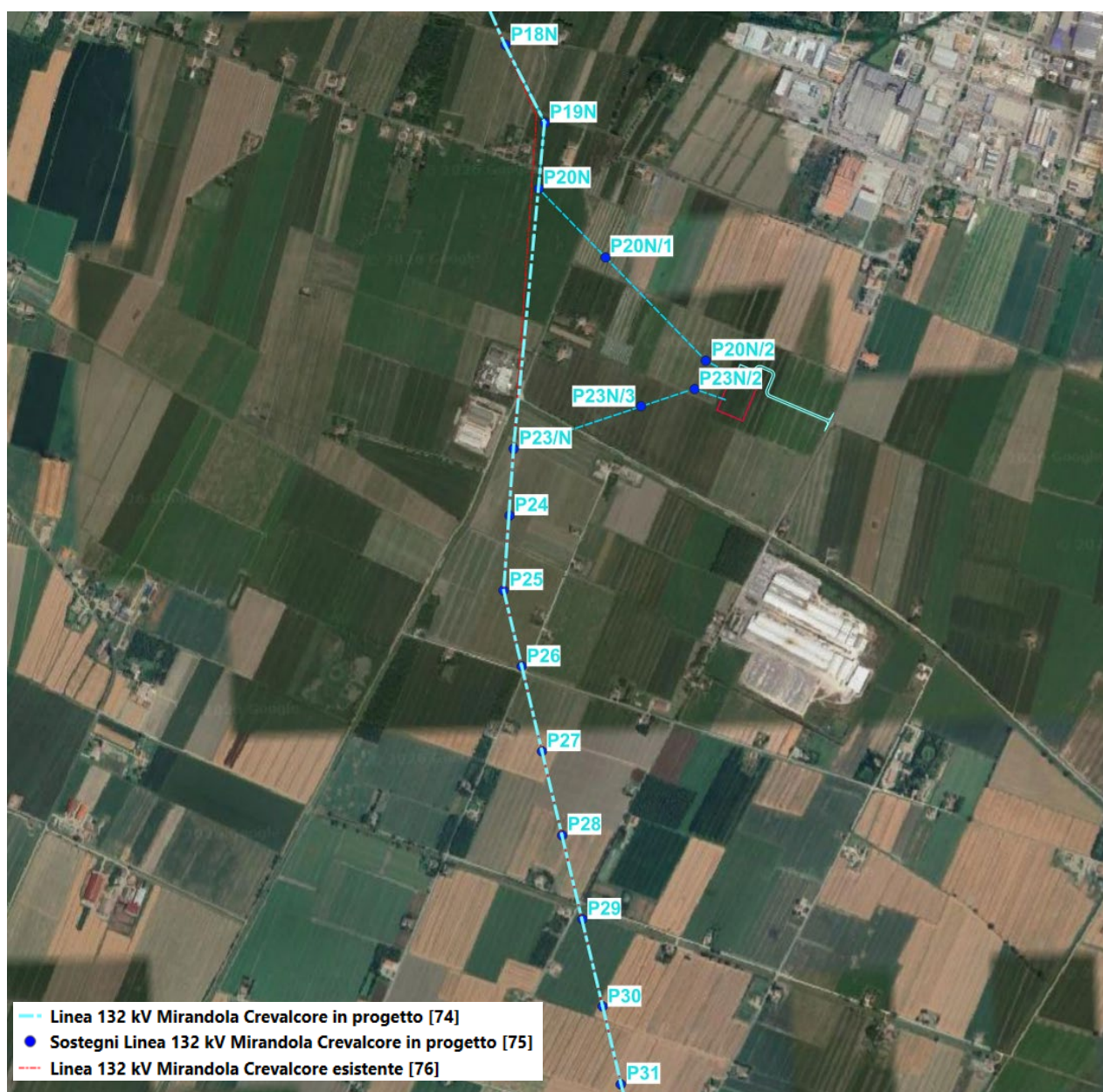
Come da unificazione Terna il franco minimo cautelativo di 10 m per tutte le tratte oggetto di rifacimento ovvero di 6,3 m per tutte le tratte dove invece non verranno modificati i sostegni esistenti ma verrà solamente ri-tesato il conduttore.

Nelle immagini seguenti riportiamo l'ortofoto con l'inquadramento della linea esistente e in progetto.

















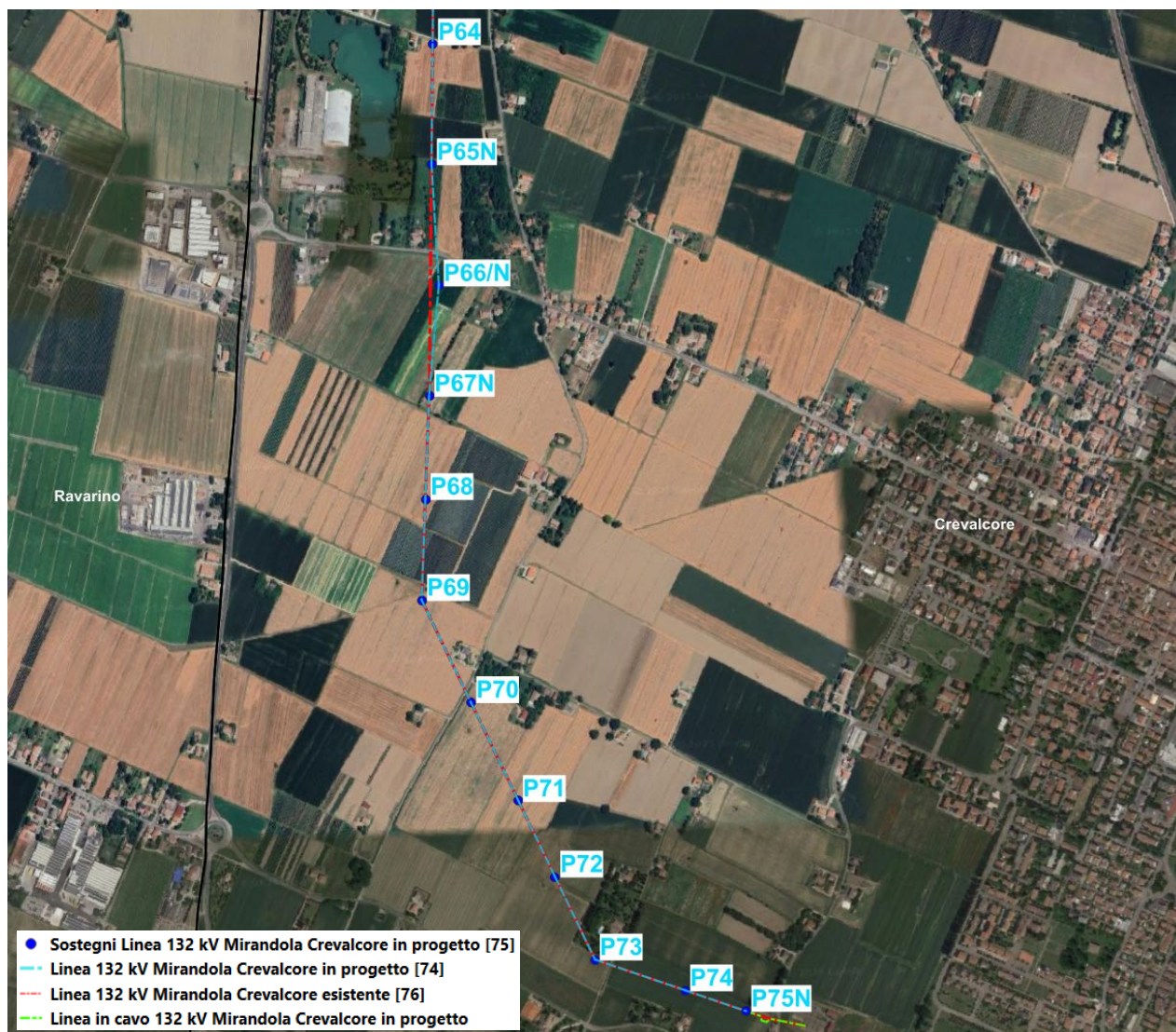


Figura 1 - Inquadramento opere in progetto

La proiezione al suolo della fascia di rispetto insieme alle eventuali strutture che interamente o in parte ricadono all'interno della medesima fascia, per cui oggetto di approfondimenti nella presenta relazione ai fini dello studio sull'esposizione al campo magnetico, è riportata nel documento 468724 – Inquadramento CTR con Distanze di Prima Approssimazione.

## 2 QUADRO NORMATIVO

Le linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed ai campi elettromagnetici sono state indicate nel 1998 dalla ICNIRP (Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti).


Il 12-7-99 il Consiglio dell'Unione Europea (UE) ha emesso una Raccomandazione agli Stati Membri volta alla creazione di un quadro di protezione della popolazione dai campi elettromagnetici, che si basa sui migliori dati scientifici esistenti; a tale proposito il Consiglio ha avallato proprio le linee guida dell'ICNIRP. Successivamente nel 2001, a seguito di un'ultima analisi condotta sulla letteratura scientifica, un Comitato di esperti della Commissione Europea ha raccomandato alla UE di continuare ad adottare tali linee guida.

Lo Stato Italiano è successivamente intervenuto, con finalità di riordino e miglioramento della normativa in materia allora vigente in Italia attraverso la Legge quadro 36/2001, che ha individuato ben tre livelli di esposizione ed ha affidato allo Stato il compito di determinarli e aggiornarli periodicamente in relazione agli impianti che possono comportare esposizione della popolazione a campi elettrici e magnetici con frequenze comprese tra 0Hz e 300 GHz.

L'art. 3 della **Legge 36/2001** ha definito:

- *limite di esposizione* il valore di campo elettromagnetico da osservare ai fini della tutela della salute da effetti acuti;



 <p>Reggio nell'Emilia - ITALIA</p>	<p>Progetto</p> <p><b>LINEA 132 kV MIRANDOLA CP-CREVALCORE CP.</b></p> <p><b>Relazione campi elettrici e magnetici</b></p>	<p>Documento e revisione</p> <p><b>468704A</b></p> <p><b>10</b></p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>valore di attenzione</i>, come quel valore del campo elettromagnetico da osservare quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine;</li> <li>• <i>obiettivo di qualità</i>, come criterio localizzativo e standard urbanistico, oltre che come valore di campo elettromagnetico ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione.</li> </ul> <p>Tale legge quadro italiana (36/2001), come ricordato dal citato Comitato di esperti della Commissione Europea, è stata emanata nonostante le raccomandazioni del Consiglio dell'Unione Europea del 12-7-99 sollecitassero gli Stati membri ad utilizzare le linee guida internazionali stabilite dall'ICNIRP. Tutti i paesi dell'Unione Europea hanno accettato il parere del Consiglio della UE, mentre l'Italia ha adottato misure più restrittive di quelle indicate dagli Organismi internazionali.</p> <p>In esecuzione della predetta Legge quadro, è stato infatti emanato il <b>D.P.C.M. 08.07.2003</b> "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.", che ha fissato il limite di esposizione in 100 microtesla (<math>\mu\text{T}</math>) per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico; ha stabilito il valore di attenzione di 10 <math>\mu\text{T}</math>, a titolo di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere; ha fissato, quale obiettivo di qualità, da osservare nella progettazione di nuovi elettrodotti, il valore di 3 <math>\mu\text{T}</math>. È stato altresì esplicitamente chiarito che tali valori sono da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore, in condizioni normali di esercizio. Si segnala come i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità stabiliti dal Legislatore italiano siano rispettivamente 10 e 33 volte più bassi di quelli internazionali.</p> <p>Al riguardo è opportuno anche ricordare che, in relazione ai campi elettromagnetici, la tutela della salute viene attuata – nell'intero territorio nazionale – esclusivamente attraverso il rispetto dei limiti prescritti dal D.P.C.M. 08.07.2003, al quale soltanto può farsi utile riferimento.</p> <p>In tal senso, con sentenza n. 307 del 7.10.2003 la <b>Corte Costituzionale ha dichiarato l'illegittimità di alcune leggi regionali in materia di tutela dai campi elettromagnetici</b>, per violazione dei criteri in tema di ripartizione di competenze fra Stato e Regione stabiliti dal nuovo Titolo V della Costituzione. Come emerge dal testo della sentenza, una volta fissati i valori-soglia di cautela per la salute, a livello nazionale, non è consentito alla legislazione regionale derogarli neanche in melius<sup>1</sup>.</p> <h3>3 VALUTAZIONE DEI CAMPI ELETTRICO E MAGNETICO PER L'ELETTRODOTTO IN PROGETTO</h3> <p>Nei paragrafi seguenti si riportano sinteticamente le principali caratteristiche tecniche dell'elettrodotto in progetto, rimandando alle relazioni tecniche illustrative relative alle singole opere per maggiori dettagli.</p> <h4>3.1 Caratteristiche principali degli elettrodotti aerei a 132 kV</h4> <p>L'elettrodotto a 132 kV in progetto in semplice terna è esistente ed è realizzato con sostegni del tipo tronco piramidale realizzati con angolari di acciaio ad elementi zincati a caldo e bullonati.</p> <p>Il gestore della rete ha evidenziato la necessità di potenziare tale linea, per garantire una portata continuativa non inferiore ad 650 A, anche nel periodo estivo. I parametri limite di progettazione, oltre alla portata di corrente, sono il rispetto del franco minimo di legge (come da DM LLPP 21 marzo 1988) e del valore di qualità per i campi magnetici di 3 <math>\mu\text{T}</math>, così come previsto dal DM 8 luglio 2003. Al fine di soddisfare le prescrizioni sopra citate, la progettazione richiede la sostituzione del conduttore ACSR <math>\varnothing 22,8</math> mm con altro conduttore adeguato al soddisfacimento della portata richiesta. Al fine di rispettare i parametri meccanici per i quali la linea risulta essere ad oggi verificata, si ritiene plausibile l'utilizzo di un conduttore alternativo ad alta temperatura come lo ZTACIR o ZTAL <math>\varnothing 22,75</math> mm.</p> <p>Le principali caratteristiche elettriche sono le seguenti:</p>	

<sup>1</sup> Nella sentenza (pagg. 51 e segg.) si legge testualmente: "L'esame di alcune delle censure proposte nei ricorsi presuppone che si risponda all'interrogativo se i valori-soglia (limiti di esposizione, valori di attenzione, obiettivi di qualità definiti come valori di campo), la cui fissazione è rimessa allo Stato, possano essere modificati dalla Regione, fissando valori-soglia più bassi, o regole più rigorose o tempi più ravvicinati per la loro adozione. La risposta richiede che si chiarisca la ratio di tale fissazione. Se essa consistesse esclusivamente nella tutela della salute dai rischi dell'inquinamento elettromagnetico, potrebbe invece essere lecito considerare ammissibile un intervento delle Regioni che stabilisse limiti più rigorosi rispetto a quelli fissati dallo Stato, in coerenza con il principio, proprio anche del diritto comunitario, che ammette deroghe alla disciplina comune, in specifici territori, con effetti di maggiore protezione dei valori tutelati (cfr. sentenze n. 382 del 1999 e n. 407 del 2002). Ma in realtà, nella specie, la fissazione di valori-soglia risponde ad una ratio più complessa e articolata. Da un lato, infatti, si tratta effettivamente di proteggere la salute della popolazione dagli effetti negativi delle emissioni elettromagnetiche (e da questo punto di vista la determinazione delle soglie deve risultare fondata sulle conoscenze scientifiche ed essere tale da non pregiudicare il valore protetto); dall'altro, si tratta di consentire, anche attraverso la fissazione di soglie diverse in relazione ai tipi di esposizione, ma uniformi sul territorio nazionale, e la graduazione nel tempo degli obiettivi di qualità espressi come valori di campo, la realizzazione degli impianti e delle reti rispondenti a rilevanti interessi nazionali, sottesi alle competenze concorrenti di cui all'art. 117, terzo comma, della Costituzione, come quelli che fanno capo alla distribuzione dell'energia e allo sviluppo dei sistemi di telecomunicazione. Tali interessi, ancorché non resi espliciti nel dettato della legge quadro in esame, sono indubbiamente sottesi alla considerazione del "preminente interesse nazionale alla definizione di criteri unitari e di normative omogenee" che, secondo l'art. 4, comma 1, lettera a, della legge quadro, fonda l'attribuzione allo Stato della funzione di determinare detti valori-soglia. In sostanza, la fissazione a livello nazionale dei valori-soglia, non derogabili dalle Regioni nemmeno in senso più restrittivo, rappresenta il punto di equilibrio fra le esigenze contrapposte di evitare al massimo l'impatto delle emissioni elettromagnetiche, e di realizzare impianti necessari al paese, nella logica per cui la competenza delle Regioni in materia di trasporto dell'energia e di ordinamento della comunicazione è di tipo concorrente, vincolata ai principi fondamentali stabiliti dalle leggi dello Stato. Tutt'altro discorso è a farsi circa le discipline localizzative e territoriali. A questo proposito è logico che riprenda pieno vigore l'autonomia capacità delle Regioni e degli enti locali di regolare l'uso del proprio territorio, purché, ovviamente, criteri localizzativi e standard urbanistici rispettino le esigenze della pianificazione nazionale degli impianti e non siano, nel merito, tali da impedire od ostacolare ingiustificatamente l'insediamento degli stessi".

Frequenza nominale	50 Hz
Tensione nominale	132 kV
Portata di corrente di progetto	780 A

Portata di corrente di progetto: per i conduttori alluminio/acciaio, ovvero per conduttori disciplinati dalla norma CEI 11-60, è conforme a quanto prescritto da suddetta normativa e coincide con la Portata in corrente in relazione alle condizioni di progetto (PCCP).

### 3.2 Caratteristiche principali degli elettrodotti in cavo interrato a 132 kV

L'elettrodotto in cavo a 132 kV sarà realizzato con tre cavi unipolari costituiti da un conduttore in alluminio, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, guaina metallica longitudinalmente saldata, rivestimento in politene con grafitatura esterna. Ciascun conduttore di energia avrà una sezione indicativa di 1.600 mm<sup>2</sup> in alluminio.

In alternativa, in fase di progettazione esecutiva, se ritenuto necessario, potranno essere adottati cavi in rame con sezione da 1.000 mm<sup>2</sup> o 1.200 mm<sup>2</sup>, equivalenti in termini di portata in corrente.

Le caratteristiche elettriche degli elettrodotti in cavo interrato in progetto sono le seguenti:

PARAMETRO	VALORE
Frequenza nominale	50 Hz
Tensione nominale	132 kV
Portata di corrente di progetto	780 A
Sezione nominale del conduttore	1600 mm <sup>2</sup>
Isolante	XLPE
Diametro esterno massimo	106 mm
Peso cavo	11,2 kg/m

La portata in corrente sopra indicata è conforme a quanto prescritto dalla norma CEI 11-17.

### 3.3 Caratteristiche geometriche dei sostegni

L'attuale elettrodotto 132 kV "Mirandola CP – Crevalcore CP" ad oggi è composto da 77 sostegni, compresi i due pali gatto presenti nelle due cabine primarie di Mirandola e Crevalcore. Il potenziamento della tratta aerea comporta la realizzazione di 27 nuovi sostegni (Px) e la dismissione di 25 pali esistenti ad eccezione del terminale cavo che sostituirà il palo gatto all'interno della CP di Crevalcore. La tratta tra il sostegno P75 e P76 e parte della tratta tra il sostegno P74 e P75 verrà demolita in quanto si procederà con l'interramento della linea sino allo stallo linea nella Cabina primaria esistente di Crevalcore.

Le caratteristiche geometriche dei sostegni sono quelle previste dal "Progetto di Unificazione Terna" e sono riportati nei documenti allegati alla documentazione di progetto. In particolare, si faccia riferimento al documento: Doc. n. 468771 – Elementi tecnici delle opere.

### 3.4 Disposizione delle fasi

Così come previsto dal documento ISPRA "Disposizioni integrative/interpretative linee guida decreti 29/05/2008", per ogni elettrodotto esistente o in progetto che sia oggetto della presente analisi tecnica sui campi elettromagnetici, sarà considerata la reale disposizione nello spazio dei conduttori di fase.

## 4 VERIFICA DEL LIMITE DI ESPOSIZIONE

La valutazione del campo elettrico al suolo è avvenuta mediante l'impiego di un foglio di calcolo creato sul sito web "WebNIR" sviluppato nell'ambito dei progetti INAIL al fine di determinare i livelli di campo elettrico dispersi da uno o più fasci di conduttori rettilinei indefiniti. Un modello di questo tipo viene comunemente utilizzato per rappresentare gli elettrodotti, come previsto dalla guida CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche".

Il calcolo del campo magnetico è stato effettuato utilizzando il software "Magic" di BESHielding di cui riportiamo in allegato il documento di validazione. Il software permette di calcolare i campi magnetici generati da sorgenti di tipo elettrico, quali trasformatori, sistemi di linee elettriche, cabine MT/BT, buche giunti, blindosbarre e impianti elettrici. Il software permette la determinazione delle fasce di rispetto per linee elettriche e cabine MT/BT, secondo quanto previsto dalla Legge Quadro n. 36/2001 (esposizione ai campi magnetici della popolazione) e dal D.lgs. n. 81/08 (valutazione dei rischi in ambiente lavorativo). Permette inoltre di studiare le singole sorgenti (linee elettriche, cavi, sistemi multiconduttori, trasformatori) configurazioni bidimensionali e tridimensionali attraverso l'integrazione della legge di Biot-Savart o lo studio di sistemi complessi, come le cabine elettriche MT/BT, tenendo conto della tridimensionalità delle sorgenti, della loro reale posizione e della sovrapposizione degli effetti delle diverse componenti.

La configurazione della geometria dei sostegni ed i valori delle grandezze elettriche sono quelli riportati nelle relazioni tecniche illustrative e coincideranno con le reali condizioni di installazione una volta che l'opera sarà realizzata.

