

Proponente	ENVIROSUN SRL Via Matteotti 31/2, Bologna (BO), 40129				
			Partnered by:		
Progettazione	Ing. Fabio Domenico Amico Via Matteotti, 31/02 40129 Bologna (BO) f.amico@green-go.net		Studio geologico-sismico e idrogeologico		Dott. Geol. Giulia Gardosi Corso Esperanto 3/h 40065 Pianoro (BO) giulia.gardosi@libero.it
Studio agronomico	Studio ambientale-forestale Rocco Carella Via Torre d'Amore n. 18 Bari 70129 carella.rocco@gmail.com		Studi specialistici ambientali		Istituto Delta Via Bela Bartòk, 29b 44100 Ferrara (FE) cristinabarbieri@istitutodelta.it
Studio archeologico preventivo VPIA	Dott.ssa Laura Belemmi TECNE – Archeologia e Beni Culturali Via Corrado Masetti, 7 40127 Bologna (BO) direzione@tecne-archeo.com		Studio acustico		Ing. Marco Taverna T-Engineering di Marco Taverna Via Pietro Caligiuri 19 88046 Lamezia Terme (CZ) marcotaverna@sintecosas.com
Progettazione opere di rete	BRULLI TRASMISSIONE Srl. Via Meuccio Ruini, 2 42124 Reggio nell'Emilia (RE) info@brulli.eu				
Opera	Progetto di realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato denominato “Gallo” nel Comune di Poggio Renatico (FE) e delle relative opere di connessione RTN e potenziamento elettrodotti aerei 132 kV “Ferrara Focomorto CP – CP Mezzolara – SE Colunga”				
Oggetto	Codice elaborato: GLLPD0R14-00				
	Titolo elaborato: Analisi di impatto EM linee AT di potenziamento				
00	29/04/2025	Emissione per progetto definitivo	BRULLI TRASMISSIONE Srl.	Ing. Giacomo Bonafè	Ing. Fabio Domenico Amico
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione



Gianluca Brulli

		<i>Brulli</i>	<i>Brulli</i>	<i>Brulli</i>	
A	25.3.2025	101	013	093	Emissione per studio di prefattibilità
REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
CODICE PRATICA					TIPOLOGIA IMPIANTO / POTENZA IN IMMISSIONE
C.P. 202407472					IMPIANTO FOTOVOLTAICO POTENZA IN IMMISSIONE 48 MW
COMMITTENTE					IMPIANTO
 ENVIROSUN S.R.L. VIA GIACOMO MATTEOTTI, 31/2 40129 - Bologna (BO)					POTENZIAMENTO ELETTRODOTTI 132 kV FERRARA F. CP - CP MEZZOLARA - SE COLUNGA
INGEGNERIA & COSTRUZIONI					TITOLO
BRULLI Ltrasmissione					RELAZIONE CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI
SCALA	FORMATO	FOGLIO / DI		N. DOCUMENTO	
-	A4	1 / 48		4 9 9 7 0 4 A	

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	QUADRO NORMATIVO.....	4
3	METODOLOGIA DI CALCOLO.....	5
3.1	Calcolo del Campo Magnetico.....	5
3.2	Correnti di calcolo.....	6
3.3	Risultati.....	7
4	ANALISI DEI RICETTORI.....	8
4.1	Schede ricettori sensibili.....	9
4.2	Verifica modifiche al tracciato dell'elettrodotto.....	2
5	CONCLUSIONI.....	7

1 PREMESSA

L'oggetto della presente relazione è il calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dal potenziamento degli elettrodotti aerei 132 kV "Ferrara Focomorto CP – CP Mezzolara – SE Colunga".

L'opera in oggetto si sviluppa nel Comune di Ferrara in Provincia di Ferrara e nei Comuni di Baricella, Minerbio, Budrio e Castenaso in Provincia di Bologna.

L'opera in oggetto verrà realizzata principalmente per consentire la connessione di impianti di produzione energia da fonte rinnovabile. I produttori, convocati al tavolo tecnico Terna, hanno eletto la Società EnviroSun S.r.l. (CP 202407472) come capofila del tavolo tecnico per la progettazione delle opere RTN richieste da Terna in sede di STMG.

Il gestore della rete ha evidenziato la necessità di potenziare tale direttrice, per garantire una portata continuativa non inferiore ad 700 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 μ 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 26,9 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 26,2 mm con portata 700 A estivi. L'utilizzo di questo conduttore è previsto anche lungo le tratte in progetto che si discostano dal tracciato esistente.

Parte dell'elettrodotto esistente è già armata con conduttore ACSR \varnothing 31,5 mm, per questi tratti è stata effettuata la verifica, secondo norma CEI 11-60, in modo che i franchi minimi siano verificati in extra-franco anche a 75 °C, anziché ai 40 °C previsti per la Zona B, in modo tale da poter far transitare sulla linea una corrente di 700 A nel periodo caldo.

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

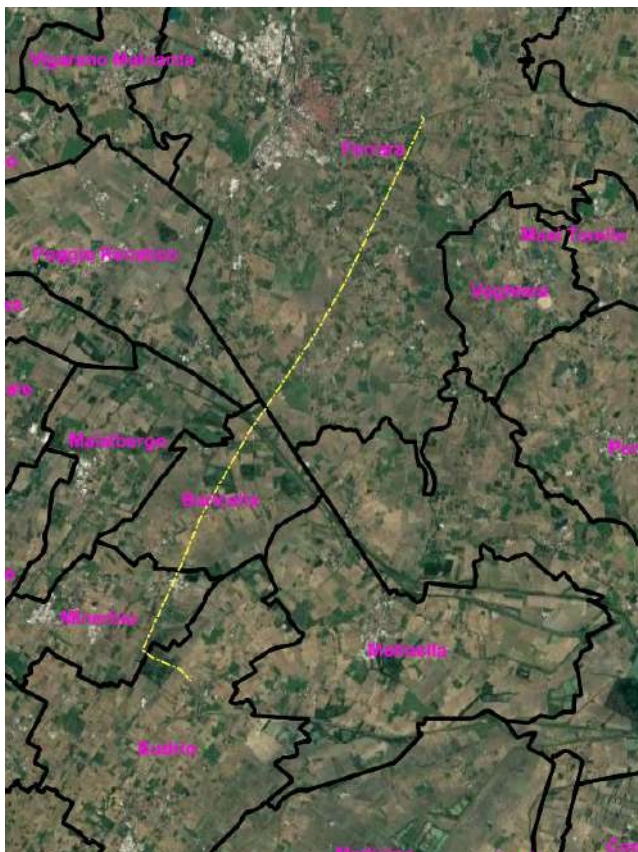


Figura 1 – Tratta Ferrara Focomorto CP – CP Mezzolara

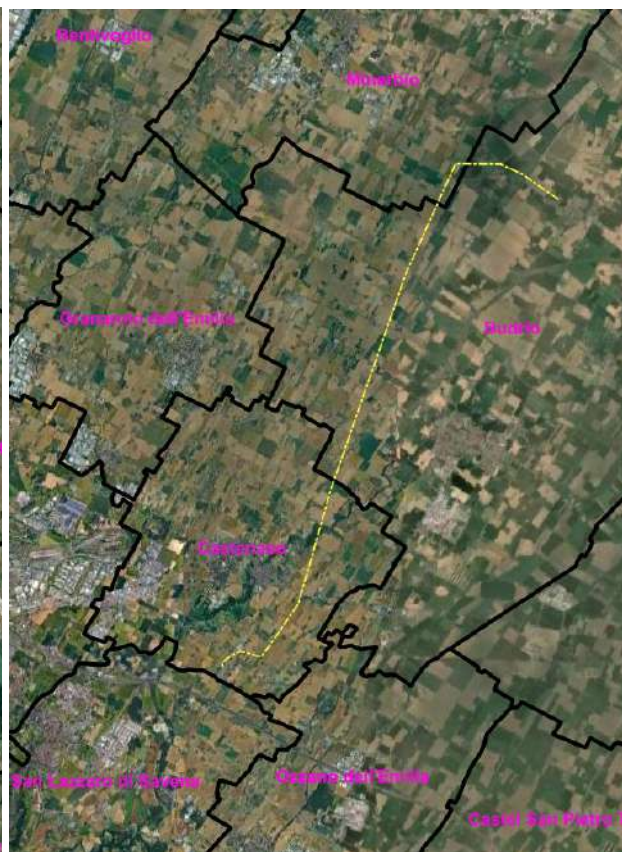


Figura 2 – Tratta CP Mezzolara - Colunga

2 QUADRO NORMATIVO

La normativa che regola l'esposizione della popolazione a campi elettromagnetici risale ai primi anni '90. La prima legge emanata, ora abrogata, è il DPCM 23 Aprile 1992 "Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno": tale normativa fissava la distanza da mantenersi dagli elettrodotti aerei e i valori massimi di esposizione per la popolazione. Con il crescente interesse da parte della popolazione per la tematica in oggetto, è stata avvertita la necessità di una regolamentazione più dettagliata dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici, cui ha fatto seguito l'emanazione di numerose leggi regionali e della legge quadro nazionale. In particolare la Legge Quadro No. 36 del 22 Febbraio 2001 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" ha lo scopo di assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici e di assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio promuovendo l'innovazione tecnologica. Con i successivi decreti attuativi, DPCM 8 Luglio 2003, sono stati fissati i livelli di esposizione, di attenzione e l'obiettivo di qualità da rispettarsi al fine della tutela della salute della popolazione.