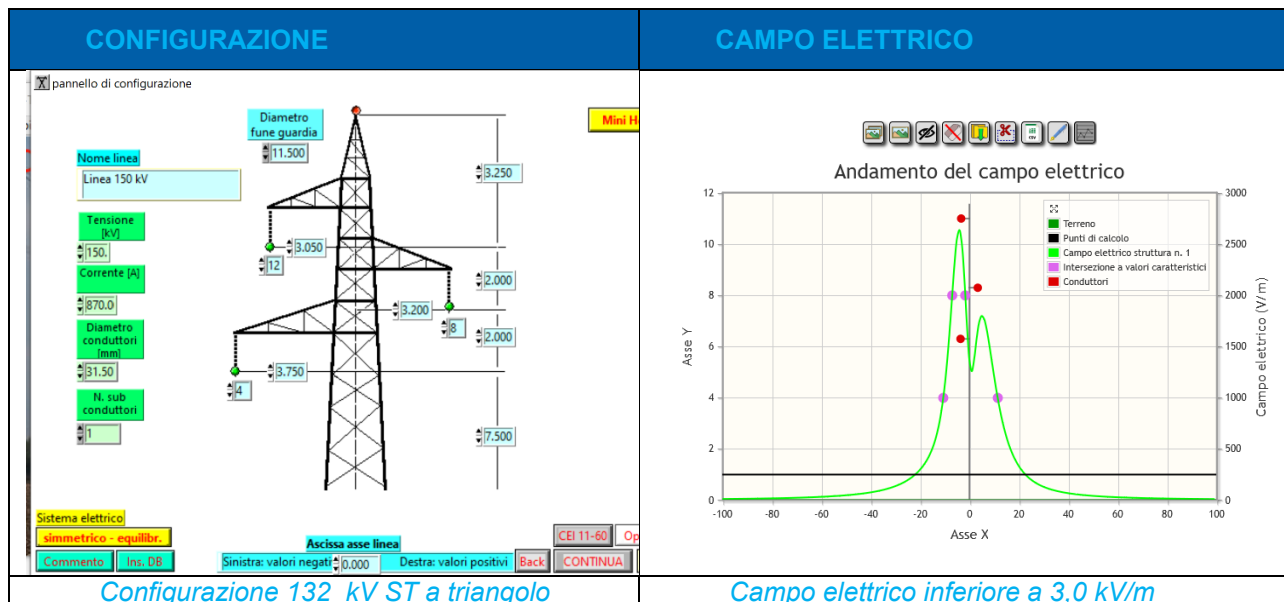
La valutazione dei campi in elettrico e magnetico è stata eseguita ad un'altezza di 1,0 m dal suolo nelle condizioni maggiormente cautelative corrispondenti al punto in cui i conduttori sono alla minima distanza dal terreno, come riportato di seguito.

Per la progettazione e la verifica del ripotenzamento dell'elettrodotto aereo sono stati considerati i seguenti franchi minimi da terra:

- per gli elettrodotti a 150/132 kV di nuova realizzazione **franco minimo di 10 m**
- per il potenziamento di elettrodotti esistenti **franco minimo 6,3 m**.

#### 4.1 Campo elettrico per gli elettrodotti aerei in progetto

Nella colonna "configurazione" è rappresentato un sostegno "fittizio" di altezza utile pari al franco minimo da terra sopra specificato, utile al solo fine di indicare la disposizione geometrica nello spazio dei conduttori nel punto di calcolo.



Come si evince dalle simulazioni effettuate, per gli interventi su elettrodotti aerei a 132 kV ST e DT, il valore del campo elettrico è **sempre inferiore al limite previsto** dal DPCM 08/07/03 fissato in **5 kV/m**.

#### 4.2 Campo elettrico per gli elettrodotti in cavo interrato in progetto

Per quanto riguarda gli elettrodotti in cavo interrato a 132 kV, la presenza dello schermo e della vicinanza dei conduttori delle tre fasi elettriche rende il campo elettrico di fatto nullo ovunque.

Pertanto, il rispetto della normativa vigente è sempre garantito ovunque, indipendentemente dalla distanza dall'asse degli elettrodotti.

#### 4.3 Campo di induzione magnetica per gli elettrodotto aerei in progetto

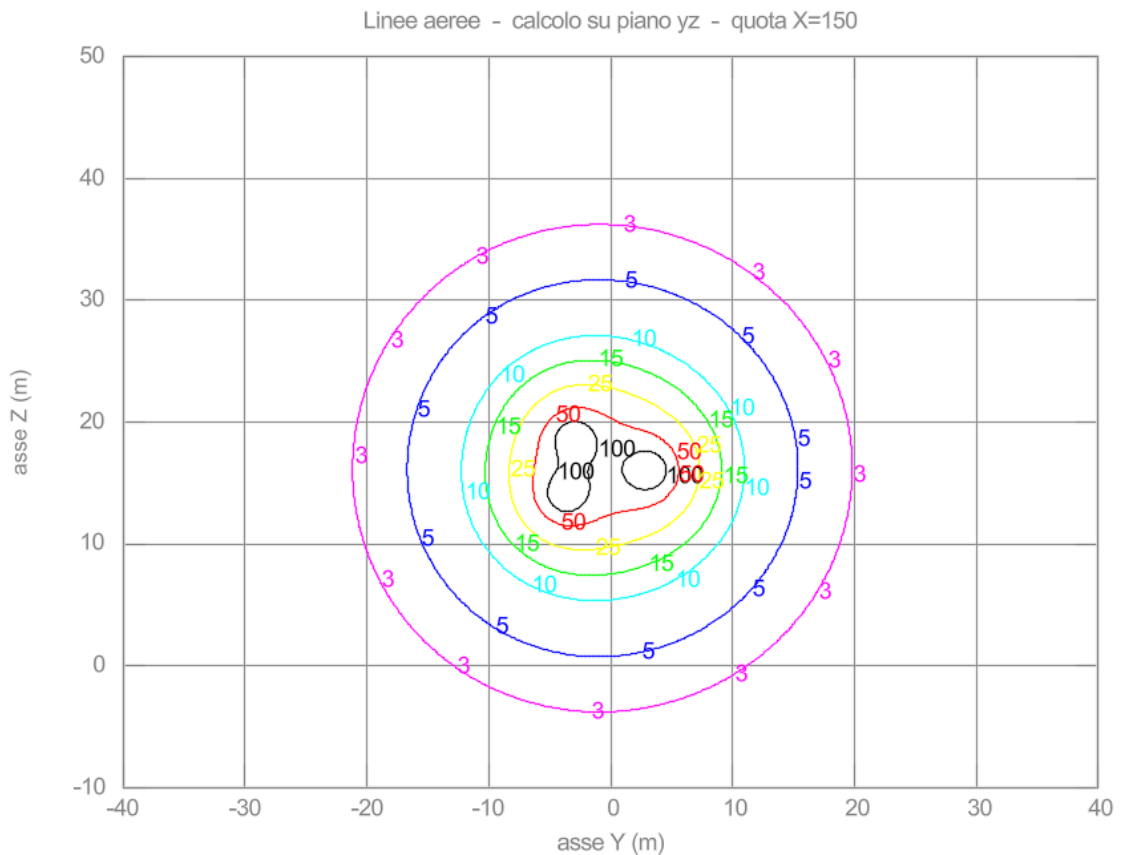


Figura 2 - Curve di isolivello del campo magnetico

Come si evince dalla simulazione effettuata, per gli elettrodotto aerei a 132 kV, il valore del campo di induzione magnetica a 1 m da terra è sempre inferiore al limite previsto dal DPCM 08/07/03 fissato in 100  $\mu$ T.

#### 4.4 Campo di induzione magnetica per gli elettrodotto in cavo in progetto

In Figura 3 è riportato l'andamento dell'intensità del campo magnetico generato dal cavidotto 132 kV interrato a una profondità di 1,45 m.

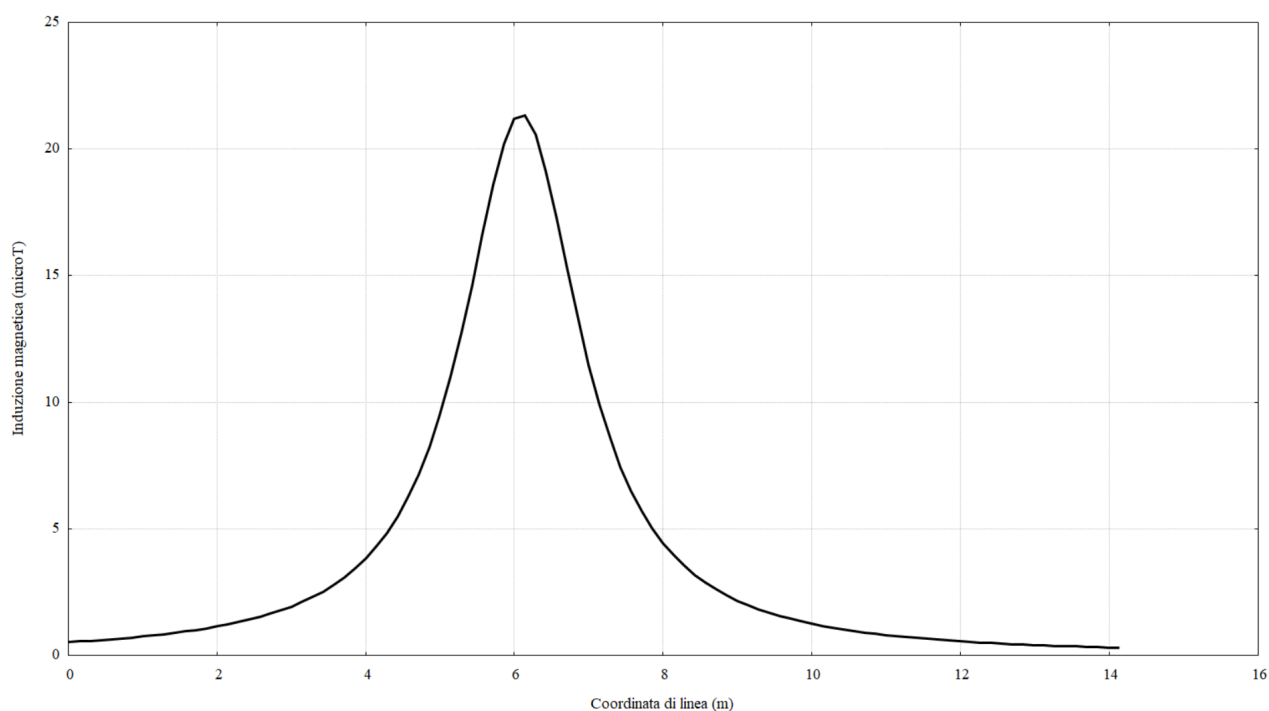
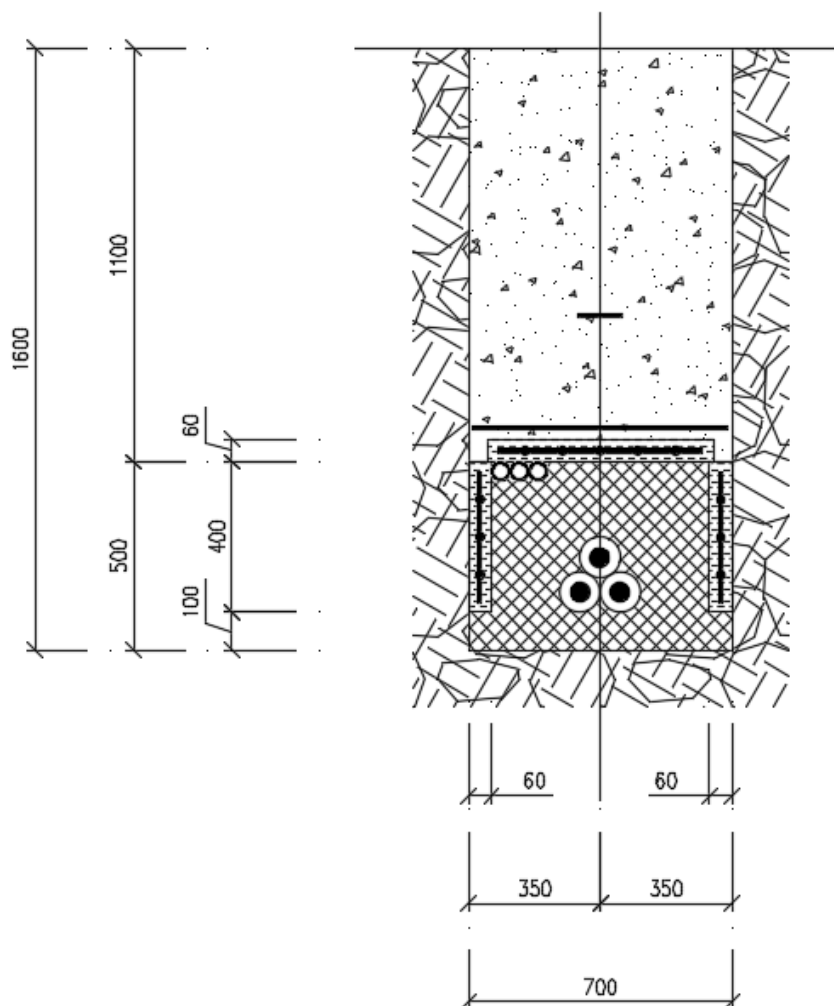


Figura 3 - Curve di isolivello del campo magnetico

Come si evince dalle simulazioni effettuate a 1 m dal suolo, per gli interventi sul cavidotto a 132 kV, il valore del campo di induzione magnetica è **sempre inferiore al limite previsto** dal DPCM 08/07/03 fissato in **100  $\mu\text{T}$** .



## **5 VALUTAZIONE FASCE DI RISPETTO E DPA**

### **5.1 Metodologia di calcolo**

Al fine di stimare il campo magnetico prodotto dai raccordi aerei in oggetto e determinare le DPA da applicarle, si è proceduto effettuando il calcolo teorico in considerazione di quanto previsto dal Decreto Ministeriale 29/05/2008, utilizzando la portata in corrente in servizio normale come definita dalla norma CEI 11-60 come descritto nel capitolo seguente.

Il calcolo del campo magnetico è stato effettuato utilizzando il software "Magic" di BEShielding di cui riportiamo in allegato il documento di validazione.

Per la valutazione delle fasce di rispetto e delle DPA è stata seguita la seguente metodologia:

1. È stato valutato il campo di induzione magnetica mediante modelli di calcolo, nelle reali condizioni di installazione, nell'ipotesi che sugli stessi fluisca la massima corrente prevista, secondo la norma CEI 11-60, come descritto nel capitolo seguente;
2. Una volta determinata la fascia di rispetto si è effettuata la sua proiezione al suolo determinando le conseguenti Distanza di Prima Approssimazione (DPA);
3. Sono stati individuati eventuali fabbricati potenzialmente sensibili ubicati all'interno della DPA.

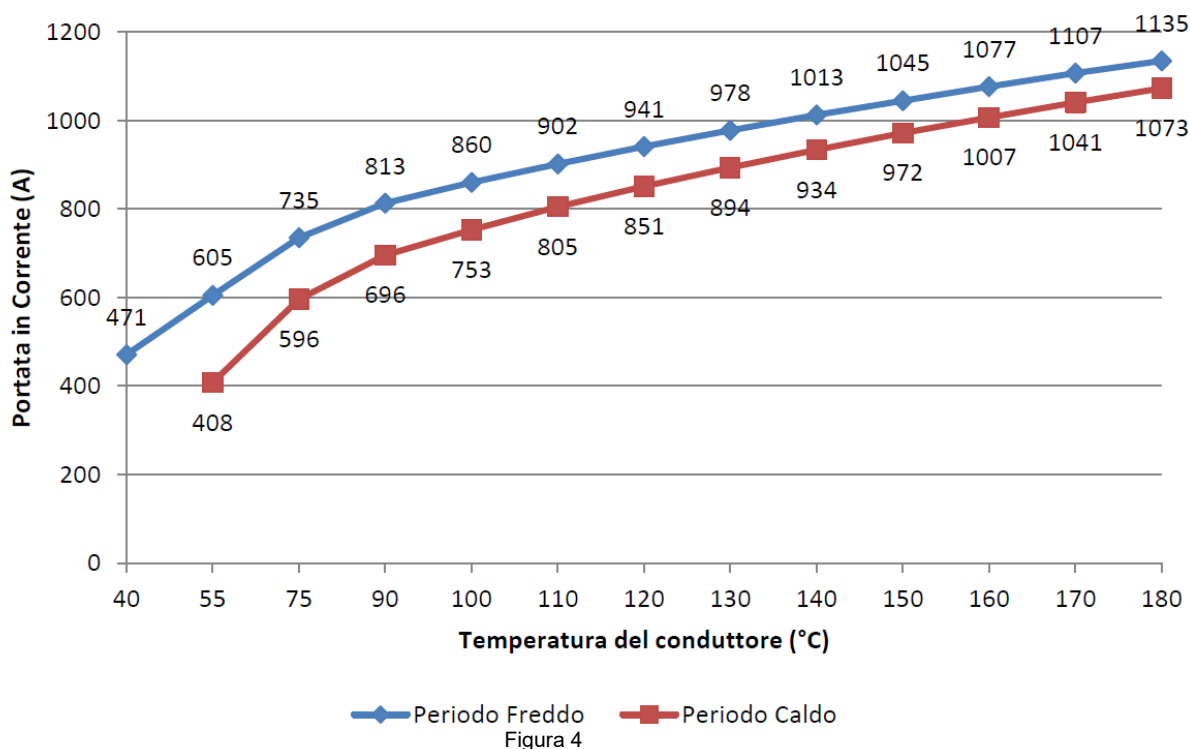
In corrispondenza dei soli fabbricati classificabili come recettori sensibili e posti all'interno delle DPA, è stato effettuato il calcolo del campo di induzione magnetica

### **5.2 Valori di corrente caratteristici degli elettrodotti in progetto e/o interferenti**

La tipologia di conduttore da utilizzarsi è definita in base alle richieste di Terna. Come detto, la portata target stabilita da Terna è pari a 650 A nel periodo estivo.

Attualmente la linea esistente è armata con il conduttore ACSR  $\varnothing 22,8$  mm. Al fine di permettere il passaggio nel periodo estivo della corrente richiesta da Terna senza modificare tutti i tralicci della linea esistente si è scelto di utilizzare un conduttore ad alta temperatura equivalente al  $\varnothing 22,8$  mm: il conduttore ZTACIR  $\varnothing 22,75$  mm.

La scelta del conduttore sopra indicata è giustificata dalla portata target richiesta da Terna di 650 A nel periodo estivo; a differenza dei conduttori tradizionali, infatti, i conduttori ad alta temperatura sono stati sviluppati identificando formazioni con caratteristiche finalizzate a risolvere esigenze proprio di incremento della portata o di riduzione della freccia.

**Conduttore ZTACIR (ZTAL) Ø22,75 mm (C17)**

Nella tabella in Figura 4 (estratto LIN\_0000C107) sono indicate le curve dove è possibile, in alternativa:

- fissato un valore della portata in esercizio continuativo della linea, determinare la temperatura del conduttore da utilizzare per le verifiche dei franchi al suolo (condizione di massima freccia in periodo caldo);
- calcolata la massima temperatura in grado di permettere il rispetto dei franchi al suolo, determinare la massima portata in esercizio continuativo transitabile sulla linea, durante il periodo caldo e freddo.

Tali verifiche vengono effettuate con la curva relativa al periodo caldo in quanto più cautelativa in termini di portata massima transitante a pari temperatura limite. Per il conduttore ad alta temperatura ZTACIR Ø22,75 mm, come evidenziato dal grafico precedente, non si considera una differenza tra zona A e zona B. Considerando la necessità di garantire una portata target richiesta da Terna di 650 A nel periodo caldo, si è assunta, cautelativamente, una portata in corrente nel periodo freddo pari a **780 A** (Figura 4).

Per la verifica dei valori di campo magnetico per il tratto in cavo si è proceduto con il medesimo valore della portata in corrente utilizzato per l'elettrodotto aereo. Il cavidotto interrato infatti potrebbe far transitare una corrente maggiore di quella target, ma, considerato quest'ultima e l'effettiva capacità del conduttore aereo si ritiene corretto utilizzare su tutto il tracciato una corrente pari a **780 A**.

### 5.3 Valutazione delle DPA

Con riferimento all'elettrodotto 132 kV "Mirandola CP-Crevalcore CP", al fine di avere una stima della DPA in condizione di assenza d'interferenze (parallelismi e incroci con altri elettrodotti, cambi di direzione del tracciato, ecc.) ovvero in condizioni indisturbate, sono state effettuate alcune simulazioni con il programma "Magic" di BESHielding con cui è stata individuata una dimensioni di massima delle DPA. Tali simulazioni sono state effettuate con le configurazioni geometriche ed i valori delle grandezze elettriche già riportate nei capitoli precedenti e nelle relazioni tecniche illustrative.

In particolare, al fine del calcolo del campo magnetico sono stati analizzati i dati relativi alla linea esistente forniti da Terna ed è stata scelta cautelativamente la configurazione dei pali peggiore al fine del calcolo delle DPA (disposizione delle fasi con conduttori più distanti).

In Figura 6, si riportano le curve di isolivello del campo magnetico generate sul piano XY trasversale al cavidotto, sovrapposte ad una sezione tipica di posa di Figura 3.

Nelle figure successive si riportano in colore verde gli incrementi delle DPA dovuti ai cambi di direzione, in colore giallo quelli dovuti al parallelismo con le due linee AT suddette. Con colore magenta vengono rappresentate le DPA in condizione indisturbata come precedentemente calcolato.



Figura 7





Figura 8



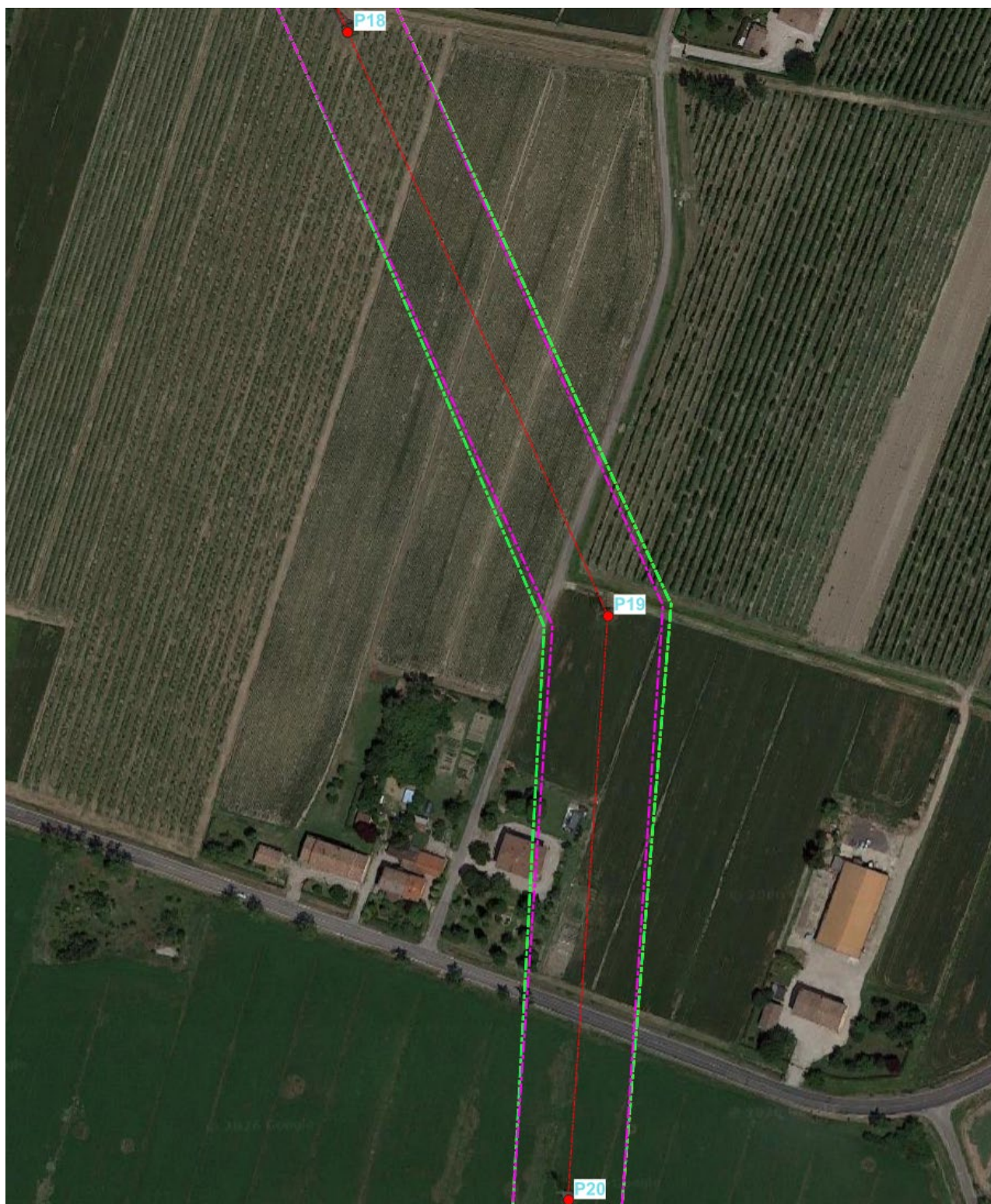


Figura 9





Figura 10





Figura 11





Figura 12



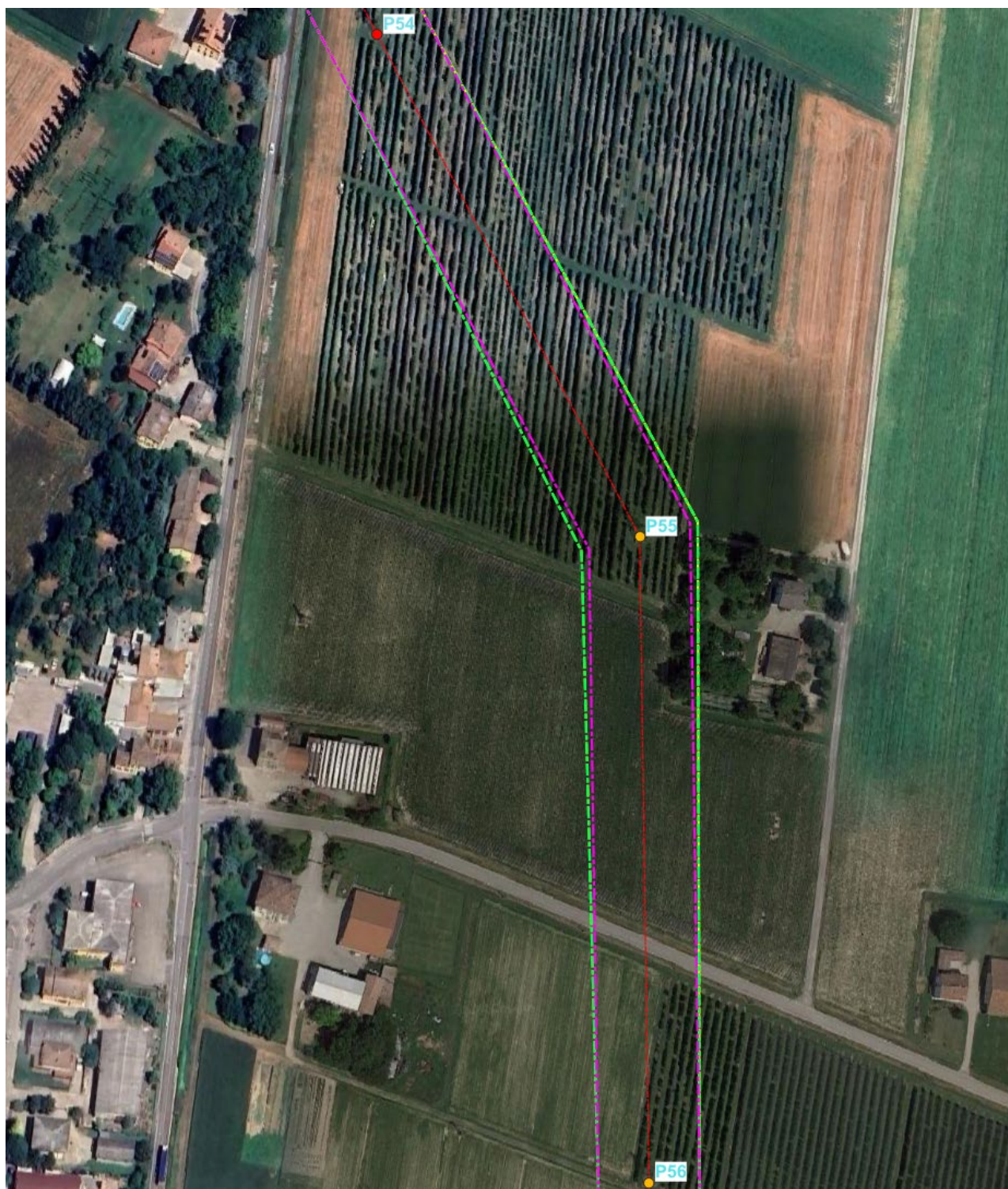


Figura 13



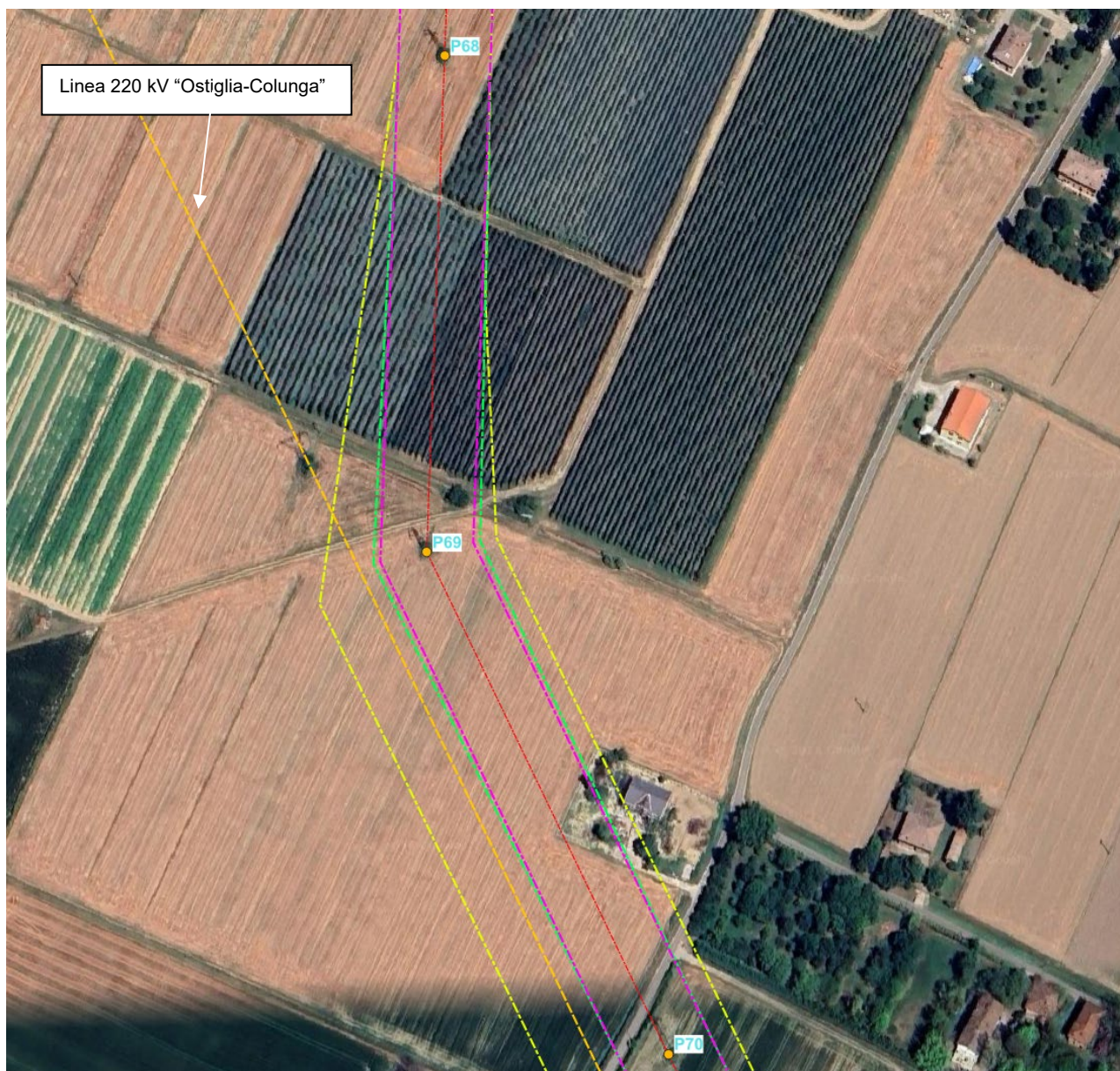


Figura 14



Figura 15



**Campata P28-P29, P52-P53, P57-P58, P60-P61, P65-P66**

La linea 132 kV "Mirandola CP-Crevalcore CP" presenta delle intersezioni con linee MT in corrispondenza delle campate comprese tra i sostegni P28-P29, P52-P53, P57-P58, P65-P66.

Nelle figure successive si riportano in colore blu gli incrementi delle DPA dovuti all'interferenza con linee MT. Con colore magenta vengono rappresentate le DPA in condizione indisturbata come precedentemente calcolato.

Il fabbricato riportato in Figura 19 risulta un'unità collabente (Cat. F02), ragione per la quale, nelle successive valutazioni, non verrà approfondita l'analisi dell'induzione magnetica.



Figura 16





Figura 17

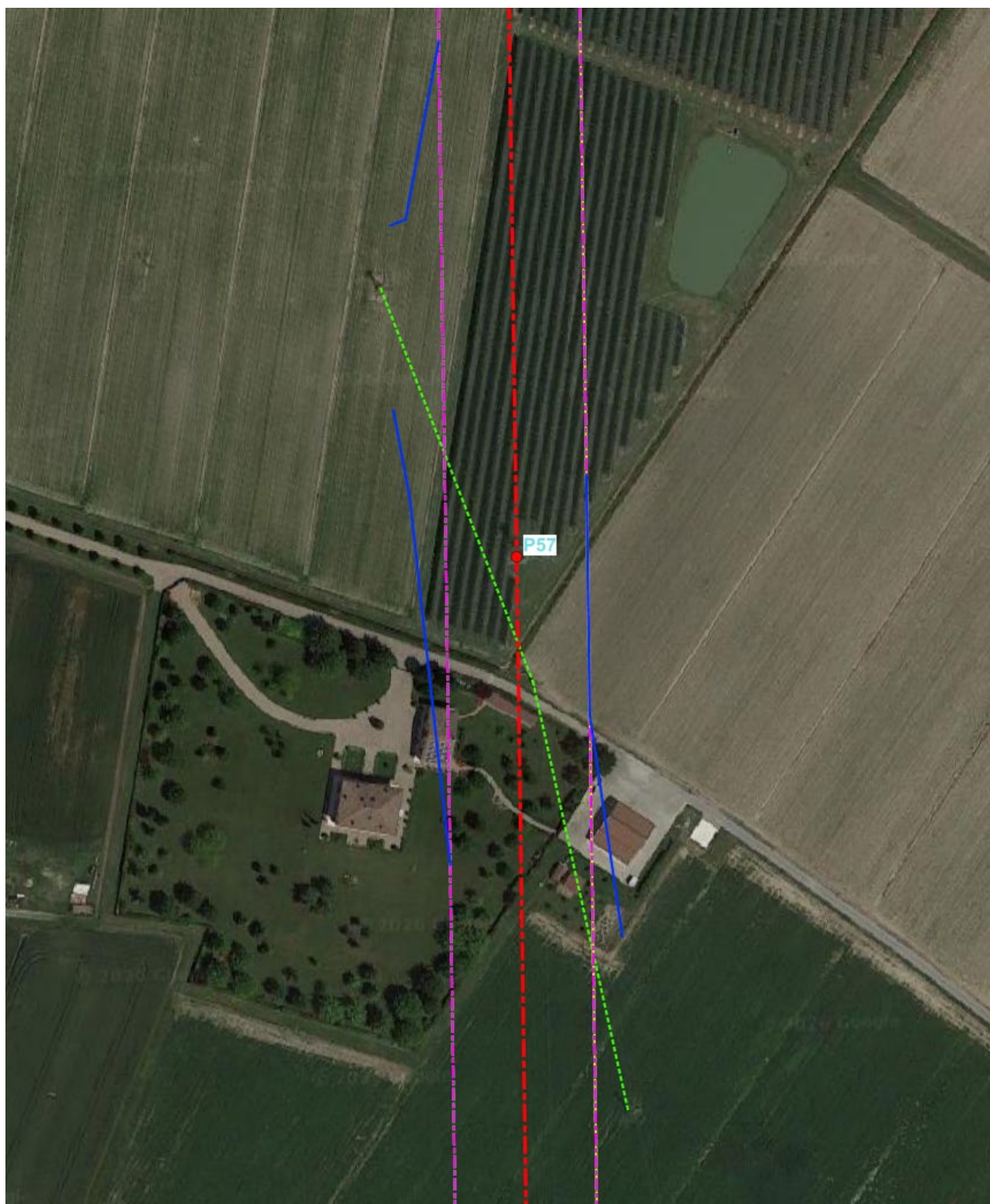


Figura 18



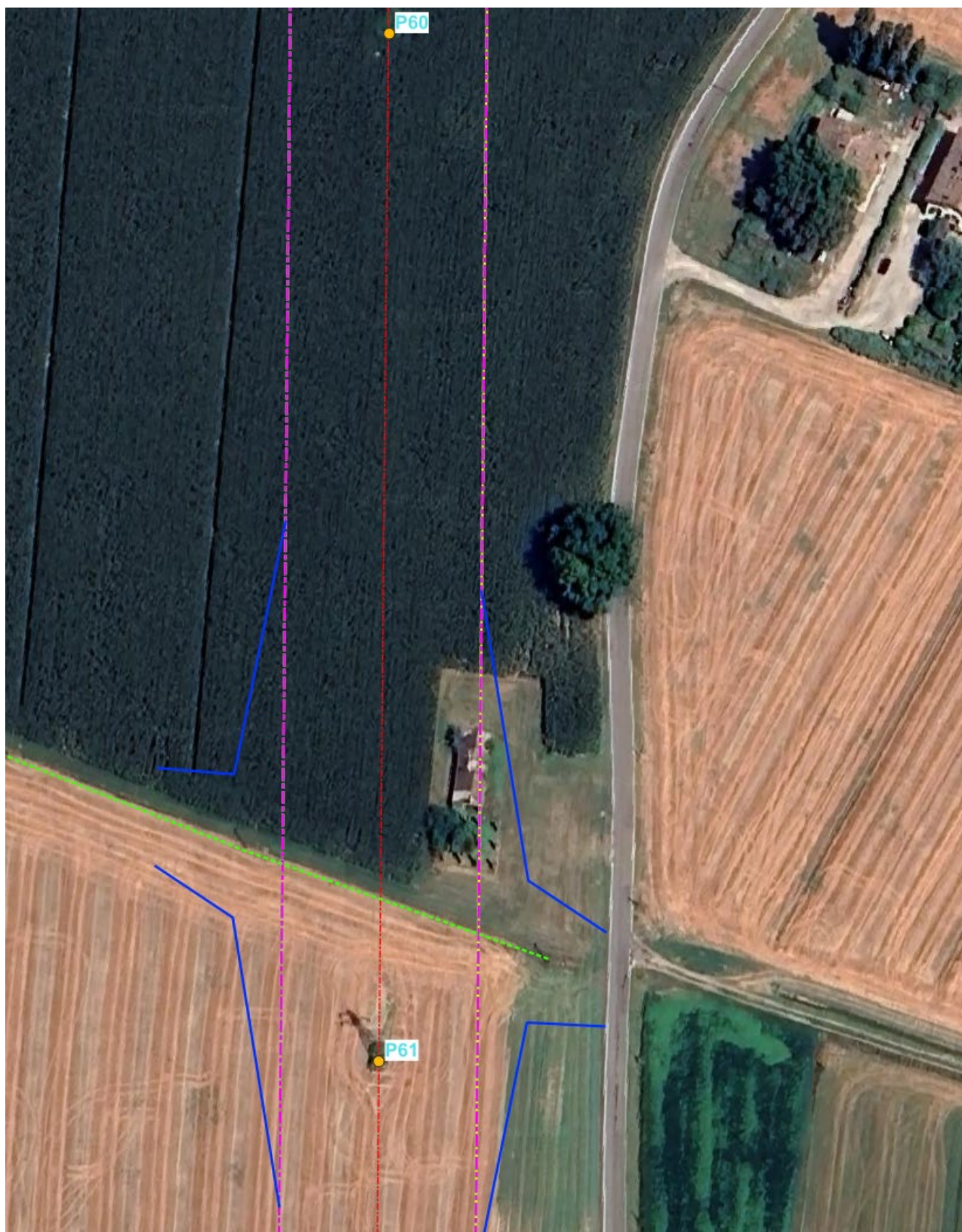


Figura 19





Figura 20



## 6 ANALISI DEI RICETTORI

Il ripotenziamento della linea comporta la sostituzione del conduttore e l'aumento della corrente che può circolare su tale elettrodotto. Uno dei fattori discriminanti per stabilire la possibilità o meno di procedere con la mera sostituzione dei conduttori mantenendo la medesima struttura dei tralicci è, oltre che la verifica del franco minimo da terra, anche il rispetto delle DPA in prossimità dei ricettori sensibili in quanto, essendo l'elettrodotto risalente ai primi anni '70, alcuni sostegni sono posti molto vicini ad abitazioni esistenti. Si è proceduto pertanto a sovrapporre su ortofoto, il tracciato della linea esistente (fornito da Terna) con le rispettive DPA come precedentemente calcolate. Dalla sovrapposizione tra DPA, ortofoto e catasto sono stati individuati i ricettori che potevano presentare un superamento del valore di qualità in seguito alla sostituzione dei conduttori.

Nelle Figure seguenti riportiamo i ricettori individuati lungo le diverse tratte.

**Si sottolinea inoltre che lungo la tratta della linea 132 kV è previsto l'inserimento in entra-esce della futura stazione SE RTN 132 kV Regina del Bosco**, descritta nei documenti di cui alla presente progettazione. Per tale motivo la tratta di linea compresa tra i sostegni P20-P23 verrà demolita per realizzare tale inserimento.