Nella Tabella 1 si riporta valori fissati come limite di esposizione, valore di attenzione e obiettivo di qualità per campi elettrici e magnetici prodotti alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

	Campo magnetico (μT)	Campo elettrico (V/m)	NOTE
Limite di esposizione	100	5.000	-
Valore di attenzione	10	-	Da verificarsi in luoghi adibiti a permanenza non inferiore alle 4 ore
Obiettivo di qualità	3	-	

Tabella 1 – Valori come da normativa in vigore

Con il DM del 29 Maggio 2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti" viene approvata la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, in relazione a quanto previsto dal DPCM 8 Luglio 2003: uno degli scopi è la regolamentazione delle nuove installazioni e/o nuovi insediamenti presso elettrodotti o edifici esistenti.

A tal fine occorre approntare i corretti strumenti di pianificazione territoriale come la previsione di fasce di rispetto, calcolate sulla base di parametri certi e stabili nel lungo periodo. Le fasce di rispetto sono infatti definite come *"lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità: all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale scolastico sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore giorno"*.

Tali fasce di rispetto sono variabili in funzione ai dati caratteristici di ogni tratta o campata considerata in relazione ai dati caratteristici della stessa. Al fine di facilitare la gestione territoriale è stato introdotto il concetto di **Distanza di Prima Approssimazione (DPA)** quale: *"la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea, che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto"*.

La metodologia definita si applica alle linee elettriche aeree e interrate, esistenti o in progetto, con esclusione delle linee a media tensione in cavo cordato ad elica, siano esse interrate o aeree, in quanto in questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal Decreto Interministeriale 21 Marzo 1988, No. 449 e del DM LPP del 16 Gennaio 1991. Nella normativa viene specificato inoltre che, per le stazioni e cabine primarie, la DPA - e quindi la fascia di rispetto - solitamente rientrano nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso. Comunque, nel caso l'autorità competente lo ritenga necessario, dovranno essere calcolate le fasce di rispetto relativamente agli elementi perimetrali (es. portali, sbarre, ecc.).

 <p>Reggio nell'Emilia - ITALIA</p>	<p>Progetto</p> <p>POTENZIAMENTO ELETTRODOTTI 132 kV FERRARA F. CP- CP MEZZOLARA – SE COLUNGA</p> <p>Relazione campi elettrici e magnetici</p>	<p>Documento e revisione</p> <p>499704A</p> <p>5</p>
--	--	--

3 METODOLOGIA DI CALCOLO

La rete elettrica nazionale, di cui l'elettrodotto esistente 132 kV "Ferrara Focomorto CP – CP Mezzolara – SE Colunga" fa parte, è esercita alla frequenza di 50 Hz. A questa frequenza i campi elettrici e magnetici generati dagli elementi attivi sono due fenomeni distinti, il primo proporzionale alla tensione degli stessi, mentre il secondo proporzionale alla corrente che vi circola.

Anche i limiti applicabili per la tutela della salute della popolazione per questi due fenomeni sono molto differenti: per il campo elettrico è previsto il solo rispetto del limite di esposizione, mentre per il campo magnetico è previsto anche il rispetto di un valore di qualità, per luoghi in cui è prevista la permanenza per un tempo superiore alle 4 ore/giorno. È possibile pertanto analizzare distintamente i due aspetti.

In base alle "Linee Guida per l'applicazione del punto 5.1.3 dell'allegato al DM 29/05/2008" elaborate da Enel, non è necessario effettuare il calcolo dei livelli di campo elettrico per tensioni inferiori o uguali a 150 kV in quanto dette linee guida specificano che "a valle di misure e valutazioni effettuate sulle proprie linee elettriche il campo elettrico al suolo in prossimità di elettrodotti a tensione uguale o inferiore a 150 kV non supera mai il limite di esposizione per la popolazione pari a 5 kV/m".

3.1 Calcolo del Campo Magnetico

Al fine di stimare il campo magnetico prodotto dagli elettrodotti in oggetto, per determinare le DPA da applicare, si è effettuato il calcolo teorico in considerazione di quanto previsto dal Decreto Ministeriale 29/05/2008, utilizzando la portata come da dati forniti dai costruttori di conduttori ad alta temperatura e 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. Il software permette di calcolare i campi magnetici generati da sorgenti di tipo elettrico, quali trasformatori, sistemi di linee elettriche, stazioni, cabine elettriche, buche giunti, blindosbarre e impianti elettrici. Il software permette la determinazione delle fasce di rispetto per linee elettriche e cabine elettriche, secondo quanto previsto dalla Legge Quadro No. 36/2001 (esposizione ai campi magnetici della popolazione) e dal D.Lgs. No. 81/08 (valutazione dei rischi in ambiente lavorativo). Il software permette inoltre di studiare le singole sorgenti (linee elettriche, cavi, sistemi multiconduttori, trasformatori) mediante configurazioni bidimensionali e tridimensionali attraverso l'integrazione della legge di Biot-Savart o lo studio di sistemi complessi, tenendo conto della tridimensionalità delle sorgenti, della loro reale posizione e della sovrapposizione degli effetti delle diverse componenti.

Al fine di calcolare le DPA da applicarsi alla linea a seguito del ripotenziamento della linea sono stati individuati due sostegni tipo tra quelli installati:

- il primo relativo alla parte di elettrodotto realizzata negli anni 40 e originariamente esercito a 220 kV;
- il secondo relativo al tratto di elettrodotto più recente realizzato negli anni 90 da Enel con tralicci unificati per una tensione di 132 kV.

Nella prima fase sono state calcolate le DPA della linea presumendo che i tralicci esistenti siano tutti idonei e il potenziamento della linea preveda la sola sostituzione del conduttore. Sovrapponendo le DPA così calcolate con ortofoto e catasto sono stati individuati i ricettori che ricadono all'interno di dette fasce e in base al sopralluogo e alla stima puntuale del campo magnetico si è determinato dove è necessario procedere alla modifica dell'altezza del traliccio esistente o del tracciato dell'elettrodotto.

Una volta determinate le modifiche necessarie alla linea sono stati nuovamente verificati i valori di campo magnetico al singolo ricettore.

3.2 Correnti di calcolo

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 700 A nel periodo estivo.

Attualmente la linea esistente è armata in parte con conduttore del diametro di 26,9 mm e con parte con il conduttore classico da 31,5 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 Ø26,9 mm: il conduttore ZTACIR Ø 26,2 mm.