Figura 21



Figura 22





Figura 23





Figura 24

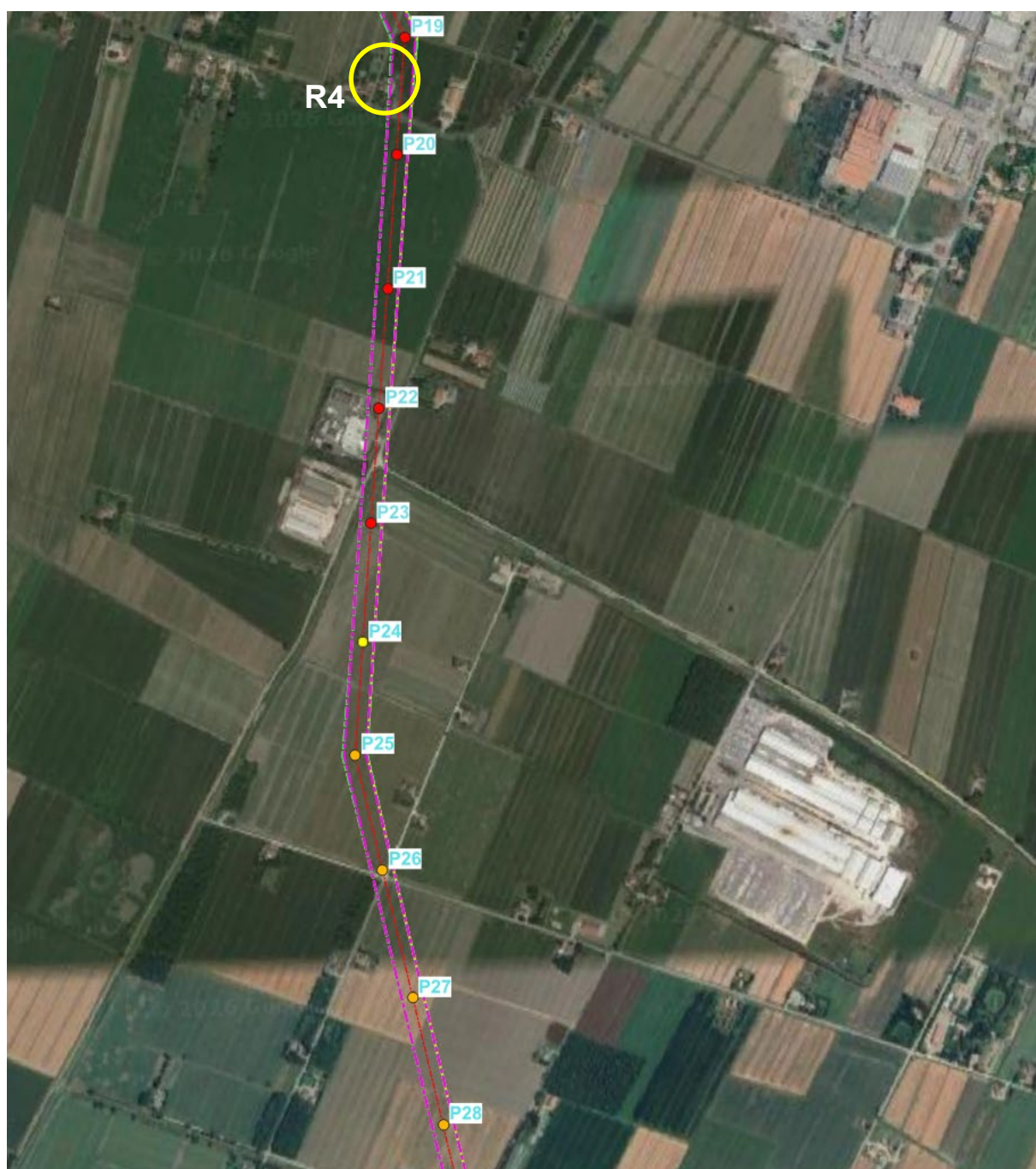


Figura 25





Figura 26



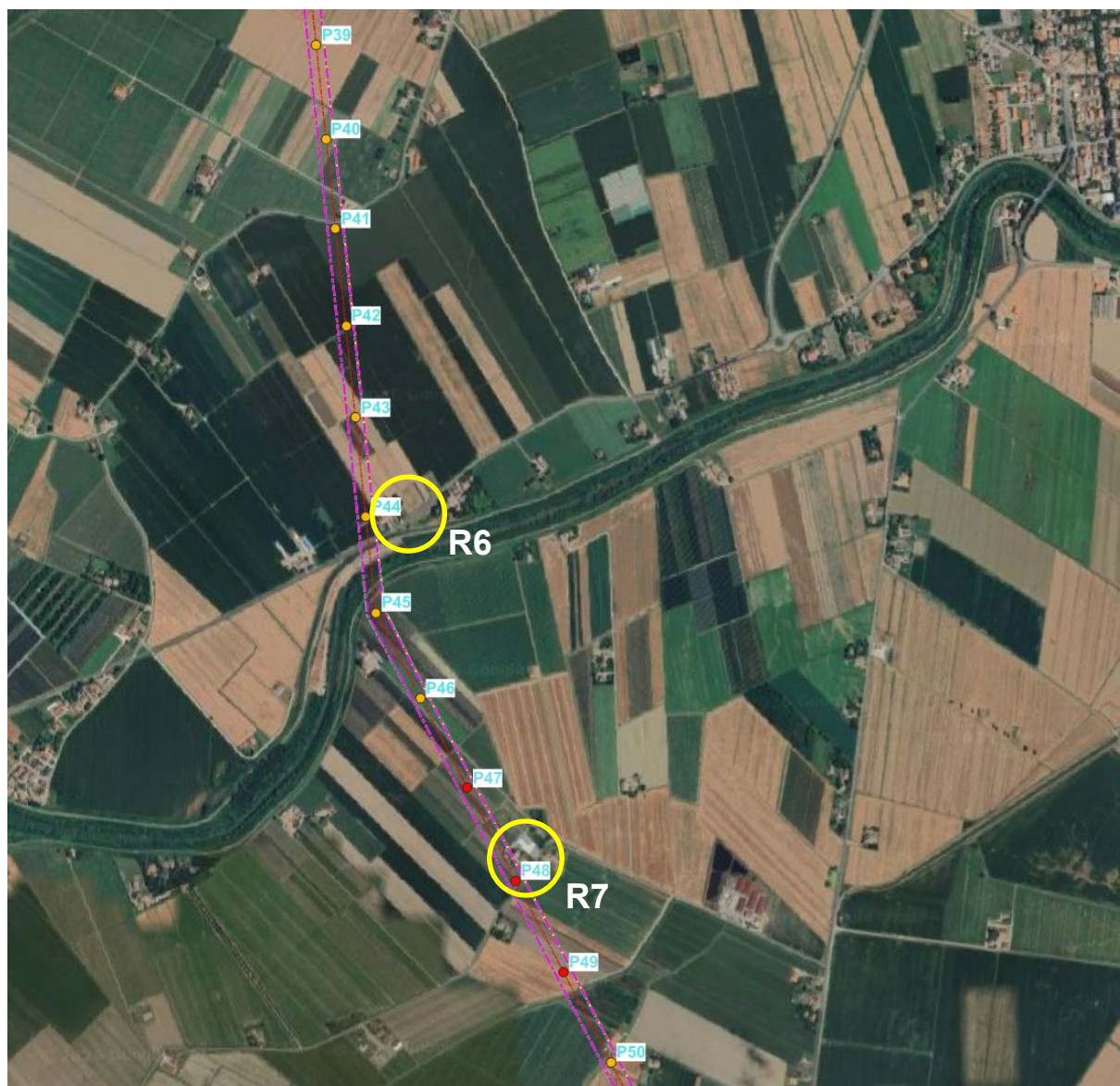


Figura 27



Figura 28





Figura 29



Figura 30



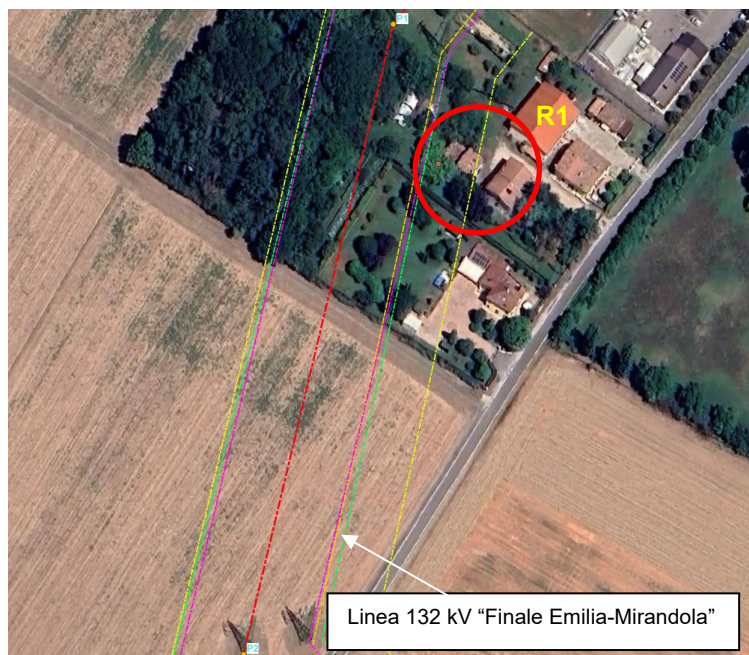
Nel capitolo seguente riportiamo le schede dettagliate per ciascun ricettore individuato suddivise per tratta di interesse. In seguito a verifica puntuale del campo magnetico sono stati individuati quali ricettori erano veramente classificabili come ricettori sensibili e quali tratti di linea dovessero essere modificati per garantire il rispetto dell'obiettivo di qualità di  $3 \mu\text{T}$ .

#### **6.1 Schede ricettori sensibili**

Nelle schede seguenti riportiamo l'analisi dei singoli punti critici individuati nelle Figure del §6. Tali punti sono individuati in base all'ID riportato nella prima riga e rappresentano quei ricettori che, presupponendo la sola sostituzione del conduttore della linea, ricadrebbero all'interno delle DPA per come precedentemente calcolate.

**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R1	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	001 ÷ 002
COMUNE	(MO)	Mirandola
PARTICELLE	Foglio	138
	Particella	155
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A02-C06-C02	Abitazioni di tipo civile, ricovero veicoli, magazzini
COORDINATE	WGS84	44°52'22.62"N 11°4'50,37"E
QUOTA	m slm	19,4
DISTANZA ASSE LINEA	m	27,0
INDUZIONE MAGNETICA	μT	4,82

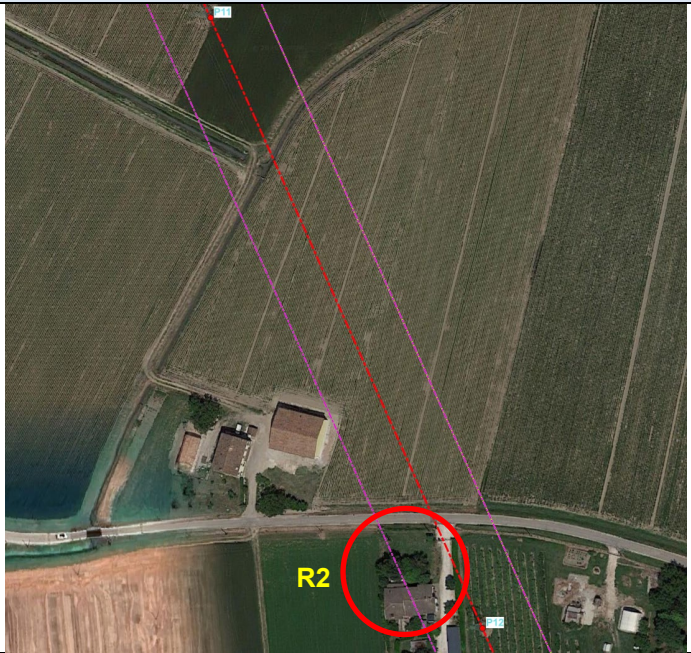
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Si sottolinea che in questo tratto l'elettrodotto oggetto di ripotenziamento risulta adiacente alla linea 132 kV "Finale Emilia-Mirandola". Dalle simulazioni effettuate si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R2	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	011 ÷ 012
COMUNE	(MO)	Medolla
PARTICELLE	Foglio	8
	Particella	128
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A07-C06	Abitazioni di tipo civile, ricovero veicoli
COORDINATE	WGS84	44°51' 4.28"N 11°5 '40,26"E
QUOTA	m slm	20,6
DISTANZA ASSE LINEA	m	12
INDUZIONE MAGNETICA	μT	6.69

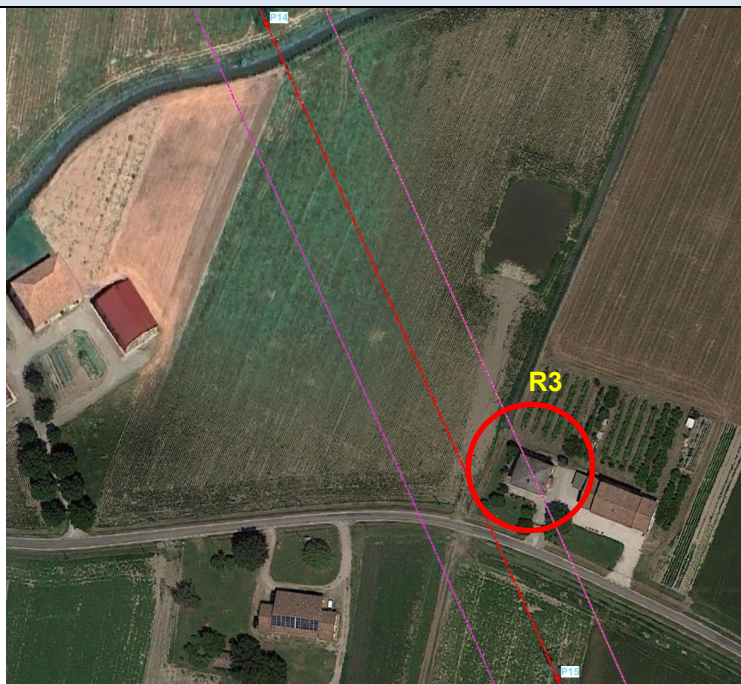
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Dalle simulazioni effettuate si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R3	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	014 ÷ 015
COMUNE	(MO)	Medolla
PARTICELLE	Foglio	8
	Particella	171
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°50' 42,53"N 11°5' 55,11"E
QUOTA	m slm	20,7
DISTANZA ASSE LINEA	m	12,8
INDUZIONE MAGNETICA	μT	6,01

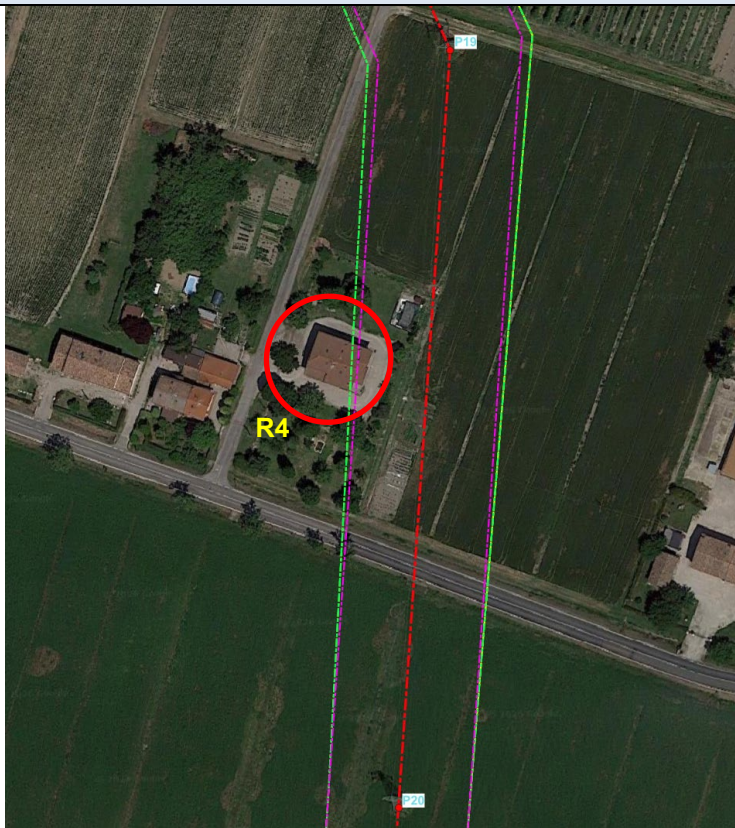
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Dalle simulazioni effettuate si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R4	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	019 ÷ 020
COMUNE	(MO)	Medolla
PARTICELLE	Foglio	17
	Particella	187
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A07-C06	Abitazioni in villini e ricovero veicoli
COORDINATE	WGS84	44°50' 5,08"N 11°6' 12,30"E
QUOTA	m slm	16
DISTANZA ASSE LINEA	m	18
INDUZIONE MAGNETICA	$\mu T$	3,92

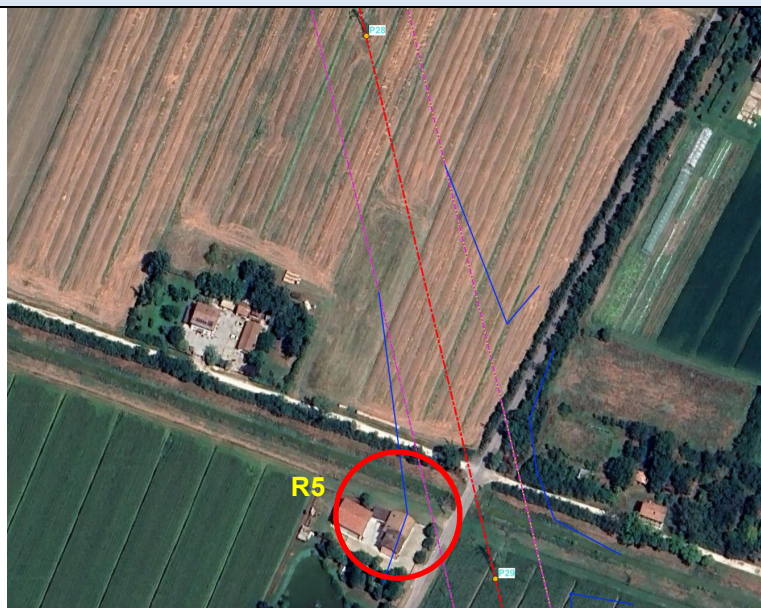
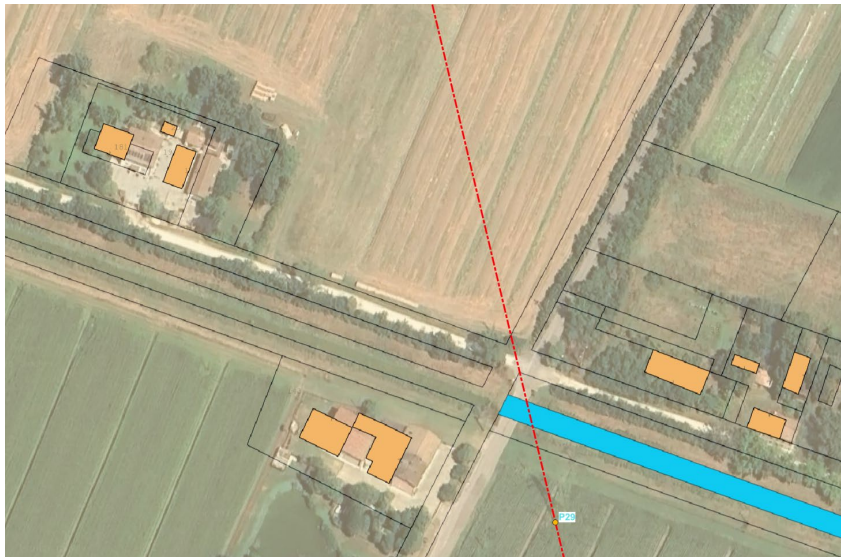
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Dalle simulazioni effettuate si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R5	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	028 ÷ 029
COMUNE	(MO)	Camposanto
PARTICELLE	Foglio	2
	Particella	143
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03-C02	Abitazione di tipo economico, ricovero veicoli
COORDINATE	WGS84	44°48' 49,71"N 11°6' 15,33"E
QUOTA	m slm	16
DISTANZA ASSE LINEA	m	33
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,03

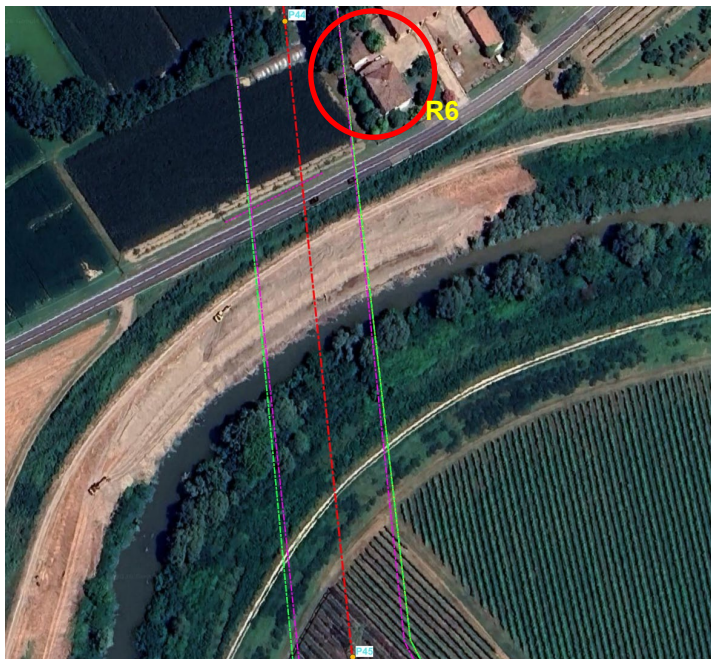
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

NOTE: Dalle simulazioni effettuate non si riscontra un superamento del valore di qualità; NON si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R6	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	044 ÷ 045
COMUNE	(MO)	Camposanto
PARTICELLE	Foglio	24
	Particella	111
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A07-C06-D10	Abitazioni in villini, ricovero veicoli e fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°46' 44,35"N 11°6' 41,39"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	20
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,2

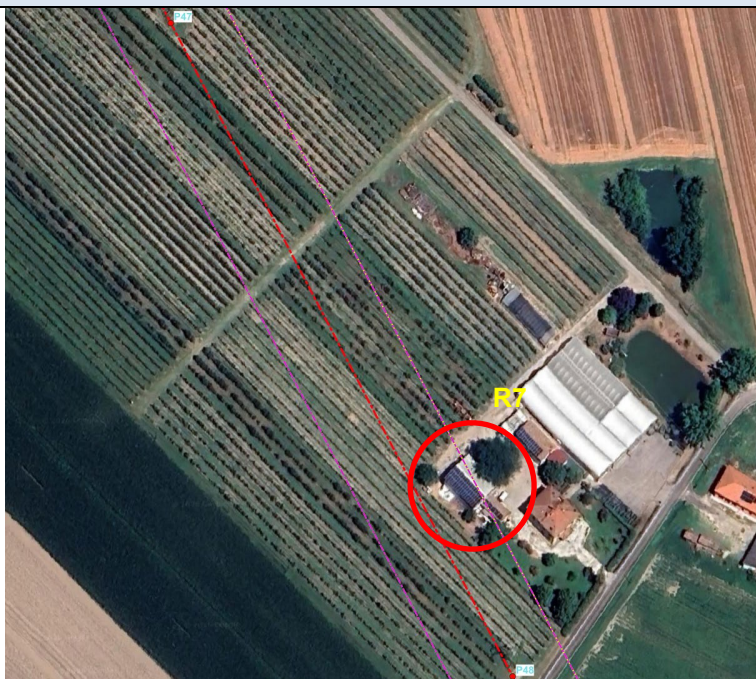
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

NOTE: Dalle simulazioni effettuate non si riscontra un superamento del valore di qualità; NON si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R7	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	047 ÷ 048
COMUNE	(MO)	Ravarino
PARTICELLE	Foglio	2
	Particella	97
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A02-D10	Abitazioni di tipo civile e fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°46' 14,50"N 11°6' 56,93"E
QUOTA	m slm	18
DISTANZA ASSE LINEA	m	15
INDUZIONE MAGNETICA	μT	4,2

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Dalle simulazioni effettuate si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

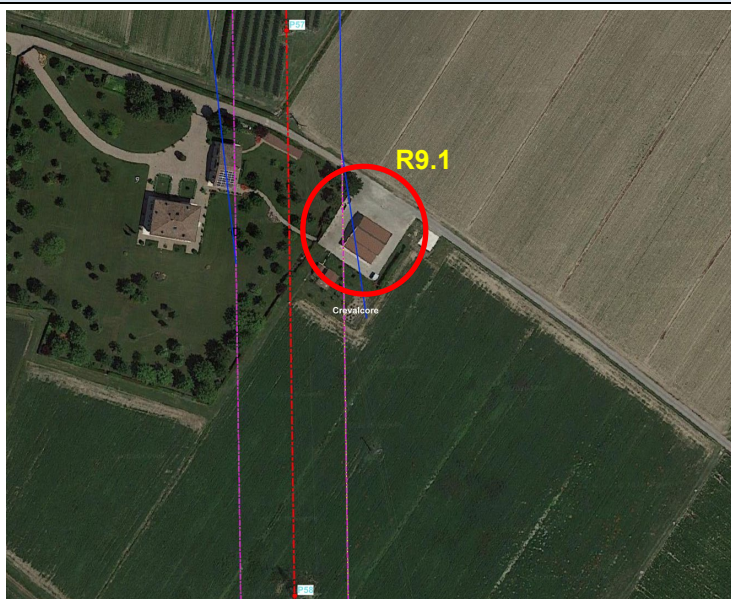
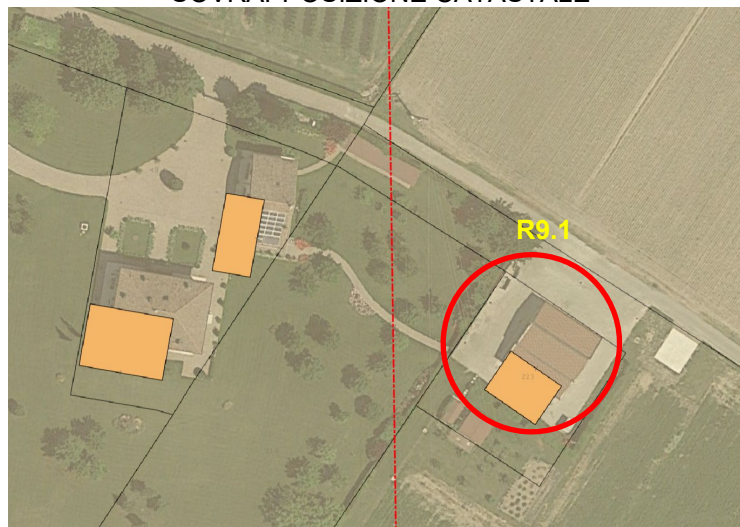
ID	R8	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	052 ÷ 054
COMUNE	(MO)	Ravarino
PARTICELLE	Foglio	6
	Particella	244
DESTINAZIONE E D'USO CATASTALE	D10	Fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°45' 30,91"N 11°7' 27,17"E
QUOTA	m slm	19
DISTANZA ASSE LINEA	m	9
INDUZIONE MAGNETICA	μT	4,96

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Nella campata compresa tra i sostegni P52-P53 si riscontra un'interferenza con una linea MT. Dalle simulazioni effettuate, considerando anche l'effetto cumulativo con suddetta linea, si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.

**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R9.1	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	057 ÷ 058
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	51
	Particella	223
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°44' 57,57"N 11°7' 35,66"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	21
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3,52

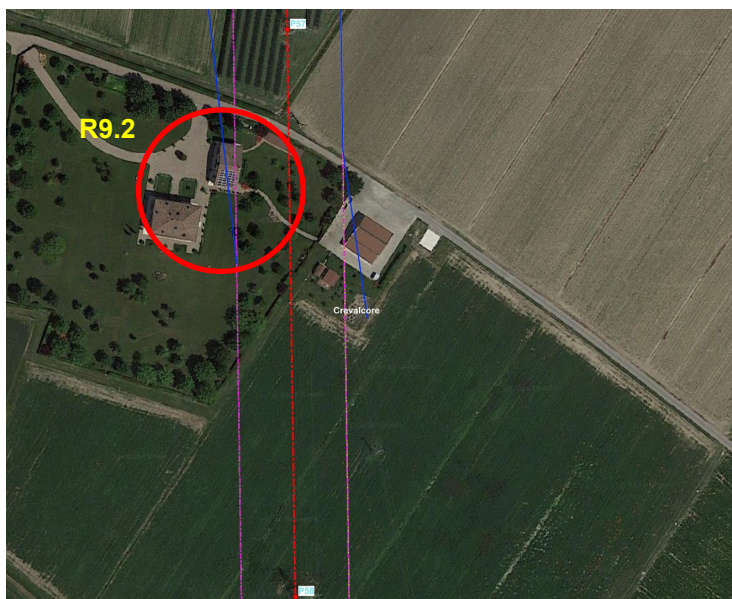
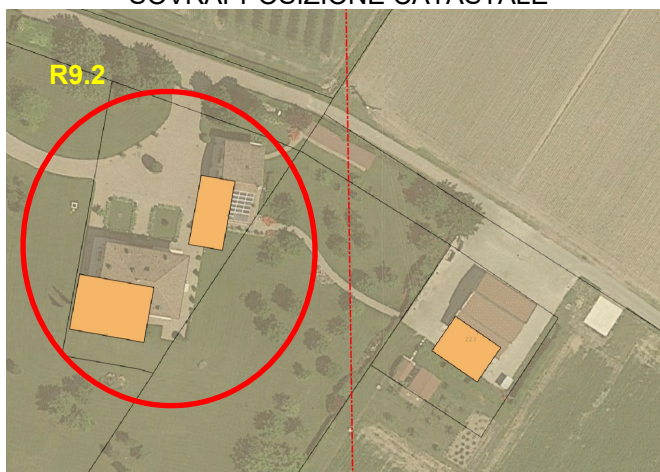
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Nella campata compresa tra i sostegni P57-P58 si rileva un'interferenza con una linea MT. Dalle simulazioni effettuate, che tengono conto anche dell'effetto cumulativo con la suddetta linea, emerge un superamento del valore di qualità. Si precisa che il fabbricato in esame è classificato catastalmente nella categoria D10, per la quale si ritiene non sia prevista la permanenza continuativa di persone per un periodo superiore a 4 ore/giorno. Per tale motivo, si è ipotizzato un intervento di modifica della tratta di linea, finalizzato ad una ulteriore riduzione del campo magnetico in prossimità del ricettore IDR9.2 (si veda scheda successiva).



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

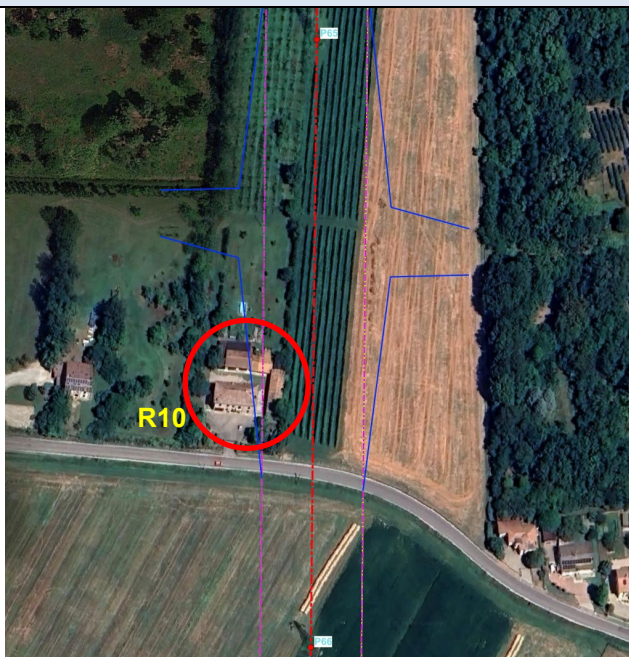
ID	R9.2	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	057 ÷ 058
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	51
	Particella	49
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A07-D10	Abitazioni in villini e fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°44' 58,56"N 11°7' 33,04"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	21
INDUZIONE MAGNETICA	μT	2,39

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Dalle simulazioni effettuate, considerando anche l'effetto cumulativo con la linea MT, si riscontra il rispetto dei limiti di qualità; come specificato nella scheda precedente, si è ipotizzata la modifica di tale tratta per ridurre ulteriormente il valore del campo magnetico in prossimità del ricettore in oggetto. In particolare, si si prevede l'inserimento di due nuovi sostegni di altezza utile pari, rispettivamente, a 27 m e 24 m in sostituzione dei sostegni esistenti di altezza pari a 18,26 m e 21,18 m. Tale intervento comporta un conseguente incremento del franco minimo da terra.

**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R10	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	065 ÷ 066
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	66
	Particella	362
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03-C02-C06	Abitazione di tipo economico, ricovero veicoli, magazzini
COORDINATE	WGS84	44°43' 50,22"N 11°7' 30,54"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	13
INDUZIONE MAGNETICA	μT	4.99

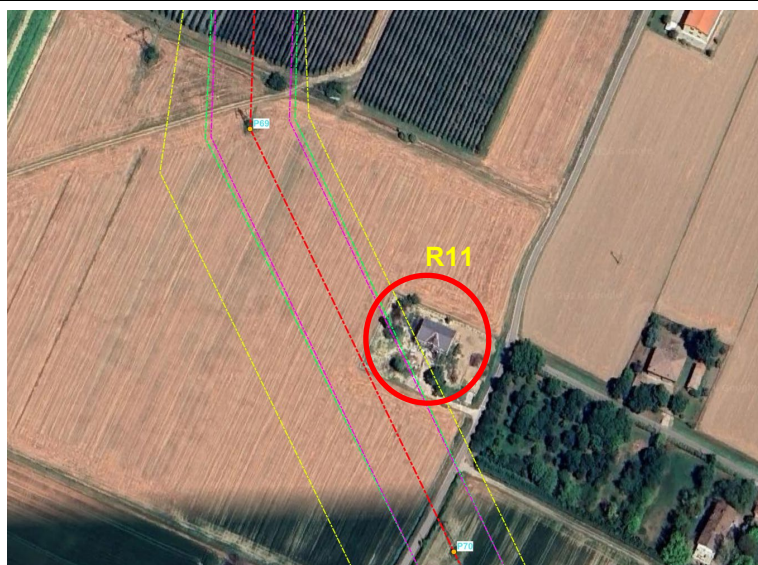
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Nella campata compresa tra i sostegni P65-P66 si riscontra un'interferenza con una linea MT. Dalle simulazioni effettuate, considerando anche l'effetto cumulativo con suddetta linea, si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R11	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	069 ÷ 070
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	79
	Particella	56
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03-C06	Abitazione di tipo economico, magazzini
COORDINATE	WGS84	44°43' 18,70"N 11°7' 33,90"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	21
INDUZIONE MAGNETICA	μT	2,47

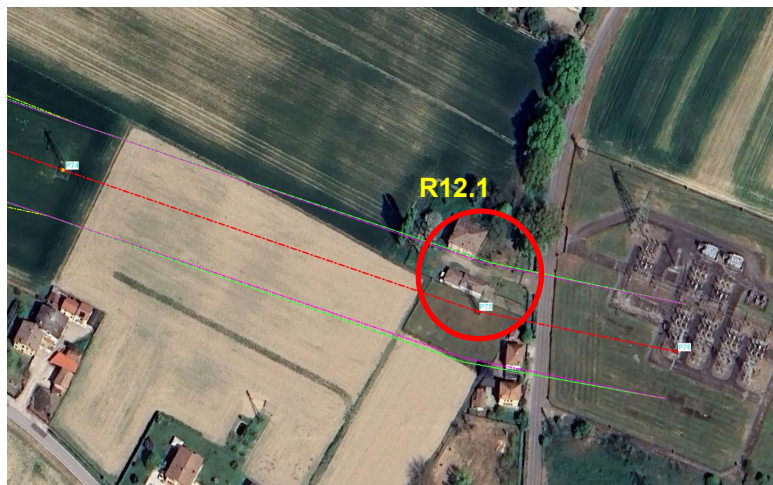
**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

NOTE: Dalle simulazioni effettuate, considerando anche il parallelismo con la linea 220 kV "Ostiglia-Colunga", non si riscontra un superamento del valore di qualità; NON si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R12.1	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	074 ÷ 076
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	92
	Particella	57
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03-C02	Abitazione di tipo economico, ricovero veicoli
COORDINATE	WGS84	44°42' 50,64"N 11°8' 4,78"E
QUOTA	m slm	19
DISTANZA ASSE LINEA	m	5
INDUZIONE MAGNETICA	μT	7,3

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Dalle simulazioni effettuate si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea. In particolare, il tratto compreso tra il sostegno P74 e lo stallo linea all'interno della CP Crevalcore sarà realizzato mediante cavidotto interrato.




**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R12.2	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	074 ÷ 076
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	92
	Particella	118
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03-C06	Abitazione di tipo economico, magazzini
COORDINATE	WGS84	44°42' 49,55"N 11°8' 5,56"E
QUOTA	m slm	19
DISTANZA ASSE LINEA	m	14
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3,66

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Dalle simulazioni effettuate si riscontra un superamento del valore di qualità; si ritiene, quindi, necessaria la modifica della tratta di linea. In particolare, il tratto compreso tra il sostegno P74 e lo stallo linea all'interno della CP Crevalcore sarà realizzato mediante cavidotto interrato.

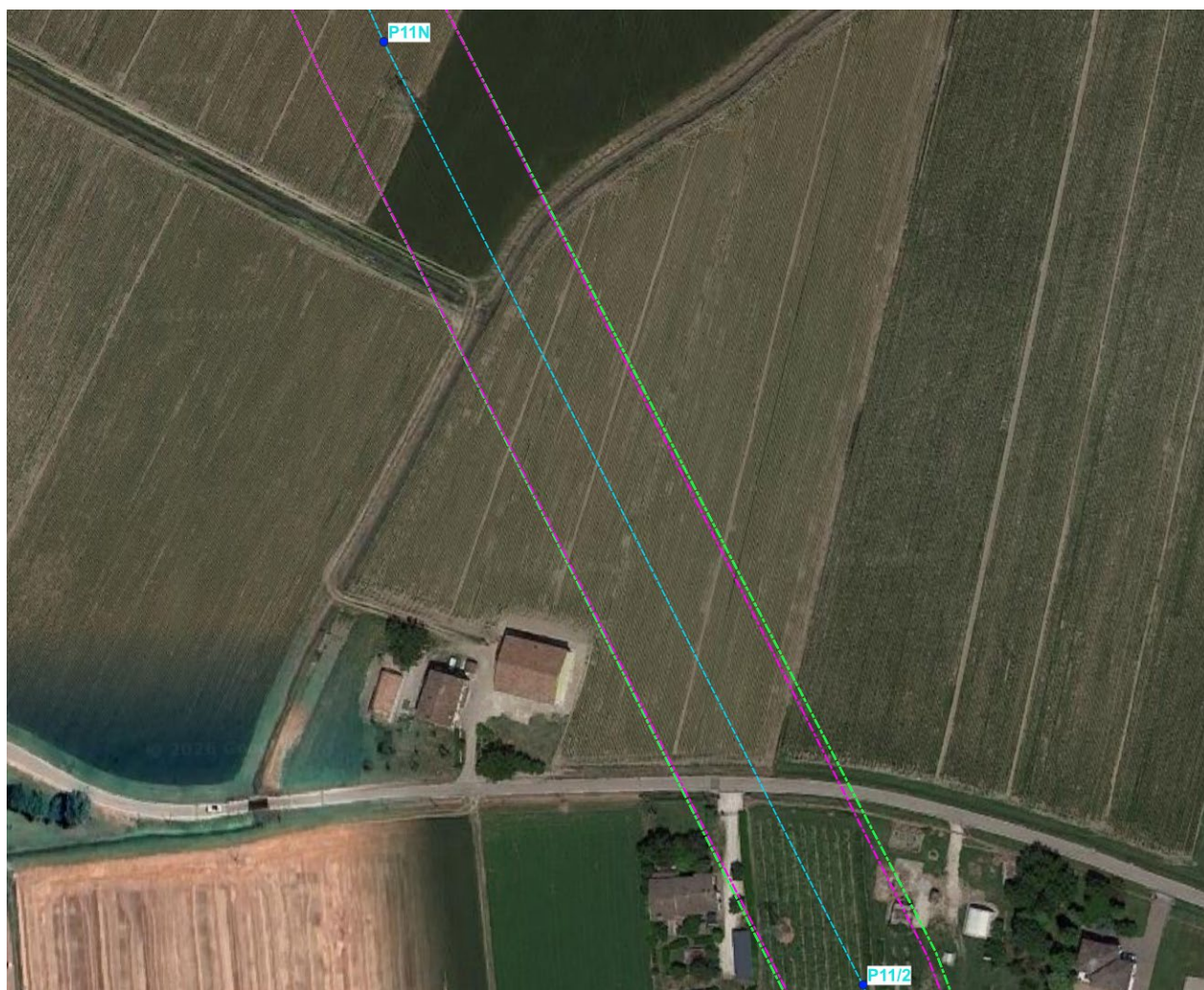
 Reggio nell'Emilia - ITALIA	Progetto <b>LINEA 132 kV MIRANDOLA CP-CREVALCORE CP.</b> <b>Relazione campi elettrici e magnetici</b>	Documento e revisione  <b>468704A</b>  <b>56</b>
	<p><b>6.2 Verifica modifiche al tracciato dell'elettrodotto</b></p> <p>Individuati i punti in cui si ritiene necessario una modifica dell'elettrodotto si è proceduto a riprogettare la linea tenendo in considerazione sia i franchi minimi da terra che le distanze dai ricettori sensibili.</p> <p><b>6.2.1 Analisi interferenze</b></p> <p>Si è proceduto pertanto a sovrapporre su ortofoto, il tracciato della linea in progetto con le rispettive DPA come precedentemente calcolate. Dalla sovrapposizione tra DPA, ortofoto e catasto sono stati individuati i ricettori che potevano presentare un superamento del valore di qualità in seguito alla sostituzione dei conduttori e al nuovo tracciato in seguito alla realizzazione di nuovi sostegni.</p> <p>Inoltre, sono stati valutati gli incrementi di DPA dovuti a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferenze e parallelismi con linee AT esistenti;</li> <li>• Interferenze con linee MT esistenti;</li> <li>• Cambi di direzione sul piano orizzontale.</li> </ul> <p>In particolare, per quanto riguarda le interferenze con linee MT esistenti si è proceduto con la valutazione dell'incremento delle DPA, solo in presenza di ricettori sensibili in prossimità dell'intersezione tra le linee.</p> <p>Per la determinazione delle fasce di rispetto per l'elettrodotto in progetto in caso di interferenze con altri elettrodotti esistenti e di cambi di direzione sul piano orizzontale si è considerato quanto definito nell'allegato "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" al Decreto 29 maggio 2008 supplemento ordinario n.160 alla Gazzetta ufficiale 5 luglio 2008 n.156.</p> <p><b>6.2.2 Analisi dei ricettori</b></p> <p>Nelle figure successive si riportano in colore verde gli incrementi delle DPA dovuti ai cambi di direzione, in colore giallo quelli dovuti al parallelismo con le due linee AT esistenti, in colore blu quelli dovuti all'interferenza con linee MT; con colore magenta vengono rappresentate le DPA in condizione indisturbata come precedentemente calcolato.</p> <p>Si precisa che il tratto di elettrodotto tra il sostegno P75N (palo gatto di transizione aereo-cavo) e lo stallo linea all'interno della Cabina Primaria 132 kV di Crevalcore sarà realizzato mediante cavidotto interrato. Questa scelta è necessaria in quanto un eventuale linea aerea non sarebbe compatibile con la verifica dei campi elettromagnetici, visti i numerosi ricettori presenti tra il palo 75 esistente e il palo gatto in CP 132 kV Crevalcore (vedi scheda ricettore ID R12.1 e ID R12.2). In particolare, come si evince dalla Figura 31 non vi sono ricettori sensibili all'interno delle DPA relative al cavidotto in progetto.</p> <p>Infine, riportiamo i ricettori individuati lungo le diverse tratte.</p>	