La scelta del conduttore sopra indicata è giustificata dalla portata target richiesta da Terna di 700 A nel periodo estivo; a differenza dei conduttori tradizionali, 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) Ø26,20 mm (C34)

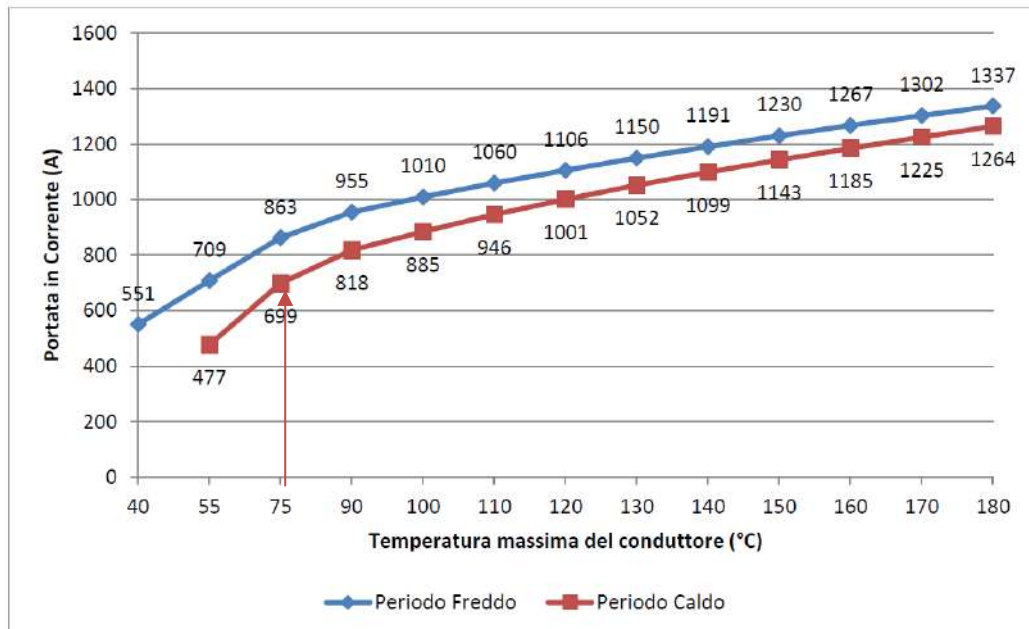


Figura 3

Nella tabella in Figura 3 (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);
- calcolata la massima temperatura in grado di permettere il rispetto dei franchi al suolo, determinare la massima portata in esercizio continuativo transitabile sulla linea.

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 Ø26,20 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 700 A, la portata in corrente nel periodo freddo risulta pari a **864 A**. Dalla relazione tecnica allegata si evince che il franco di legge è stato verificato ad una temperatura molto cautelativa di 90°C, in modo da garantire anche un margine di sicurezza in fase di tesatura del conduttore. Per quel che riguarda però la valutazione del campo elettromagnetico, si è ritenuto che utilizzare una corrente molto maggiore di quella richiesta per i calcoli avrebbe complicato ingiustificatamente il progetto.

Per la parte di elettrodotto armata con conduttore Ø31,5 mm, secondo la norma CEI 11-60, i franchi minimi sono stati verificati a 75 °C, anziché ai 40 °C previsti per la Zona B, in modo tale da poter far transitare sulla linea una corrente di 700 A nel periodo caldo. Questo corrisponde a una temperatura in periodo freddo di **822 A**.

Cautelativamente come corrente di calcolo per le Distanze di Prima Approssimazione (DPA) è stato preso il valore di **864 A**.

3.3 Risultati

I valori di campo magnetico generati dall'elettrodotto sono calcolati al fine di definire le ampiezze delle Distanze di Prima Approssimazione da applicarsi dall'asse dei raccordi aerei. Tali valori sono desunti utilizzando le correnti come descritto nel capitolo precedente. Al fine del calcolo del campo magnetico sono stati analizzati i dati relativi alla linea esistente forniti da Terna, il percorso è stato suddiviso per il calcolo in base alla tipologia di pali esistenti ed è stata scelta cautelativamente la configurazione dei pali peggiore al fine del calcolo delle DPA per ogni tratta (disposizione delle fasi con conduttori più distanti).

È stata individuata una configurazione per la tratta Ferrara Focomorto CP – CP Mezzolara dal palo 2 al palo 90 (ex 220 kV) e una differente dal palo 91 al palo 100 (tratta realizzata negli anni 90 con tralicci standard ENEL 132 kV). Allo stesso modo nella tratta CP Mezzolara – SE Colunga sono state individuate due tratte, dal palo 82 in uscita dalla CP di Mezzolara al palo 92 e dal palo 134 al palo 137, anche queste realizzate negli anni 90 con standard ENEL 132 kV e una tratta di linea con palificazione ex 220 kV che va dal palo 93 al palo 133.

Riportiamo nei grafici seguenti prima la configurazione del traliccio ex 220 kV e poi quella per il traliccio standard enel 132 kV.

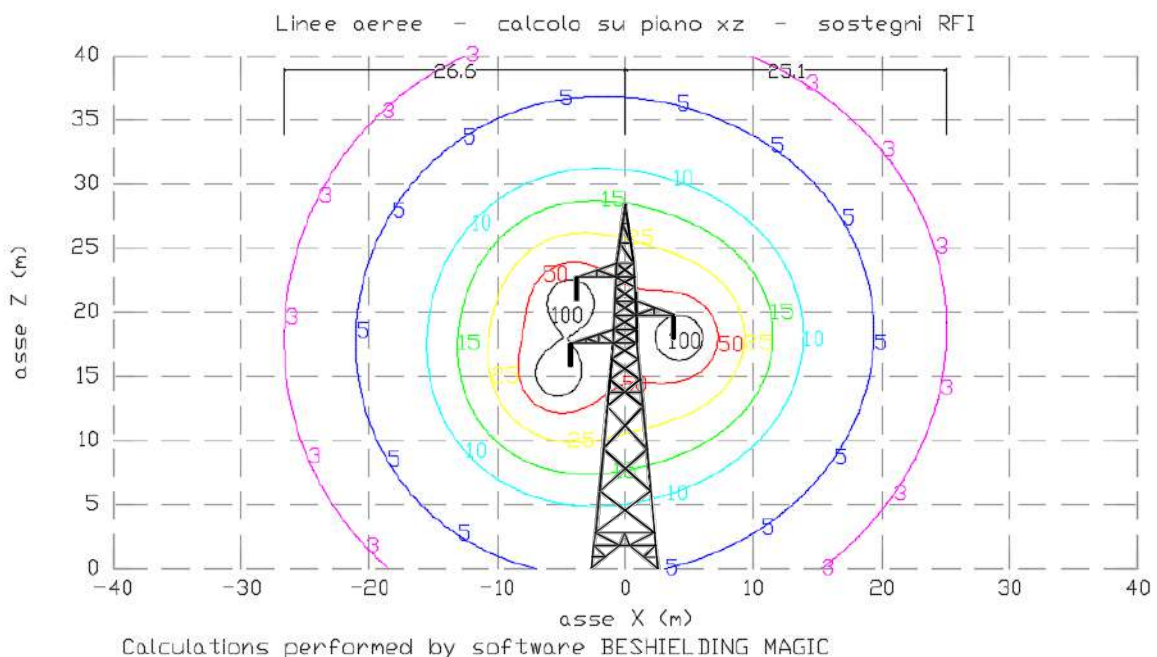


Figura 4 - Curve di isolivello del campo magnetico traliccio 220 kV

Dal grafico in Figura 4 si evince che dal lato della doppia mensola il valore di $3 \mu\text{T}$ si raggiunge ad una distanza di 26,6 m dall'asse del traliccio e 25,1 m dal lato della mensola singola. Arrotondando al primo intero la DPA da applicarsi risulta pertanto pari a 27 metri.

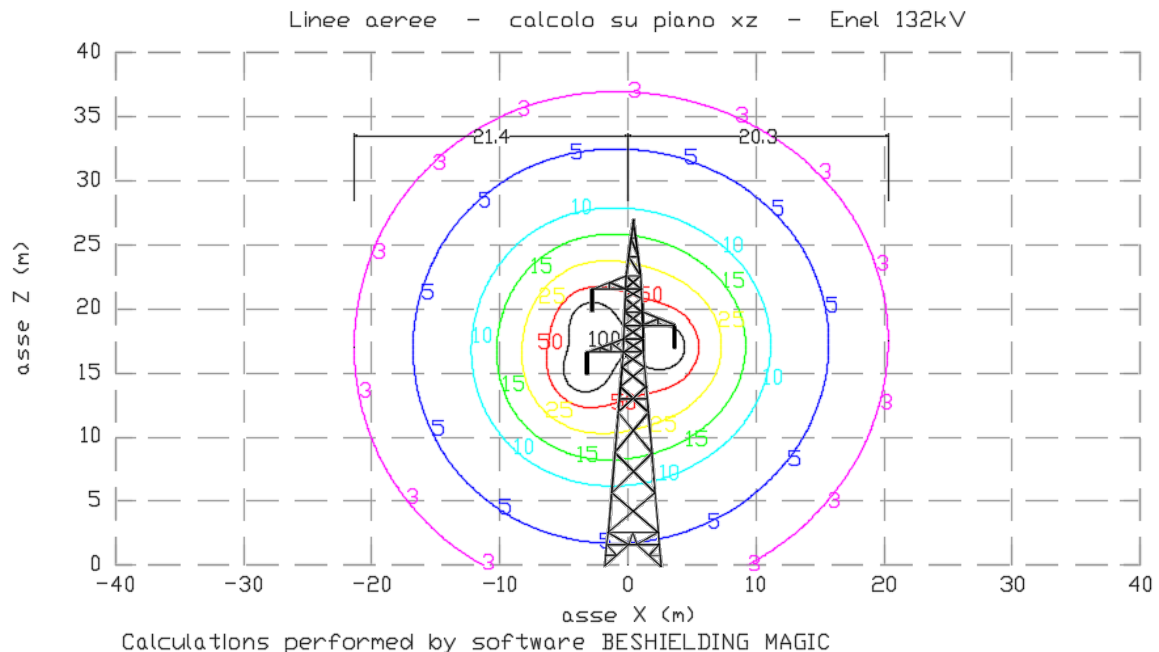


Figura 5 – Curve di isolivello del campo magnetico traliccio 132 kV

In Figura 5 è riportato il calcolo dei livelli di campo magnetico calcolati considerando un traliccio standard enel 132 kV con la medesima corrente circolante. Da tale grafico si evince che dal lato della doppia mensola il valore di $3 \mu\text{T}$ si raggiunge ad una distanza di 21,4 m dall'asse del traliccio e 20,3 m dal lato della mensola singola. La DPA da applicarsi risulta pertanto pari a 22 metri

4 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 dal franco minimo da terra, anche il rispetto delle DPA in prossimità dei ricettori sensibili in quanto, essendo l'elettrodotto risalente ai primi anni '40, alcuni sostegni sono posti molto vicini ad abitazioni esistenti. Si è proceduto pertanto a sovrapporre il tracciato della linea esistente (fornito da Terna) con le rispettive DPA come precedentemente calcolate su ortofoto. Dalla comparazione tra DPA, ortofoto e catasto sono stati individuati i ricettori che potevano presentare un superamento del valore di qualità in seguito a sostituzione dei conduttori.

Nel capitolo seguente riportiamo le schede dettagliate per ciascun ricettore individuato. In seguito a sopralluogo e 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 $3 \mu\text{T}$.

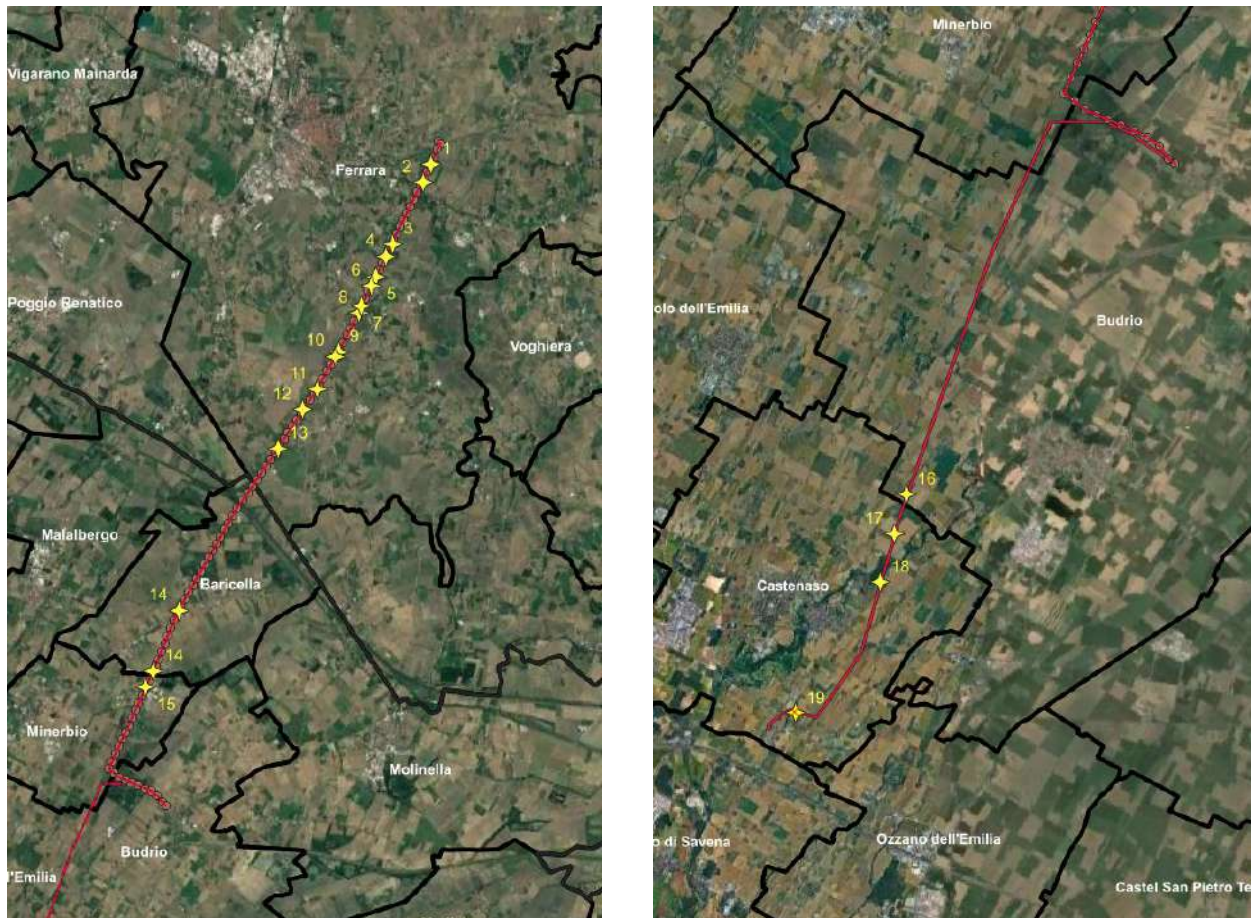


Figura 6: ortofoto con indicazione delle DPA e dei punti di interferenza individuati

4.1 Schede ricettori sensibili

Nelle schede seguenti riportiamo l'analisi dei singoli punti critici individuati in Figura 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

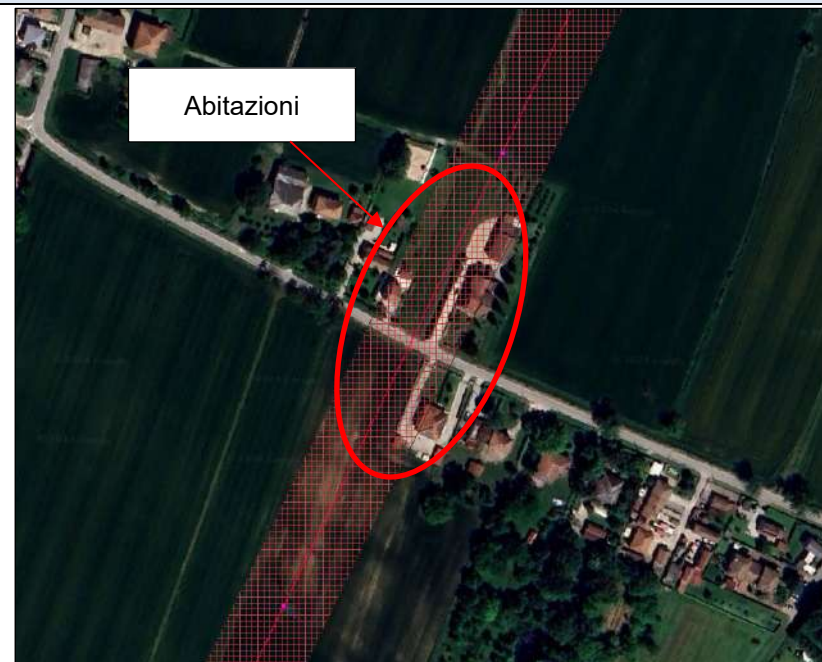
ID	1	Tettoia per deposito
CAMPATA	Tralicci n.	5 ÷ 6
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Pomposa (SP15)
PARTICELLE	Foglio	257
	Particella	265
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	-	Tettoia non accatastata
COORDINATE	WGS84	44°49' 31,22"N 11°40 '42,35"E
QUOTA	mslm	4
DISTANZA ASSE LINEA	m	13
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3,72



NOTE: Si sottolinea che il primo edificio in cui permangono persone è posto a più di 73 m dall'asse dell'elettrodotto; l'edificio in oggetto non è accatastato e pare una tettoia utilizzata per il deposito di mezzi e attrezzi. NON SI RITIENE NECESSARIA LA MODIFICA DELLA LINEA