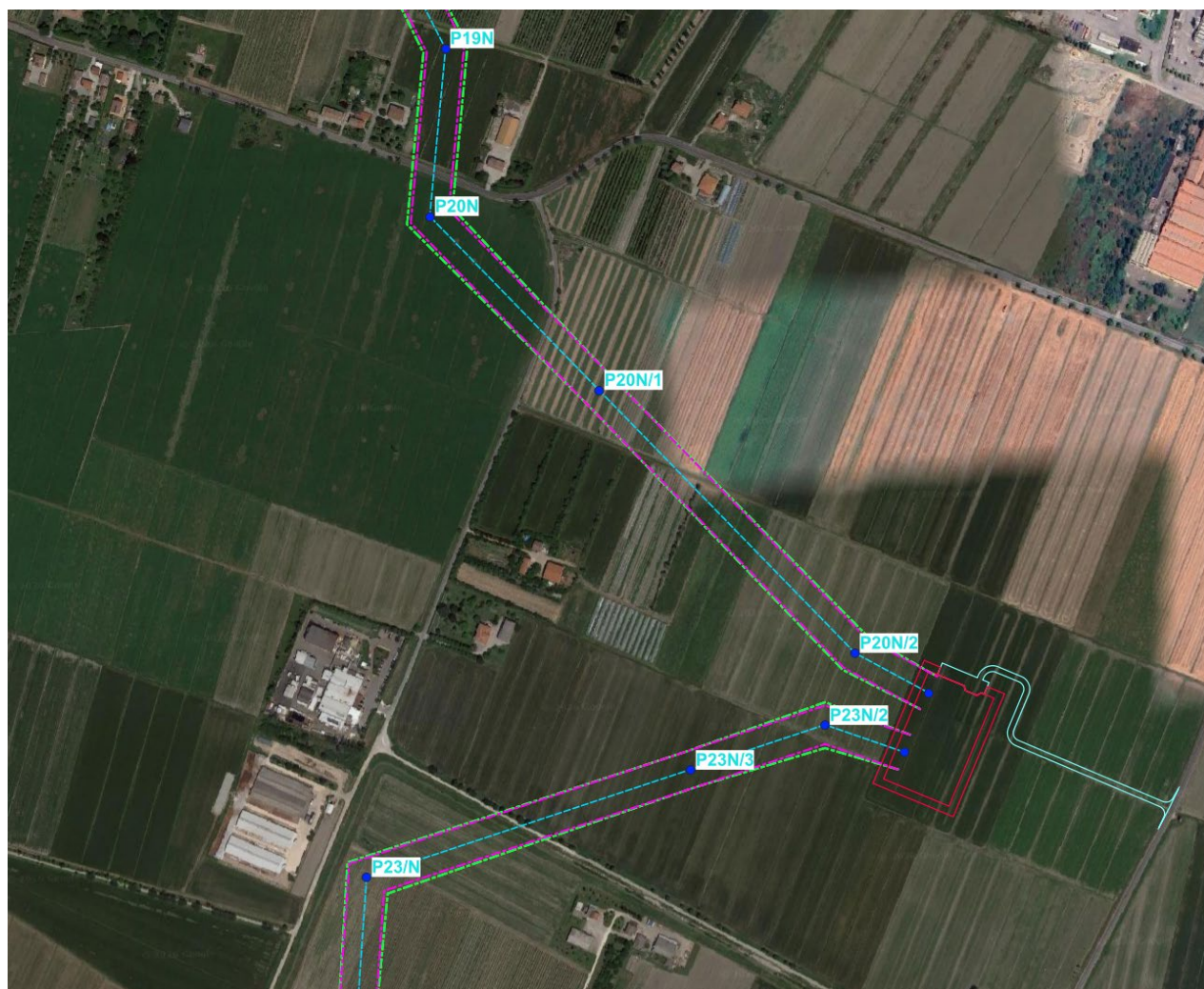


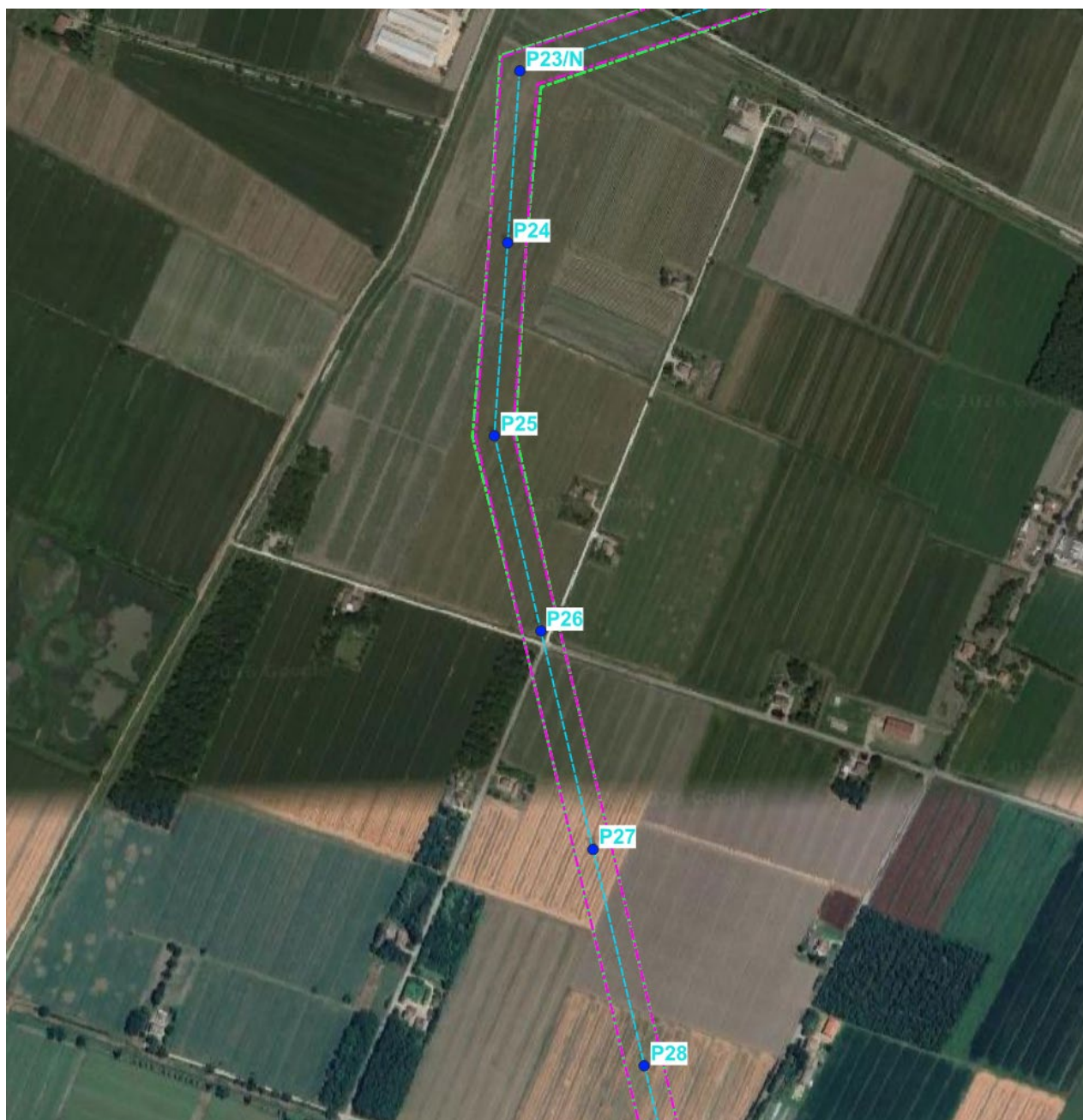




























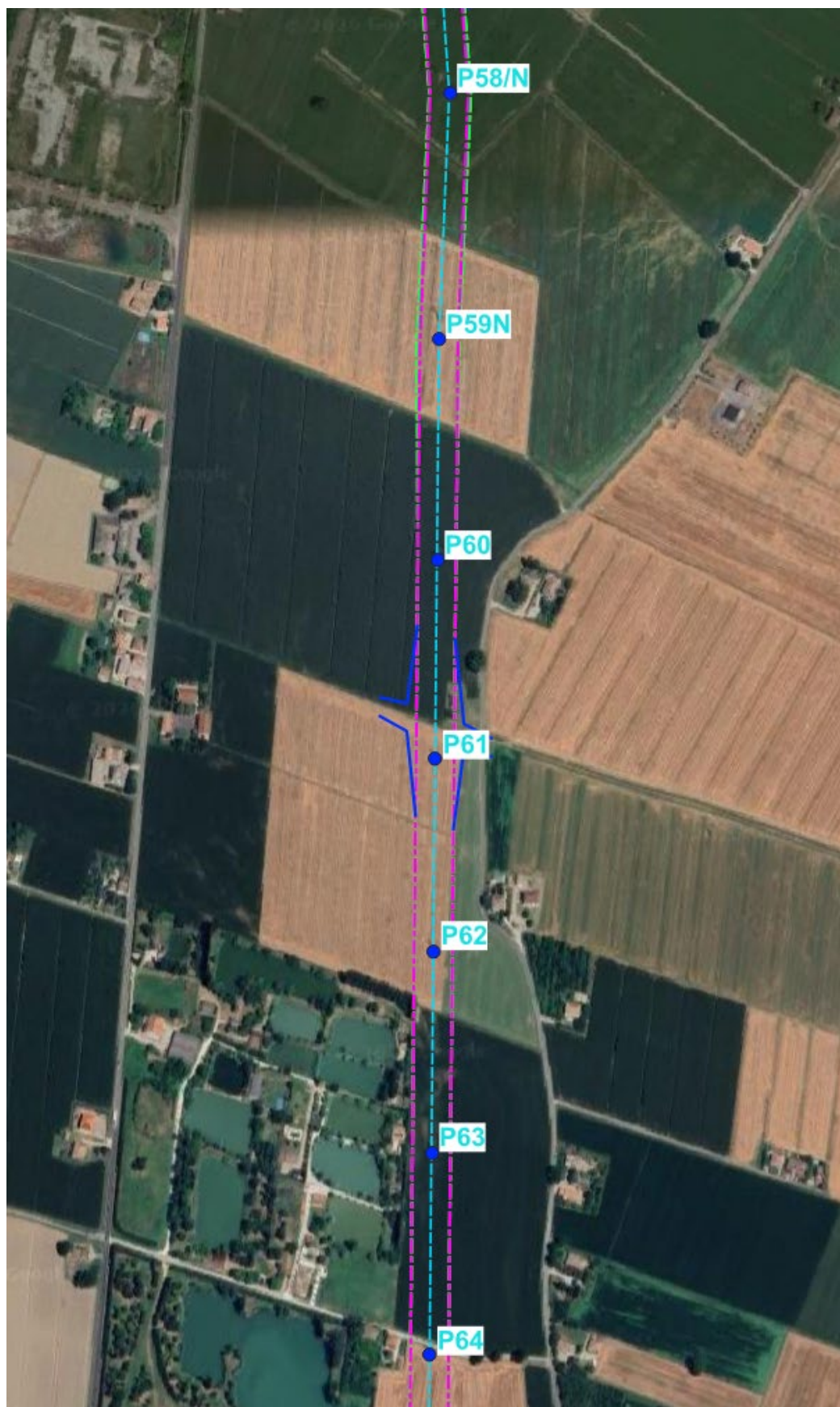












Figura 31

### 6.2.3 Schede ricettori sensibili

Una volta definite le caratteristiche dei tratti interessati si è proceduto alla verifica puntuale del rispetto del valore di qualità nei ricettori individuati. Nella tabella riportiamo per ogni ricettore l'immagine della tratta modificata con in azzurro i tralicci in progetto. Le altezze dei sostegni sono visibili nei documenti 468772\_Profili elettrodotto e 468773\_Profili elettrodotto.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R1	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	001 ÷ 002
COMUNE	(MO)	Mirandola
PARTICELLE	Foglio	138
	Particella	155
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A02-C06-C02	Abitazioni di tipo civile, ricovero veicoli, magazzini
COORDINATE	WGS84	44°52'22.62"N 11°4'50,37"E
QUOTA	m slm	19,4
DISTANZA ASSE LINEA	m	28
INDUZIONE MAGNETICA	μT	4,47


**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**


Si evidenzia che il superamento del valore di qualità dell'induzione magnetica in prossimità del ricettore R1 è riconducibile esclusivamente alla linea 132 kV "Finale Emilia-Mirandola", collocata a circa 8 m dal ricettore stesso.

Il solo ripotenziamento della linea 132 kV "Mirandola CP-Crevalcore CP" che nel tratto in esame consiste nella sostituzione del conduttore e nella modifica del tracciato con l'inserimento del nuovo sostegno P1/2, non comporta un incremento significativo dei livelli attuali di campo magnetico.

In particolare, considerando la sola campata compresa tra i sostegni P1-P1/2-P2 si ottiene, al ricettore R1, un valore del campo di induzione magnetica pari a **0,75  $\mu$ T**, valore significativamente inferiore al limite di qualità previsto dalla normativa vigente.

Considerando, invece, la sola campata compresa tra i sostegni P1-P2 relativi alla linea 132 kV "Finale Emilia-Mirandola" si ottiene, al ricettore R1, un valore del campo di induzione magnetica pari a **4,3  $\mu$ T**.

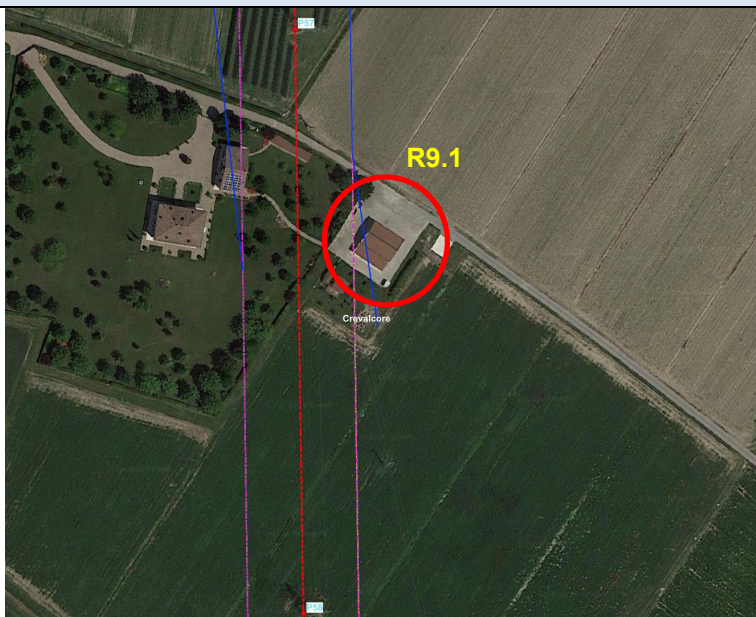
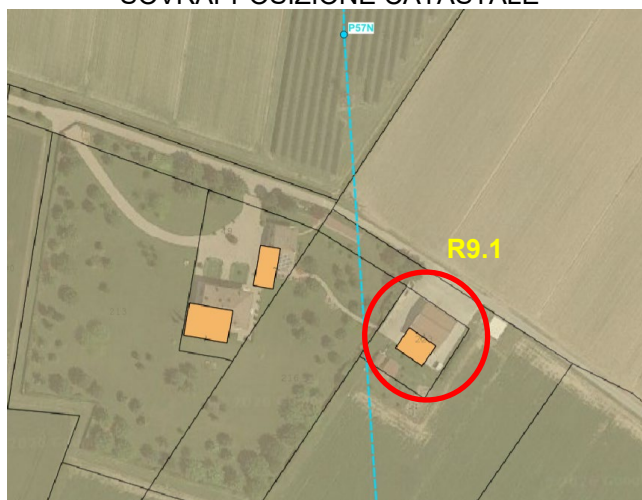
È evidente come l'intervento in progetto non incida sul rispetto del limite di qualità previsto dalla normativa vigente.

Si rileva, inoltre, che il fabbricato più prossimo alla linea in progetto sia classificato catastalmente come C02; si ritiene che tale destinazione d'uso non preveda la permanenza continuativa di persone per un periodo superiore a 4 ore/giorno.



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

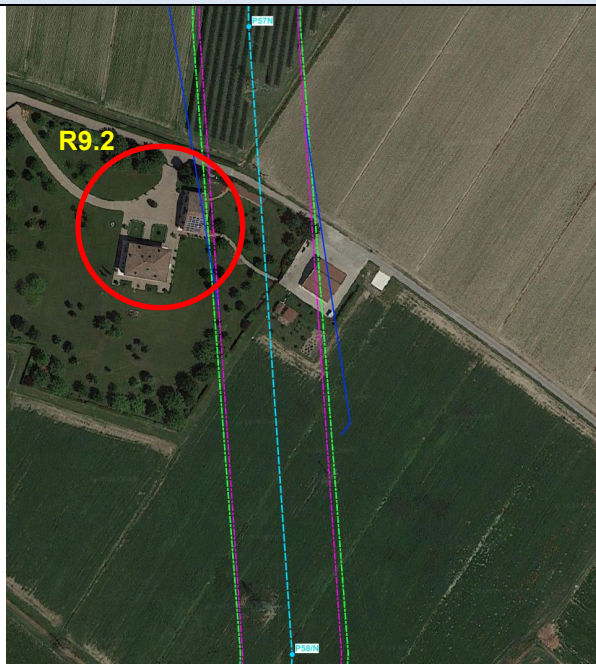
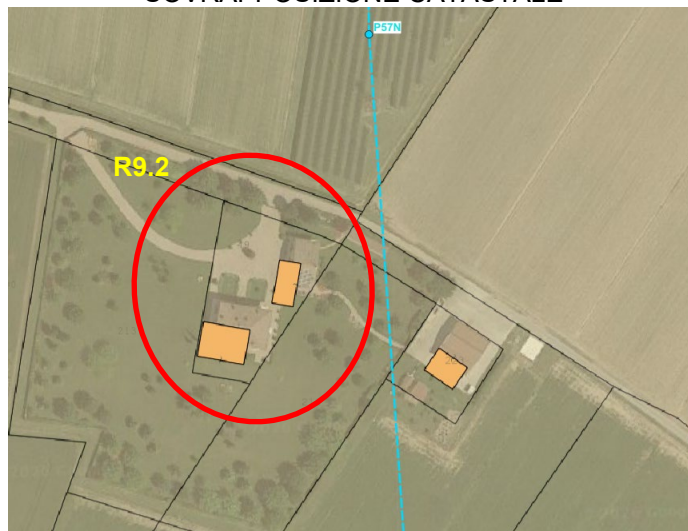
ID	R9.1	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	057N ÷ 058N
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	51
	Particella	223
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°44' 57,57"N 11°7' 35,66"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	15
INDUZIONE MAGNETICA	μT	4,03

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE**

**NOTE:** Nella campata compresa tra i sostegni P57-P58 si riscontra un'interferenza con una linea MT. Dalle simulazioni effettuate, considerando anche l'effetto cumulativo con la suddetta linea, si riscontra un superamento del valore di qualità. Si precisa che il fabbricato in oggetto è classificato catastalmente come fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura; si ritiene, quindi, che non sia prevista la permanenza continuativa di persone per un periodo superiore a 4 ore/giorno.

**CARATTERISTICHE RICETTORE**

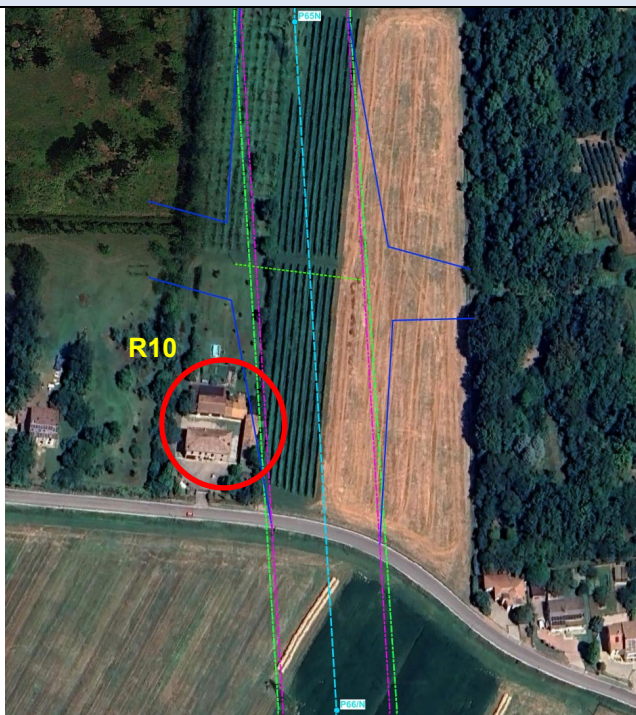
ID	R9.2	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	057N ÷ 058N
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	51
	Particella	49
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A07-D10	Abitazioni in villini e fabbricato rurale con fini strumentali all'agricoltura
COORDINATE	WGS84	44°44' 58,56"N 11°7' 33,04"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	25
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,6

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE****NOTE: Dalle simulazioni effettuate si riscontra il rispetto del valore di qualità.**



**CARATTERISTICHE RICETTORE**

ID	R10	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n.	065N ÷ 066N
COMUNE	(BO)	Crevalcore
PARTICELLE	Foglio	66
	Particella	362
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03-C02-C06	Abitazione di tipo economico, ricovero veicoli, magazzini
COORDINATE	WGS84	44°43' 50,22"N 11°7' 30,54"E
QUOTA	m slm	20
DISTANZA ASSE LINEA	m	25
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,63

**SOVRAPPOSIZIONE CATASTALE****NOTE: Dalle simulazioni effettuate si riscontra il rispetto del valore di qualità.**

## 7 CONCLUSIONI

Il DPCM 8 Luglio 2003 fissa i limiti di esposizione per la popolazione ai campi elettrici e magnetici generati da elettrodotti alla frequenza di rete (50Hz). Tali limiti sono pari a 100  $\mu\text{T}$ , 10  $\mu\text{T}$  e 3  $\mu\text{T}$  rispettivamente come limite di esposizione, valore di attenzione e obiettivo di qualità: gli ultimi due sono validi per esposizioni superiori alle 4 ore / giorno. In base alla definizione del DM del 29 Maggio 2008, occorre applicare la DPA alle stazioni elettriche, alle cabine primarie e secondarie e agli elettrodotti ad esse collegati.

Dalle simulazioni effettuate si è riscontrato che, in base alle richieste di Terna in riferimento alla corrente di transito nel periodo estivo, occorre applicare una DPA di **22 metri** dalla linea esistente 132 kV "Mirandola CP-Crevalcore CP". Dalle verifiche effettuata è emerso che, a seguito della sostituzione del solo conduttore, il valore di qualità di 3  $\mu\text{T}$  non è rispettato in 10 punti della linea stessa.