CARATTERISTICHE RICETTORE

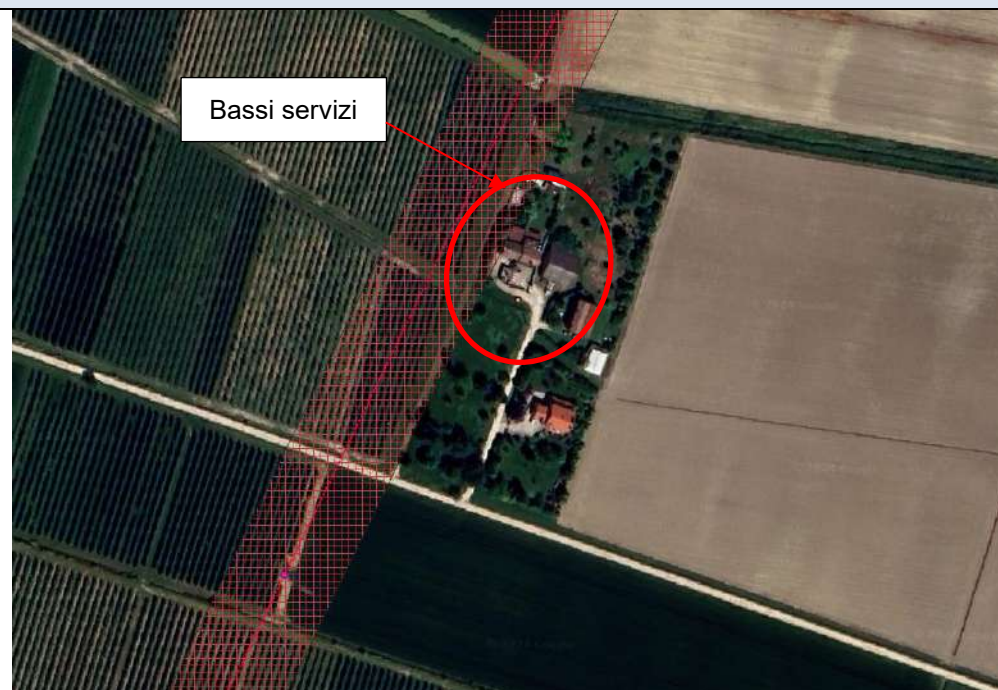
ID	2	Gruppo di case
CAMPATA	Tralici n.	7 ÷ 8
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Della Ginestra
PARTICELLE	Foglio	200
	Particella	307 – 162 - 397
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A02 - A07 – A03	Abitazione civili e in villini
COORDINATE	WGS84	44°49' 9,55"N 11°40' 28,88"E
QUOTA	mslm	7
DISTANZA ASSE LINEA	m	16
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3,15 (h 1,5m) 3,81 (h 4,5m)



NOTE: in questo tratto è previsto la modifica dei sostegni o del tracciato dell'elettrodotto per limitare il campo magnetico ai ricettori

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	3	Abitazioni
CAMPATA	Tralicci n.	16 ÷ 17
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Alceste Ricciarelli
PARTICELLE	Foglio	258
	Particella	3
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A02 - A03	Abitazioni di tipo civile ed economico
COORDINATE	WGS84	44°49' 9,55"N 11°40' 28,88"E
QUOTA	mslm	3
DISTANZA ASSE LINEA	m	26,9
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,31 (h 1,5) 1,45 (h 4,5)



NOTE: i calcoli dell'induzione magnetica sono stati effettuati in corrispondenza delle abitazioni in quanto nei bassi servizi, non è prevista la permanenza di persone per un tempo superiore le 4 ore giorno. La verifica mostra livelli di inferiori al valore di qualità NON SI RITIENE NECESSARIO LO SPOSTAMENTO DELLA LINEA

CARATTERISTICHE RICETTORE

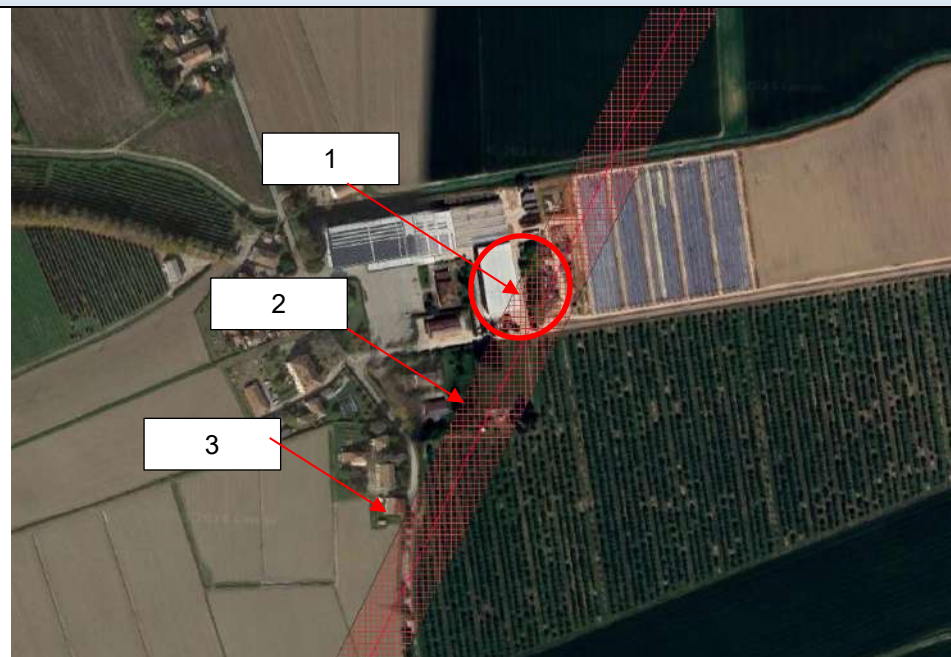
ID	4	Edificio agricolo
CAMPATA	Traliccio n.	18
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Alceste Ricciarelli
PARTICELLE	Foglio	258
	Particella	301
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole
COORDINATE	WGS84	44°49' 9,55"N 11°40' 28,88"E
QUOTA	mslm	4
DISTANZA ASSE LINEA	m	15
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3,30 (h 1.5)



NOTE: L'edificio ha l'aspetto di un deposito per attrezzi agricoli ma è presente allaccio alla rete elettrica, pertanto si prevede la modifica dei sostegni esistenti

CARATTERISTICHE RICETTORE

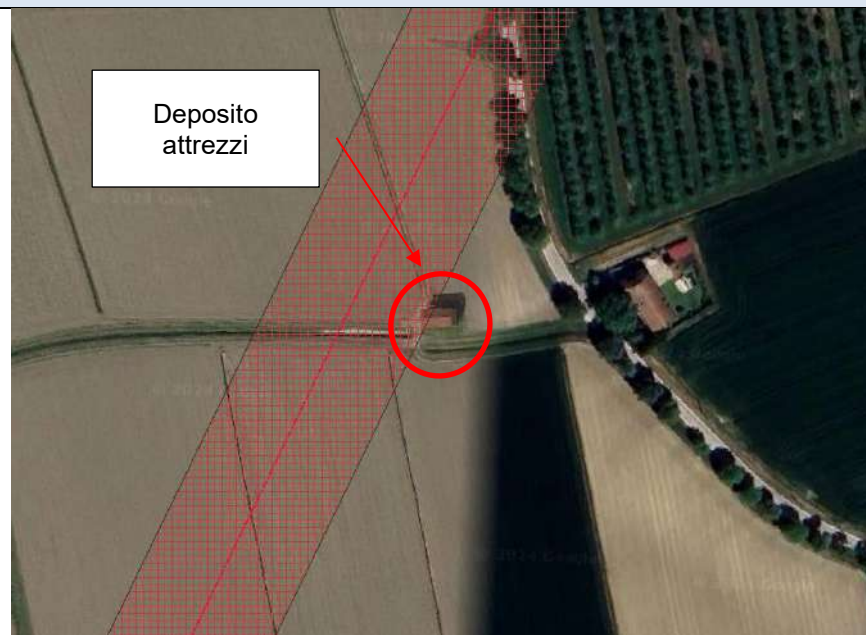
ID	5	Vivai F.Ili Zanzi
CAMPATA	Tralicci n.	20 ÷ 22
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Del Gorgo
PARTICELLE	Foglio	257 290
	Particella	265-268 339
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10 (seminativo) D10	Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole
COORDINATE	WGS84	44°47' 3,79"N 11°39' 10,26"E
QUOTA	mslm	4
DISTANZA ASSE LINEA	m	14
INDUZIONE MAGNETICA	μT	2,90 (h 1,5)
		3,69 (h 4,5)