Sono state pertanto studiate alcune modifiche dei tralicci esistenti o del tracciato della linea che permettessero il rispetto di tale valore in tutti i ricettori individuati come sensibili.

In conclusione, dalle valutazioni effettuate si conferma che il tracciato della linea in progetto è stato studiato in modo da rispettare i limiti previsti dal DPCM 8 luglio 2003:

- il valore del **campo elettrico** è sempre inferiore al limite fissato in 5 kV/m;
- il valore del **campo di induzione magnetica** valutato in asse linea a terra è sempre inferiore al Limite di esposizione di 100  $\mu\text{T}$ .

I calcoli effettuati in base a quanto stabilito dal DM 29/05/2008 e dalle Linee Guida per l'applicazione del punto 5.1.3 dell'allegato al DM 29/05/2008, hanno permesso di determinare la ampiezza della Distanza di Prima Approssimazione pari rispettivamente a **22 metri** da applicare al nuovo elettrodotto.

Non sono presenti ricettori sensibili all'interno delle DPA.

Si precisa che il tratto di elettrodotto tra il sostegno P75N (palo gatto di transizione aereo-cavo) e lo stallo linea all'interno della Cabina Primaria 132 kV di Crevalcore sarà realizzato mediante cavidotto interrato. Questa scelta è necessaria in quanto un eventuale linea aerea non sarebbe compatibile con la verifica dei campi elettromagnetici, visti i numerosi ricettori presenti tra il palo 75 esistente e il palo gatto in CP 132 kV Crevalcore. I calcoli effettuati in base a quanto stabilito dal DM 29/05/2008 e dalle Linee Guida per l'applicazione del punto 5.1.3 dell'allegato al DM 29/05/2008, hanno permesso di determinare la ampiezza della Distanza di Prima Approssimazione pari a **3 metri** da applicare al tratto di cavidotto.

Non sono presenti ricettori sensibili all'interno delle DPA.



**Allegato 1: Documento di Validazione**



## Documento di Validazione

### Algoritmi di calcolo del software **MAGIC<sup>®</sup>** (**MAG**netic **I**nduction **C**alculation)

Revisione	Data	Elaborato	Approvato
05	11/01/2021	M.F.	S.G.
00 Emissione	07/01/2014	D.B.	M.M.



## Sommario

Premessa.....	3
1 Verifica del modulo bidimensionale .....	3
1.1 Confronto con CEI 211-04.....	3
1.2 Confronto con codice CESI .....	4
2 Verifica del modulo tridimensionale.....	7
2.1 Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato .....	7
2.2 Validazione sperimentale del modulo tridimensionale .....	8
3 Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza .....	9
3.1 Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method).....	9
3.2 Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali .....	12
Conclusioni .....	13

## Premessa

Il presente documento riporta le verifiche funzionali del software MAGIC® attraverso il confronto con software già esistenti e di comprovata validità e con rilievi sperimentali.

Il confronto si sviluppa in tre parti:

- 1) verifica del modulo bidimensionale
- 2) verifica del modulo tridimensionale
- 3) verifica del modulo tridimensionale di configurazioni impiantistiche con particolare riferimento al trasformatore di potenza

Le principali caratteristiche del software MAGIC® sono:

- a) software bi-tridimensionale
- b) integrazione della formula di Biot-Savart
- c) dominio infinito (nessuna condizione al contorno necessaria)
- d) trascurati effetti di mitigazione del campo dovuto a schermatura di fatto (analisi conservativa)
- e) sovrapposizione degli effetti
- f) analisi in regime simbolico (calcolo dei moduli e delle fasi)

Il software è stato sviluppato da tecnici specializzati con la collaborazione e la supervisione di docenti e ricercatori del Politecnico di Torino – Dipartimento Energia (prof. Aldo Canova e Ing. Luca Giaccone).

## 1 Verifica del modulo bidimensionale

La verifica del modulo bidimensionale è stata condotta mediante confronto con la formulazione analitica, come indicato dalla CEI 211-04, e mediante confronto con un codice di calcolo sviluppato dal CESI.

### 1.1 Confronto con CEI 211-04

Una possibile validazione del programma utilizzato può essere effettuata confrontando il campo calcolato con il programma stesso e quello calcolato per via analitica, secondo la norma CEI 211-4 paragrafo 4.3, su di un caso in cui questa seconda procedura è applicabile in modo esatto. Tale caso si riferisce ad un sistema di conduttori rettilinei, paralleli e indefiniti.

Sotto queste ipotesi l'induzione magnetica  $\mathbf{B}$  è data dall'espressione:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{\bar{I}_k}{d_k} \bar{u}_l \times \bar{u}_r \quad (1)$$

in cui  $N$  è il numero dei conduttori,  $d$  è la distanza tra il conduttore  $k$ -esimo e il punto di calcolo; i vettori  $\bar{u}_l$  e  $\bar{u}_r$  indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale;  $\times$  indica il prodotto vettoriale.

In particolare è stato analizzato il caso, che verrà riportato successivamente, relativo ad una linea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310 A. Come si può osservare dalla figura 1, le due curve sono praticamente coincidenti.



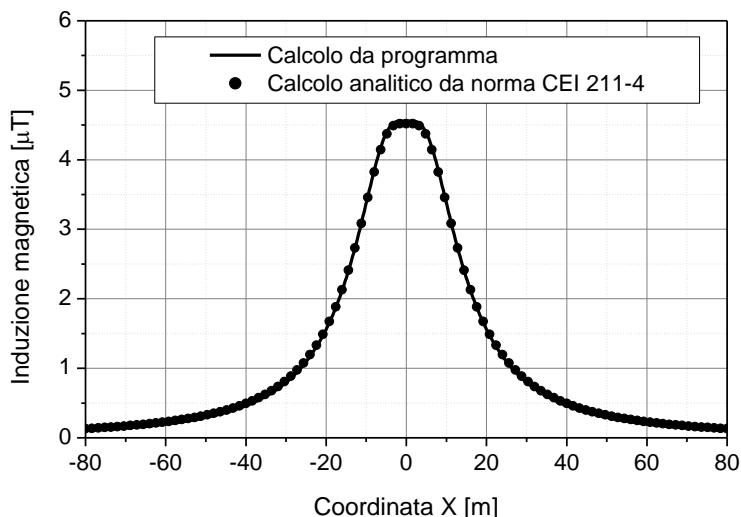


Figura 1: Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4

**Come si può osservare il profilo di induzione magnetica ottenuto dal software MAGIC® coincide esattamente con i punti calcolati mediante la formula analitica CEI 211-4.**

## 1.2 Confronto con codice CESI

L'analisi del campo magnetico prodotto è stata condotta su due terne trifase di cavi affiancate. Le sezioni di affiancamento riguardano (Fig. 2):

- Buca giunti (interasse 70 cm e livello di interramento pari a 1.25 m)
- Formazione piana (interasse 35 cm e livello di interramento pari a 1.25 m)
- Distanza tra le due terne: 4m

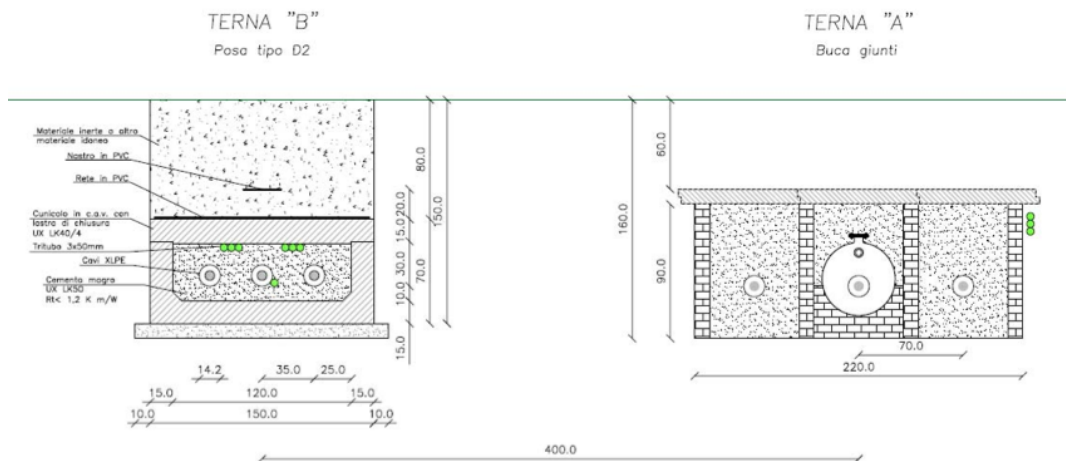


Figura 2: Affiancamento tra due linee interrate AT

Condizioni di carico e relazioni di fase:

- Terna B:  $I_{eff} = 1500$  A (RST)
- Terna A:  $I_{eff} = 1500$  A (TSR)

La configurazione analizzata mediante il codice sviluppato dal CESI porta alla distribuzione di campo riportata in Figura 3.

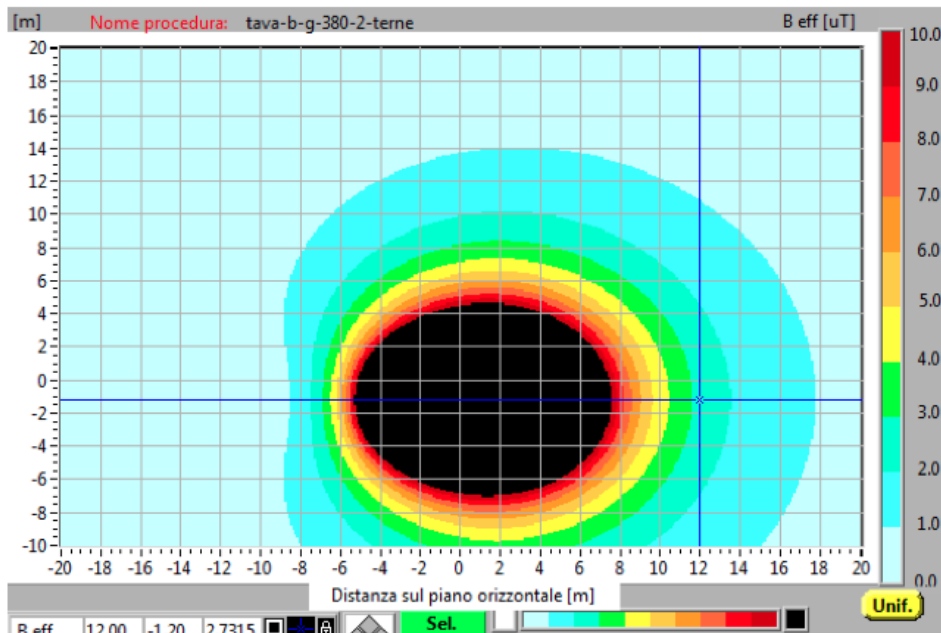
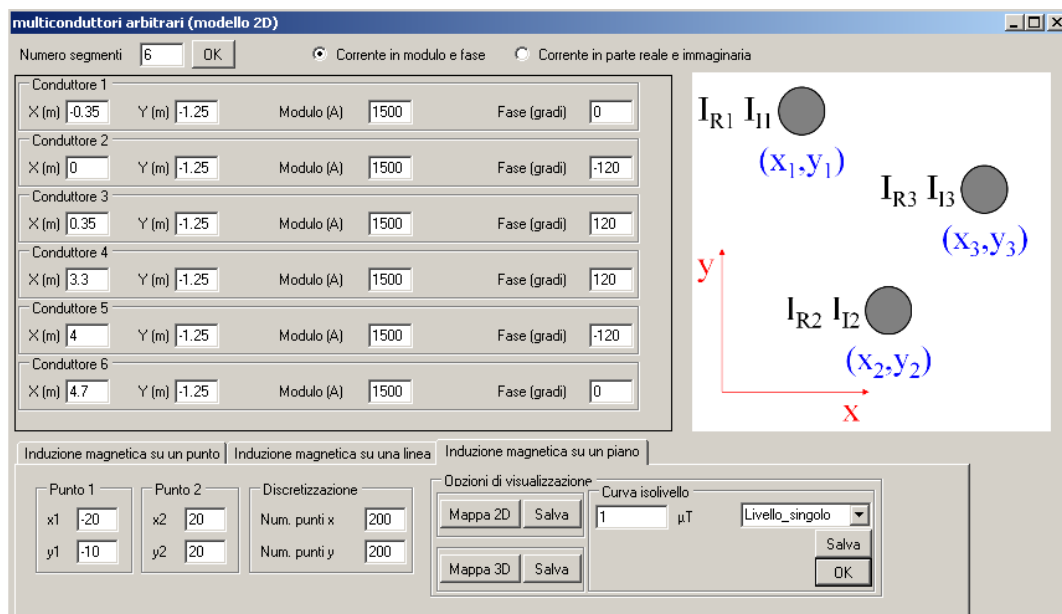


Figura 3: Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

La stessa configurazione è stata analizzata mediante il codice MAGIC® e può essere studiata attraverso due possibili funzioni messe a disposizione dal software:

- Terne parallele
- Multiconduttori 2D

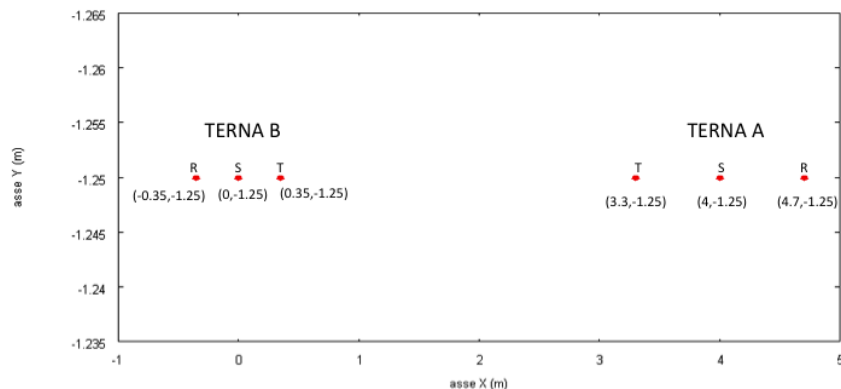
In questo documento verrà utilizzato il Multiconduttore 2D (Fig. 4) che permette di definire un sistema di N conduttori posizionati arbitrariamente in cui viene applicata una corrente arbitraria.





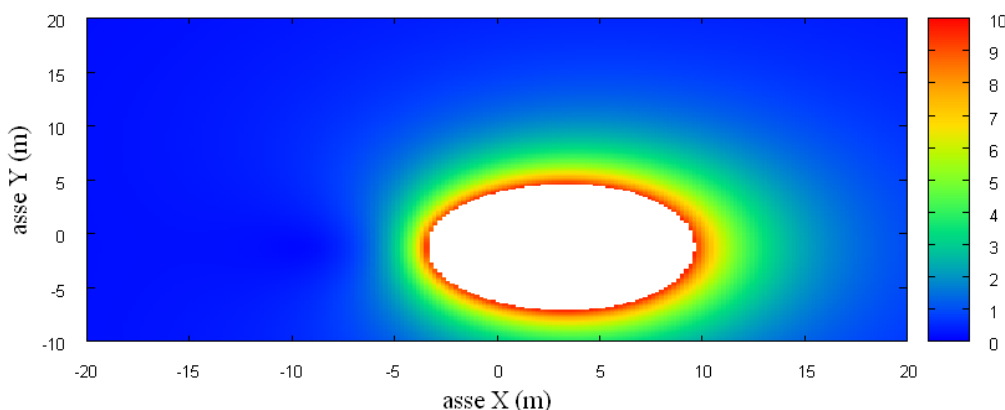
**Figura 4:**Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)””: dati definizione geometria e sorgenti

Nella seguente Fig. 5 è riportata la “geometria” del sistema che può essere visualizzata al termine dell’inserimento dati.



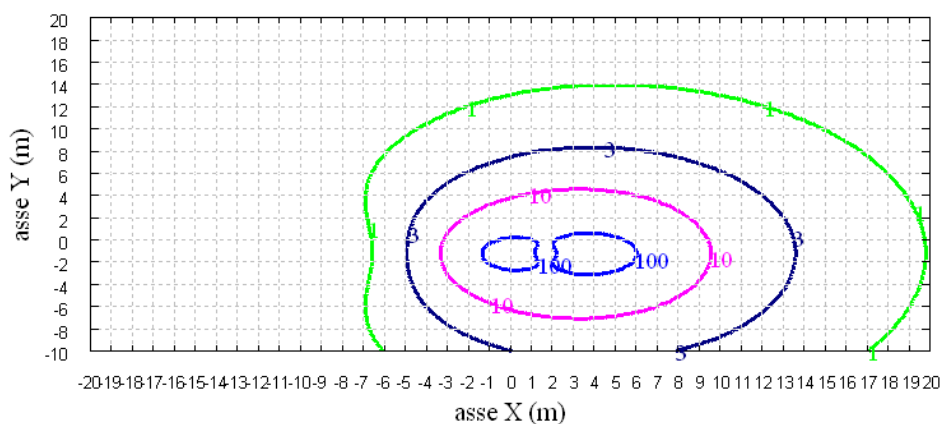
**Figura 5:** Geometria sorgenti

In Fig. 6 è riportata la mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):



**Fig. 6:** Mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

In Fig. 7 sono riportate le linee isolivello dell’induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) visualizzabili dal software MAGIC®.



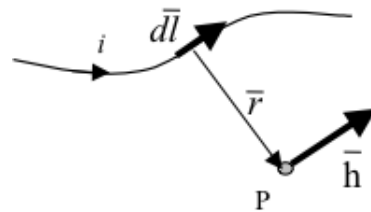
**Fig. 7** Linee isolivello dell’induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®.

**Come si può osservare le mappe cromatiche dei due modelli risultano essere in perfetto accordo.**

## 2 Verifica del modulo tridimensionale

Il modulo tridimensionale del MAGIC® si basa principalmente sull'integrazione della formula di Biot-Savart:

$$\vec{h} = \oint \frac{i d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$



Nelle configurazioni impiantistiche si ha spesso a che fare con fasci di cavi che il cui profilo copre percorsi approssimabili con buona precisione a delle spezzate tridimensionali. Ogni spezzata è quindi modellabile mediante una successione di segmenti opportunamente orientati nello spazio. Ne consegue che, sapendo valutare il campo di un segmento arbitrariamente orientato nello spazio, è possibile calcolare il campo prodotto da un fascio di cavi mediante la sovrapposizione degli effetti di tutti i segmenti costituenti il fascio.

### 2.1 Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato

Si consideri il segmento rappresentato nella Fig. 8.

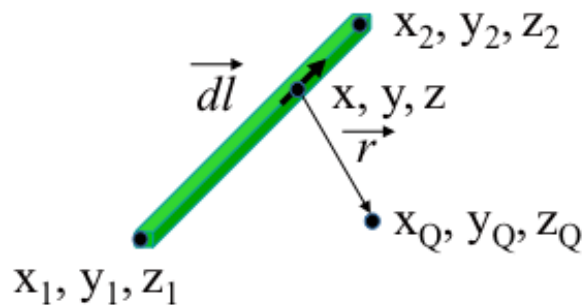


Fig. 8: Modello del segmento.

L'equazione del segmento in forma parametrica diventa la seguente:

$$\begin{cases} x = x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y = y_1 + (y_2 - y_1)t \\ z = z_1 + (z_2 - z_1)t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y = y_1 + (y_2 - y_1)t \\ z = z_1 + (z_2 - z_1)t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y = y_1 + (y_2 - y_1)t \\ z = z_1 + (z_2 - z_1)t \end{cases}$$

Si consideri inoltre che:

$$\vec{r} = (x_Q - x)\vec{a}_x + (y_Q - y)\vec{a}_y + (z_Q - z)\vec{a}_z$$

$$d\vec{l} = dx\vec{a}_x + dy\vec{a}_y + dz\vec{a}_z$$

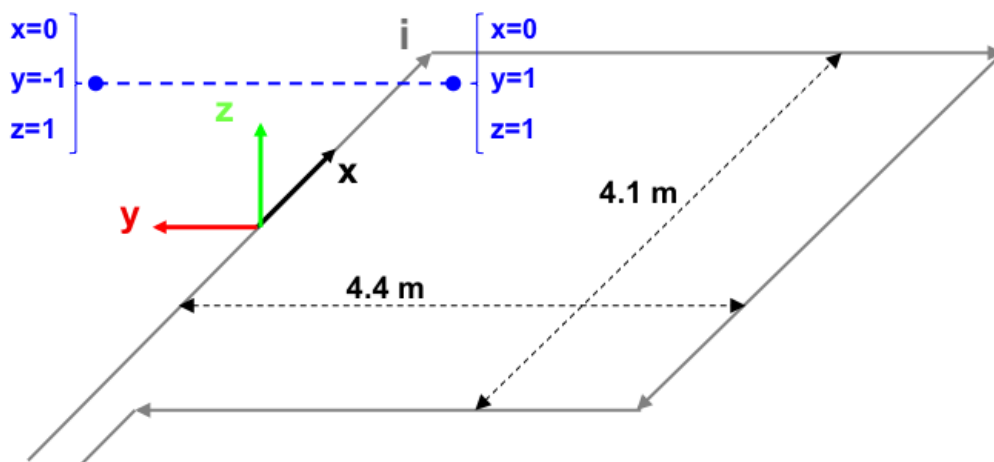
Facendo le opportune sostituzioni, la formula di Biot-Savart può essere risolta conducendo ad una formula chiusa per il calcolo delle tre componenti di campo  $H_x$ ,  $H_y$  e  $H_z$  (ovvero  $B_x$ ,  $B_y$  e  $B_z$ ). L'integrazione, sebbene sia macchinosa e porti ad espressioni analitiche poco compatte, può essere semplicemente risolta mediante l'utilizzo di un processore simbolico. Per tutti i dettagli circa l'integrazione si consideri la seguente referenza:

Canova A.; F. Freschi; M. Repetto; M. Tartaglia, (2005), *Description of Power Lines by Equivalent Source System*. In: COMPEL, vol. 24, pp. 893-905. - ISSN 0332-1649



## 2.2 Validazione sperimentale del modulo tridimensionale

In Fig. 9 viene rappresentata una spira costituita da 4 conduttori rettilinei che ben rappresenta una sorgente di tipo tridimensionale.