NOTE: L'edificio 1 in prossimità dell'elettrodotto è un capannone dove potrebbe essere prevista la permanenza di persone per più di 4 ore/giorno. Per cui si prevede la modifica del traliccio esistente, il fabbricato 2 non accatastato è un pollaio, mentre l'edificio 3 è solo lambito dalle fasce di rispetto e comunque gioverà dalla modifica prevista

CARATTERISTICHE RICETTORE

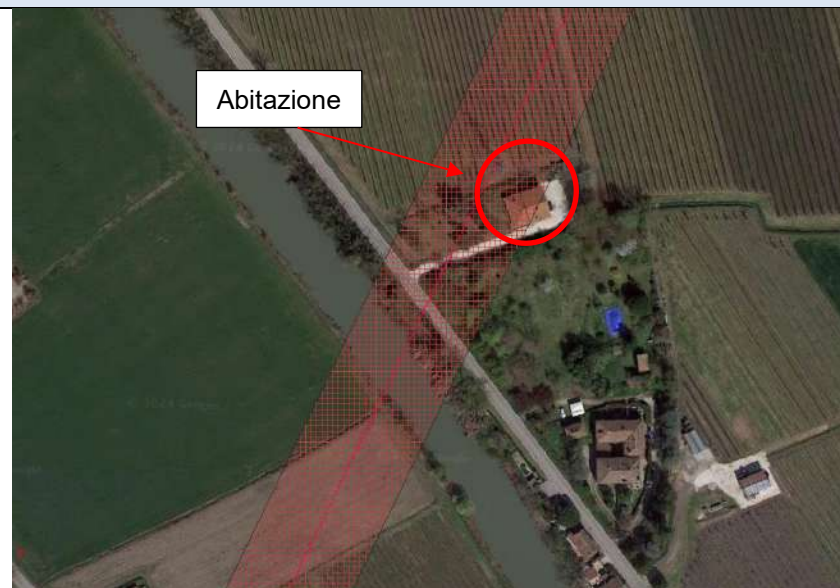
ID	6	Edificio ad uso agricolo
CAMPATA	Tralicci n.	22÷ 23
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Del Gorgo
PARTICELLE	Foglio	290
	Particella	341
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole
COORDINATE	WGS84	44°47' 3,79"N 11°39' 10,26"E
QUOTA	mslm	4,67
DISTANZA ASSE LINEA	m	23
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,53 (h 1.5)



NOTE: L'edificio non è dotato di finestre, risulta pertanto esclusa la permanenza di persone per un tempo superiore alle 4 ore /giorno

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	7	Abitazione
CAMPATA	Traliccio	n. 25
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Ravenna
PARTICELLE	Foglio	290
	Particella	337
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A07	Abitazioni in villini (P.P)
COORDINATE	WGS84	44°47' 3,79"N 11°39' 10,26"E
QUOTA	mslm	4
DISTANZA ASSE LINEA	m	10
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3,21 (h 1.5) 4,05 (h 4,5)



NOTE: L'edificio in prossimità dell'elettrodotto è una abitazione che da catasto risulta avere un piano primo, si prevede pertanto lo spostamento del traliccio adiacente, per garantire il rispetto del valore di qualità

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	8	Magazzino
CAMPATA	Tralici n.	25÷26
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Bassa
PARTICELLE	Foglio	290
	Particella	288
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	C02	Magazzini e locali di deposito (T)
COORDINATE	WGS84	44°46' 16,61"N 11°38' 44,12"E
QUOTA	mslm	6
DISTANZA ASSE LINEA	m	27
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,18 (h 1.5)



NOTE: La verifica puntuale del campo magnetico non evidenzia superamenti del valore di qualità, inoltre la struttura non sembra prevedere la permanenza di persone per più di 4 ore/giorno

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	9	Edificio ad uso agricolo
CAMPATA	Tralici n.	31 ÷32
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Del Poggetto
PARTICELLE	Foglio	306
	Particella	113
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole (T)
COORDINATE	WGS84	44°45' 25,02"N 11°38' 9,56"E
QUOTA	mslm	7
DISTANZA ASSE LINEA	m	16
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,97 (h 1.5)



NOTE: La verifica puntuale del campo magnetico non evidenzia superamenti del valore di qualità. L'edificio è un deposito di mezzi agricoli in stato di abbandono dove non è prevista la permanenza di persone per più di 4 ore/giorno

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	10	Casa
CAMPATA	Tralici n.	31÷32
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Del Poggetto
PARTICELLE	Foglio	306
	Particella	97-99
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	C02 A07	Magazzini e locali di deposito Abitazioni in villini (P.P)
COORDINATE	WGS84	44°45' 21,71"N 11°38' 4,78"E
QUOTA	mslm	5,52
DISTANZA ASSE LINEA	m	24,4
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,08 (h=1,5m) 1,23 (h=4,5m)



NOTE: l'edificio che rientra a pieno nelle DPA è un vecchio deposito per attrezzature agricole in stato di abbandono, in cui non è prevista la presenza di persone per più di 4 ore/giorno, all'abitazione, che viene sfiorata dalle DPA si riscontra il rispetto del valore di qualità, data la difficoltà di una valutazione precisa si prevede comunque la modifica dei sostegni.

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	11	Corte
CAMPATA	Tralici n.	36-37
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Pandolfina n.88
PARTICELLE	Foglio	320
	Particella	295
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A04	Abitazione di tipo popolare (T)
COORDINATE	WGS84	44°44' 36,20"N 11°37' 34,93"E
QUOTA	mslm	7,01
DISTANZA ASSE LINEA	m	24,5
INDUZIONE MAGNETICA	μ T	2,16 (h 4.5)



NOTE: l'edificio interessato appare come un deposito per mezzi agricoli in cui non si ritiene vi possa essere presenza di persone per più di 4 ore/giorno. Il calcolo puntuale del campo magnetico risulta inferiore al valore di qualità, si valuta comunque una modifica del tracciato in attesa di ulteriori approfondimenti in sede di PTO

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	12	Bassi servizi
CAMPATA	Tralicci	39 ÷ 40
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Peschereccia
PARTICELLE	Foglio	335
	Particella	203
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE		Fabbricato non accatastato
COORDINATE	WGS84	44°44' 8,52"N 11°37' 9,08"E
QUOTA	mslm	9
DISTANZA ASSE LINEA	m	25,3
INDUZIONE MAGNETICA	μT	2,07 (h 1.5)



NOTE: La verifica puntuale del campo magnetico non evidenzia superamenti del valore di qualità; le strutture coinvolte nella DPA sono bassi servizi in cui non è prevista la permanenza per più di 4 ore /giorno

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	13	Azienda agricola
CAMPATA	Tralici n.	45 ÷ 46
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Masi
PARTICELLE	Foglio	348
	Particella	244
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03 C02	Abitazione tipo economico(T) Magazzini e locali di deposito(T)
COORDINATE	WGS84	44°43' 15,46"N 11°36' 26,78"E
QUOTA	mslm	7
DISTANZA ASSE LINEA	m	16
INDUZIONE MAGNETICA	μ T	3,52 (h 1.5)



NOTE: all'interno degli edifici prossimi alla linea si riscontra il superamento del valore di qualità di 3 μ T. Si prevede pertanto l'intervento sui tralici esistenti.

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	14	Magazzino
CAMPATA	Tralicci	68-69
COMUNE	(BO)	Baricella
UBICAZIONE	Via	Savena Vecchia
PARTICELLE	Foglio	26
	Particella	88
DESTINAZIONE D'USO	C02 C06	Magazzini e locali di deposito (PT) Stalle, scuderie, rimesse e autorimesse (PT)
COORDINATE	WGS84	44°39' 42,77"N 11°33' 41,40"E
QUOTA	mslm	8,5
DISTANZA ASSE LINEA	m	16,5
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3.39 (h 1.5)



NOTE: l'edificio che rientra nella DPA non prevede la permanenza di persone per più di 4 ore/giorno

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	15	Zuccherificio
CAMPATA	Tralicci	P78 ÷ P80
COMUNE	(BO)	Minerbio
UBICAZIONE	Via	Mora n. 56
PARTICELLE	Foglio	12
	Particella	21
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole
COORDINATE	WGS84	44°38' 1,00"N 11°32' 45,28"E
QUOTA	mslm	7,01
DISTANZA ASSE LINEA	m	19,2
INDUZIONE MAGNETICA	μT	2,49 (h 1.5)

Zuccherificio



NOTE: occorre valutare quali aree dell'azienda siano realmente interessate dalla presenza di personale ed essendo i tralicci posti proprio all'interno del cortile dell'attività qualsiasi modifica potrà essere valutata - in sede di PTO - anche in base alle esigenze della stessa, anche in ragione del valore di induzione magnetica non superiore al livello di qualità.