**Fig. 9: Schema di spira quadrata.**

Nella stessa immagine viene rappresentata una linea di confronto con le seguenti caratteristiche:

- È posta a 1 m da terra  $\rightarrow z = \text{costante} = 1\text{ m}$
- Si estenda lungo l'asse  $y \rightarrow x = \text{costante} = 0\text{ m}$
- E' lunga due metri:  $\rightarrow y \text{ minimo} = -1\text{ m}$ ,  $y \text{ massimo} = 1\text{ m}$

Su tale linea di confronto sono state eseguite delle misure sperimentali mediante sistema composto da sonda PMM-EHP50 C le cui caratteristiche sono riportate nel seguente elenco:

- Range di frequenze 5Hz – 100 kHz
- Range di campo elettrico 0.01 V/m – 100 kV/m
- Range di campo magnetico 1 nT – 10 mT
- Risoluzione 0.01 V/m - 1 nT
- Tempo di campionamento 30, 60 sec
- Massima acquisizione 1600 ore con acquisizione ogni 60 sec.
- SPAN 100, 200, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz

Viene infine eseguito il confronto tra misure sperimentali e calcolo eseguito mediante software MAGIC®. I risultati di confronto sono riassunti nella seguente figura.

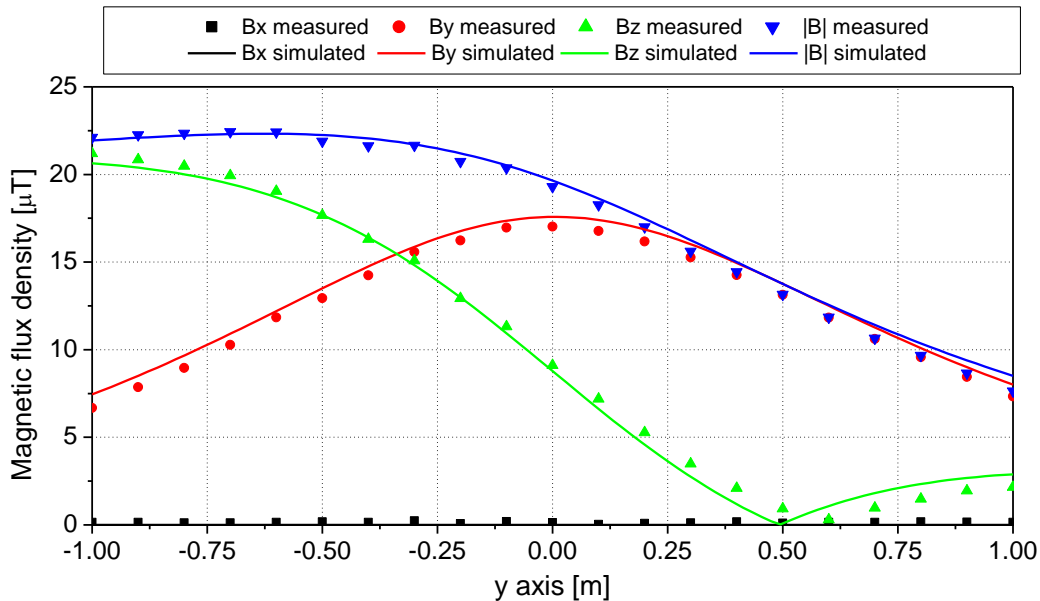


Fig. 10: Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

***Si dimostra quindi che le misure sperimentali sono in perfetto accordo con il modello implementato nel software MAGIC®.***

### 3 Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza

In questa sezione vengono riportati i principali risultati ottenuti utilizzando il software MAGIC® nella simulazione dei campi generati da un trasformatore in resina (il trasformatore in olio rappresenta una situazione semplificata rispetto a quello in resina).

La validazione è condotta in due step:

- Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)
- Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali

Maggiore dettaglio sui confronti sono riportati nella seguente referenza:

A. Canova, L. Giaccone, M. Manca, R. Turri, P. Casagrande, “Simplified power transformer models for environmental magnetic impact analysis”, 2° Int. Conf. on EMF-ELF, Paris, 24-25 Marzo 2011.

#### 3.1 Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)

MAGIC® propone due diversi modelli per il trasformatore: il primo di tipo semplificato e valido a partire da circa 0.5-1m dal trasformatore, il secondo più rigoroso valido anche a piccole distanze dal trasformatore. Nel seguito i due modelli verranno indicati come Modello 1 e Modello 2.

Un primo confronto tra i due modelli è stato effettuato con un codice agli elementi finiti (FEMM) di tipo assialsimmetrico. In Figura 11 sono riportate le principali dimensioni del caso analizzato: avvolgimento primario e secondario di un trasformatore di 630 kVA in resina e l'indicazione delle linee di calcolo.

Nei calcoli che seguono i due avvolgimenti sono caratterizzati dalle stesse amperspire in opposizione ( $N1 \cdot I1 = N2 \cdot I2$ ) e verranno considerate, come sorgenti, le correnti nominali.



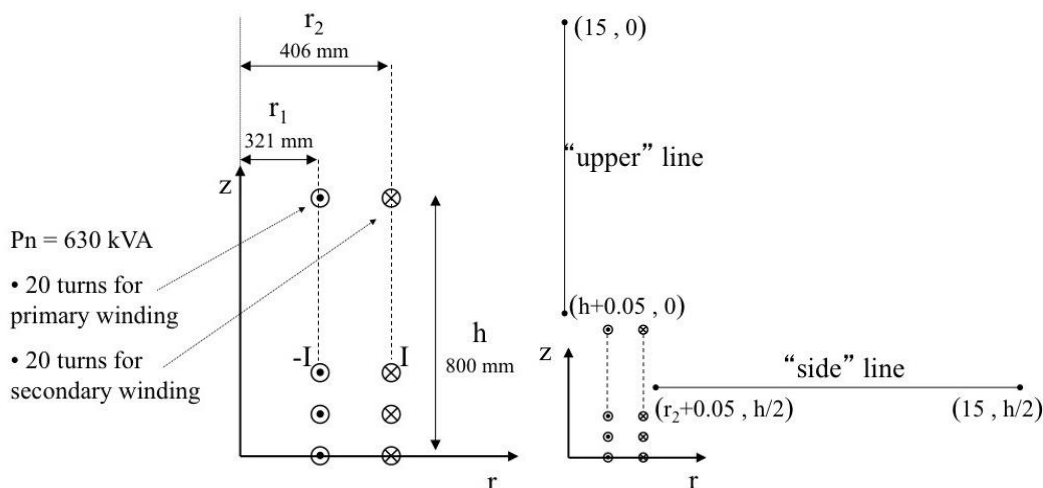


Fig. 11. Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

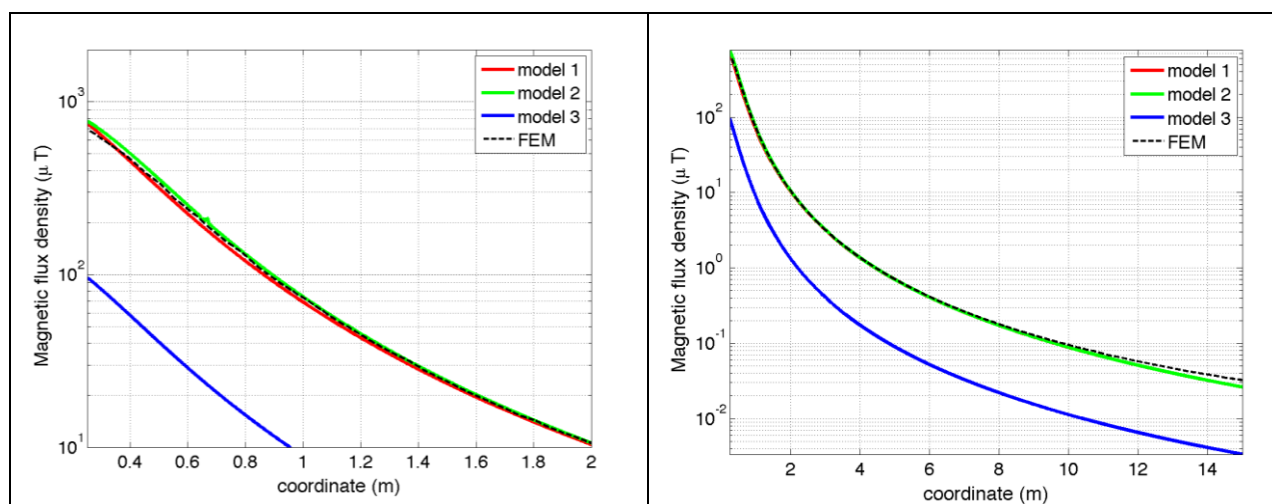
Le Fig. 12 e 13 mostrano, rispettivamente, i valori di induzione magnetica lungo la linea ad 1m dal lato degli avvolgimenti e lungo la linea ad 1.5 m sopra gli avvolgimenti. Le figure mettono a confronto il “modello 1 e 2” ed il calcolo, assunto come riferimento, effettuato mediante codice FEM.

**Si può osservare un ottimo accordo tra i “modelli 1 e 2” adottati nel MAGIC® lungo entrambe le linee mentre per distanze inferiori al metro il modello semplificato, con particolare riferimento al campo lungo la linea verticale, risulta portare a delle discrepanze significative. Per tali distanze è pertanto conveniente utilizzare il “modello 2” che risulta più accurato a spese di un maggiore peso computazionale (nell'ordine comunque delle decine di secondi).**

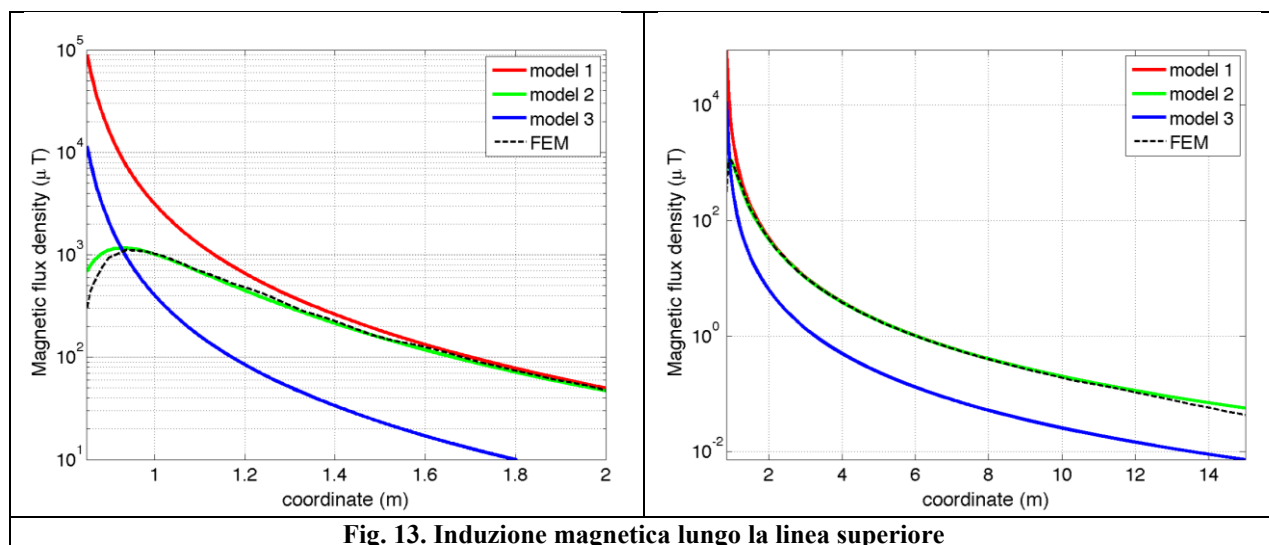
I modelli inseriti nel MAGIC® sono inoltre confrontati con il modello proposto da un altro software commerciale (EFC-400) che verrà denominato “Modello 3”. Tale modello è basato sull'ipotesi che il campo magnetico disperso, essendo correlato con la reattanza di dispersione del trasformatore, risulta quantitativamente correlato alla tensione di corto circuito. Il modello proposto da EFC-400 è quindi costituito da un unico avvolgimento (che sintetizza il primario ed il secondario) percorso da una corrente ridotta, rispetto alla corrente nominale, secondo la seguente formula:

$$I = I_R \cdot \frac{V_{SC} \%}{100} \quad (14)$$

in cui  $I_R$  è la corrente nominale (di primario o secondario) e  $V_{SC}$  è la tensione di cortocircuito percentuale. Può essere utilizzata la corrente di primario o di secondario ( $I_{R1}$  o  $I_{R2}$ ) e corrispondentemente occorre considerare le spire di primario o secondario ( $N_1$  e  $N_2$ ).



**Fig. 12. Induzione magnetica lungo la linea laterale**



**Fig. 13. Induzione magnetica lungo la linea superiore**

Come si può osservare dai profili di induzione magnetica il modello 3 risulta scarsamente idoneo a modellare i due avvolgimenti concentrici di primario e secondario.



### 3.2 Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali

In questo paragrafo il modelli vengono confrontati con dati sperimentali. Il caso analizzato si riferisce ad un trasformatore in resina da 630 kVA, 15kV/400V, funzionante in condizioni di corto circuito (Fig. 14). Il trasformatore viene alimentato con una tensione che fa circolare negli avvolgimenti una corrente pari al 42% della corrente nominale, si ha quindi 10.4 A di primario (lato MT) e 390 A di secondario (lato BT). Il modello del trasformatore risulta quindi completo e costituito da tutti gli avvolgimenti delle tre fasi.

Le linee di calcolo S1 ed S2 (Fig. 15) sono poste ad 1.5m dal piano di appoggio del trasformatore. E' importante sottolineare che il contributo dei terminali di BT influisce significativamente il campo magnetico ambientale, specialmente nella direzione S1. Pertanto, l'introduzione di tali sorgenti aggiuntive agli avvolgimenti porta ad una riduzione degli scostamenti tra i vari modelli.

In Fig. 16 e 17 sono riportati i confronti tra le induzioni magnetiche, lungo le linee S1 ed S2, misurate e calcolate con i diversi modelli.

**Come si può osservare, in particolare per la linea S2 (dove il contributo delle connessioni è trascurabile) il modello 1 ed il modello 2 approssimano in modo soddisfacente i dati sperimentali.**

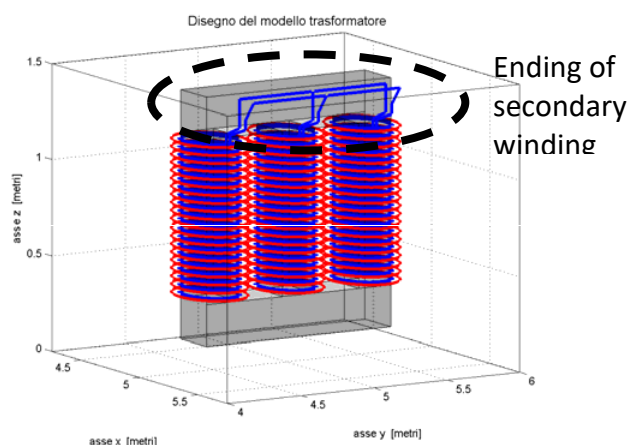


Fig. 14: Connessioni elettriche considerate al lati BT.

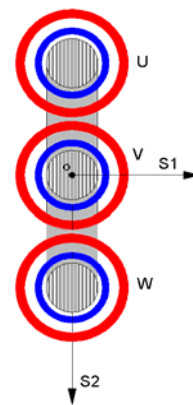


Fig. 15: Linee di calcolo S1 ed S2

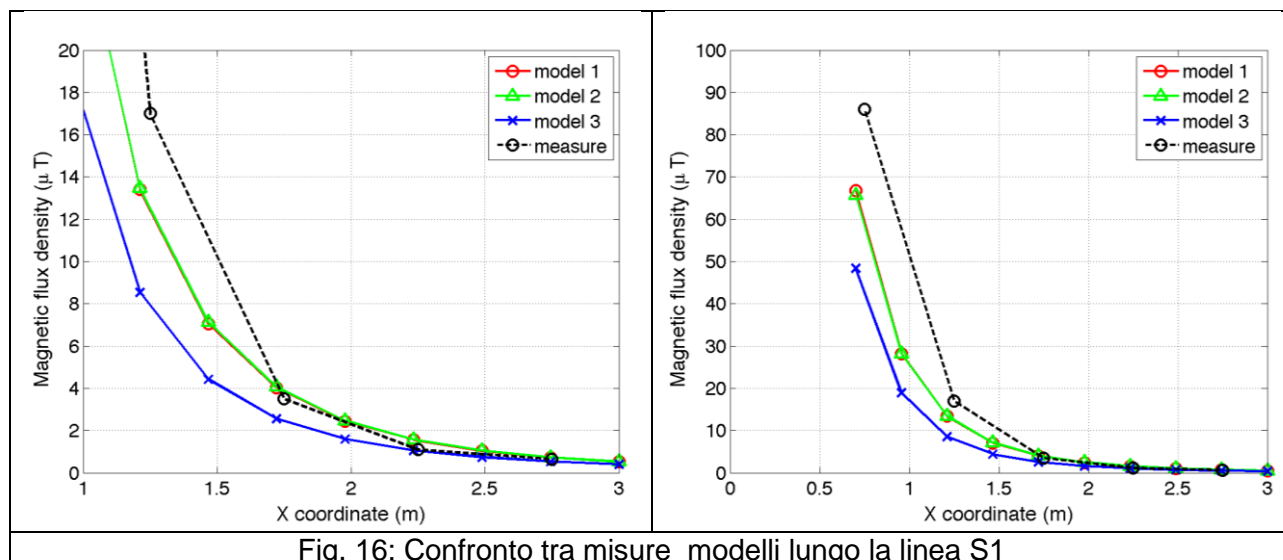


Fig. 16: Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

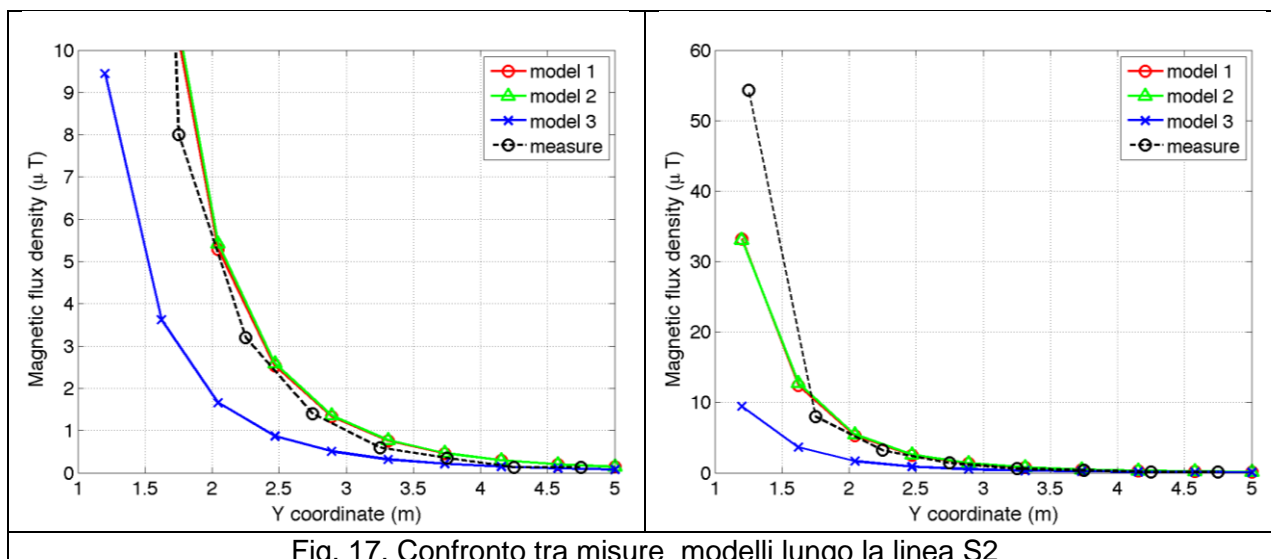


Fig. 17. Confronto tra misure e modelli lungo la linea S2

## Conclusioni

Il presente documento si propone di fornire alle autorità competenti tutti gli elementi necessari affinché il software MAGIC® possa essere validato secondo quanto richiesto dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.

Come indicato nell’art. 5.1.2 (Calcolo delle fasce di rispetto per linee elettriche) del decreto del 29/05/2008, i modelli tridimensionali non sono ancora standardizzati, tuttavia un software in cui i modelli soddisfino ai seguenti requisiti indicati nel decreto:

“...i modelli utilizzati devono essere descritti in termini di algoritmi implementati, condizioni al contorno e approssimazioni attuate. Essi devono essere validati attraverso misure o per confronto con modelli che abbiano subito analogo processo di verifica. La documentazione esplicativa e comprovante i criteri di cui sopra deve essere resa disponibile alle autorità competenti ai fini dei controlli”, può essere ritenuto idoneo allo scopo e, a tal fine, è stato redatto il presente documento.

Per quanto concerne in particolare le cabine elettriche, la complessità delle sorgenti in esame richiede una valutazione accurata che tenga conto principalmente della tridimensionalità delle singole sorgenti e l’effetto prodotto dalla combinazione delle stesse (sovrapposizione degli effetti). Nelle analisi precedentemente svolte sono stati analizzati e validati i principali componenti costituenti le cabine quali linee elettriche di connessione (tratti di conduttori di lunghezza finita), quadri elettrici (tratti conduttori di lunghezza finita) e trasformatori (elementi toroidali e tratti di conduttore di lunghezza finita).

***Dai risultati ottenuti e presentati è quindi possibile concludere che il Software MAGIC® ha le caratteristiche per essere rispondente alle indicazioni richieste dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008, lasciando ovviamente alle autorità competenti la verifica ed il giudizio finale.***