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	16	Magazzino
CAMPATA	Tralicci n.	117÷ 118
COMUNE	(BO)	Budrio
UBICAZIONE	Via	Vigorso 42/a
PARTICELLE	Foglio	124
	Particella	173
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole (PP)
COORDINATE	WGS84	44°31' 43,61"N 11°29' 35,34"E
QUOTA	mslm	31
DISTANZA ASSE LINEA	m	11
INDUZIONE MAGNETICA	μT	3,95 (h 1.5)



NOTE: la verifica puntuale ha evidenziato il superamento del valore di qualità ed essendo il fabbricato dotato di porte e finestre si è considerata la possibilità che vi sia la permanenza di persone per più di 4 ore/giorno, si prevede pertanto lo spostamento della linea

CARATTERISTICHE RICETTORE -

ID	17	Abitazione
CAMPATA	Tralici n.	120 ÷ 121
COMUNE	(BO)	Castenaso
UBICAZIONE	Via	XXI ottobre
PARTICELLE	Foglio	10
	Particella	244
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03 D07- D01 C02	Abitazione di tipo economico - Fabbricati legati ad attività industriale -Opifici -Magazzini e locali di deposito
COORDINATE	WGS84	44°31' 17,80"N 11°29' 25,76"E
QUOTA	mslm	34
DISTANZA ASSE LINEA	m	14
INDUZIONE MAGNETICA	μT	4,74 (h 1.5)



NOTE: i calcoli del campo magnetico sono stati effettuati sull'edificio produttivo (più vicino all'elettrodotto) e non sull'abitazione; si ritiene comunque necessario diminuire il campo magnetico dentro il capannone e procedere con lo spostamento della linea.

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	18	Casa abitata
CAMPATA	Tralici n.	123 ÷ 124
COMUNE	(BO)	Castenaso
UBICAZIONE	Via	Caduti per la libertà
PARTICELLE	Foglio	16
	Particella	583 (263 abitazione)
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10 - A04	fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole -Abitazione di tipo popolare
COORDINATE	WGS84	44°30' 45,14"N 11°29' 15,11"E
QUOTA	mslm	35
DISTANZA ASSE LINEA	m	19,4
INDUZIONE MAGNETICA	μT	2,84 (h 1,5) 3,30 (h 4,5)



NOTE: il superamento viene evidenziato sul fabbricato di servizio per funzioni produttive connesso con le attività agricole e non sull'abitazione principale ma viene comunque valutata la modifica dei tralici coinvolti

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	19	Pollaio
CAMPATA	Tralicci	P134 +P135
COMUNE	(BO)	Castenaso
UBICAZIONE	Via	Montanara
PARTICELLE	Foglio	40
	Particella	211
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03 C02 C06	Abitazione di tipo economico- Magazzini e locali di deposito- Stalle, scuderie, rimesse e autorimesse
COORDINATE	WGS84	44°29' 16,04"N 11°28' 2,82"E
QUOTA	mslm	45
DISTANZA ASSE LINEA	m	23
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,51 (h 1,5) 1,71(h 4,5)

Casa abitata



NOTE: non si rilevano superamenti del valore di qualità all'interno dell'edificio più vicino all'elettrodotto esistente.

4.2 Verifica modifiche al tracciato dell'elettrodotto

Individuati i 10 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. 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 bianco i tralicci esistenti e in giallo i tralicci in progetto. Le altezze sono visibili nel documento 499772_Profilo elettrodotto

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	2	Gruppo di case
CAMPATA	Tralicci n	7 ÷ 8
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Della Ginestra
PARTICELLE	Foglio	200
	Particella	307 – 162 - 397
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A02 A07 A03	Abitazione civili e in villini
COORDINATE	WGS84	44°49' 9,55"N 11°40' 28,88"E
QUOTA	mslm	7
DISTANZA ASSE LINEA	m	16
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,18 (h 1,5m) 1,31 (h 4,5m)



CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	4	Edificio agricolo
CAMPATA	Traliccio n.	18
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Alceste Ricciarelli
PARTICELLE	Foglio	258
	Particella	301
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole
COORDINATE	WGS84	44°49' 9,55"N 11°40' 28,88"E
QUOTA	mslm	4
DISTANZA ASSE LINEA	m	15
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,87 (h 1.5)

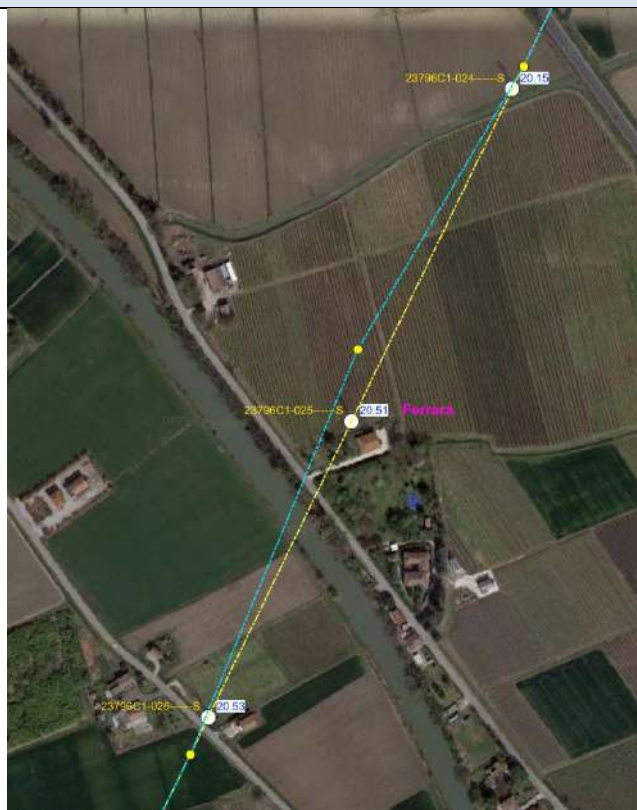

CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	5	Vivai F.lli Zanzi
CAMPATA	Tralicci n.	20 ÷ 22
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Del Gorgo
PARTICELLE	Foglio	257 290
	Particella	265-268 339
DESTINAZIONE E D'USO CATASTALE	D10 (seminativo) D10	Fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole
COORDINATE	WGS84	44°47' 3,79"N 11°39' 10,26"E
QUOTA	mslm	4
DISTANZA ASSE LINEA	m	14
INDUZIONE MAGNETICA	μT	0,73 (h 1.5) 0,79 (h 4,5)



CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	7	Abitazione
CAMPATA	Traliccio n.	25
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Ravenna
PARTICELLE	Foglio	290
	Particella	337
DESTINAZIONE E D'USO CATASTALE	A07	Abitazioni in villini (P.P)
COORDINATE	WGS84	44°47' 3,79"N 11°39' 10,26"E
QUOTA	mslm	4
DISTANZA ASSE LINEA	m	10
INDUZIONE MAGNETICA	μ T	0,89 (h 1,5) 0,98 (h 4,5)


CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	10	Azienda agricola
CAMPATA	Tralicci n.	31÷32
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Del Poggetto
PARTICELLE	Foglio	306
	Particella	97-99
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	C02 A07	Magazzini e locali di deposito Abitazioni in villini (P.P)
COORDINATE	WGS84	44°45' 21,71"N 11°38' 4,78"E
QUOTA	mslm	5,52
DISTANZA ASSE LINEA	m	24,4
INDUZIONE MAGNETICA	μ T	1,25 (h=1,5) 1,41 (h=4,5)



CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	11	Corte
CAMPATA	Tralicci n.	36÷37
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Pandolfina n.88
PARTICELLE	Foglio	320
	Particella	295
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A04	Abitazione di tipo popolare (T)
COORDINATE	WGS84	44°44' 36,20"N 11°37' 34,93"E
QUOTA	mslm	7,01
DISTANZA ASSE LINEA	m	24,5
INDUZIONE MAGNETICA	μT	0,58 (h 1.5)



CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	13	Azienda agricola
CAMPATA	Tralicci n.	45 ÷ 46
COMUNE	(FE)	Ferrara
UBICAZIONE	Via	Masi
PARTICELLE	Foglio	348
	Particella	244
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03 C02	Abitazione tipo economico(T) Magazzini e locali di deposito(T)
COORDINATE	WGS84	44°43' 15,46"N 11°36' 26,78"E
QUOTA	mslm	7
DISTANZA ASSE LINEA	m	16
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,56 (h 1.5) 1,79 (h 4,5)



CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	16	Magazzino
CAMPATA	Tralicci n.	117÷118
COMUNE	(BO)	Budrio
UBICAZIONE	Via	Vigorso 42/a
PARTICELLE	Foglio	124
	Particella	173
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10	fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole (PP)
COORDINATE	WGS84	44°31' 43,61"N 11°29' 35,34"E
QUOTA	mslm	31
DISTANZA ASSE LINEA	m	20
INDUZIONE MAGNETICA	μT	0,65 (h 1.5) 0,69 (h 4.5)

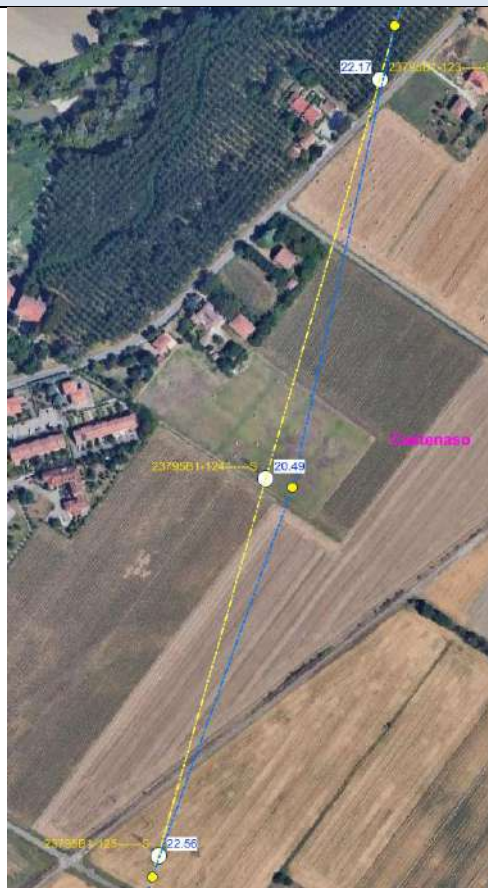

CARATTERISTICHE RICETTORE -

ID	17	Abitazione
CAMPATA	Tralicci	P120 ÷ P121
COMUNE	(BO)	Castenaso
UBICAZIONE	Via	XXI ottobre
PARTICELLE	Foglio	10
	Particella	244
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	A03 D07- D01 C02	Abitazione di tipo economico -Fabbricati legati ad attività industriale -Opifici - Magazzini e locali di deposito
COORDINATE	WGS84	44°31' 17,80"N 11°29' 25,76"E
QUOTA	mslm	34
DISTANZA ASSE LINEA	m	20
INDUZIONE MAGNETICA	μT	1,12 (h 1.5) 1,52 (h 4.5)



CARATTERISTICHE RICETTORE

ID	18	Casa abitata
CAMPATA	Tralici n.	123 ÷ 124
COMUNE	(BO)	Castenaso
UBICAZIONE	Via	Caduti per la libertà
PARTICELLE	Foglio	16
	Particella	583 (263 abitazione)
DESTINAZIONE D'USO CATASTALE	D10 - A04	fabbricati per funzioni produttive connesse alle attività agricole -Abitazione di tipo popolare
COORDINATE	WGS84	44°30' 45,14"N 11°29' 15,11"E
QUOTA	mslm	35
DISTANZA ASSE LINEA	m	33
INDUZIONE MAGNETICA	μT	0,94 (h 1,5) 1,02 (h 4,5)

**5 CONCLUSIONI**

Il DPCM 8 Luglio 2003 fissa i limiti di esposizione per la popolazione ai campi elettrici e magnetici generati da elettrodotto alla frequenza di rete (50Hz). Tali limiti sono pari a 100 μT, 10 μT e 3 μT 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 elettrodotto 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 27 metri e 22 dalla linea esistente nei tratti rispettivamente con tralicci modello 220 kV e 132 kV. Dalle verifiche effettuata è emerso che, soprattutto nel tratto di elettrodotto realizzato negli anni 40, a seguito della sostituzione del conduttore il valore di qualità non è rispettata in tutti i ricettori. 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.

Si evidenzia che l'attuale fase progettuale è di prefattibilità di potenziamento della linea e l'analisi è stata effettuata su rilievi forniti da Terna e cartografie esistenti, oltre alla verifica visiva in loco. Pertanto, cautelativamente, si è scelto di progettare la modifica dell'elettrodotto esistente anche in situazioni dubbie, in modo da definire inizialmente tutti gli interventi che potrebbero dover essere effettuati.

In una fase successiva della progettazione (PTO), sarà necessario un rilievo puntuale dei ricettori e dei tralicci esistenti in modo da determinare con precisione distanze e altezze e di conseguenza i campi magnetici prodotti. Queste verifiche potrebbero sancire la non necessità di alcuni interventi, previsti in questa fase della progettazione.

Allegato 1: Documento di Validazione



Documento di Validazione

Algoritmi di calcolo del software MAGIC[®] (MAGnetic Induction Calculation)

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.

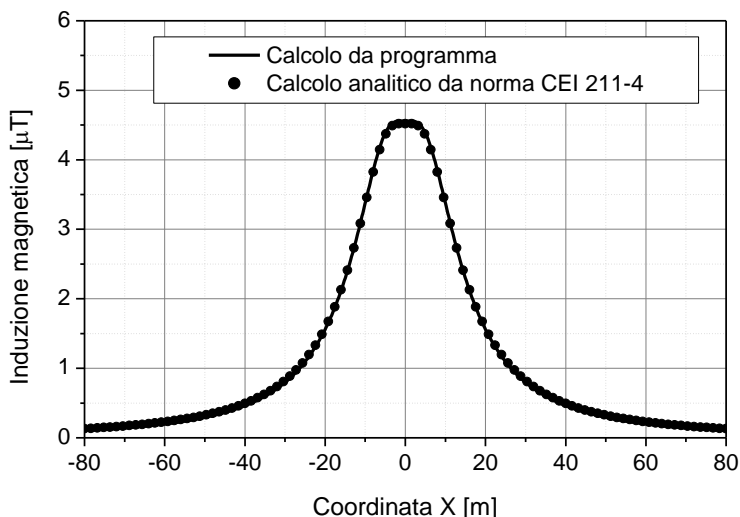


Figura 1: Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4

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

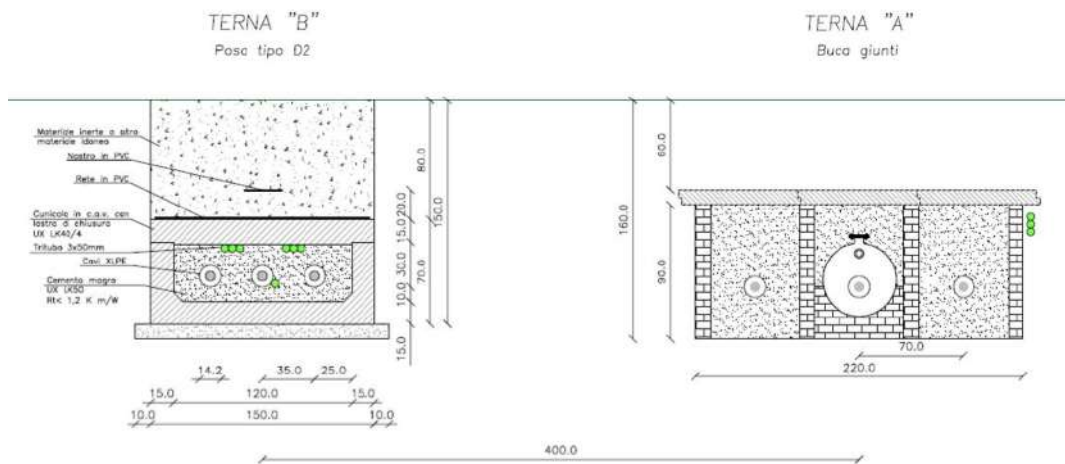


Figura 2: Affiancamento tra due linee interrate AT

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.

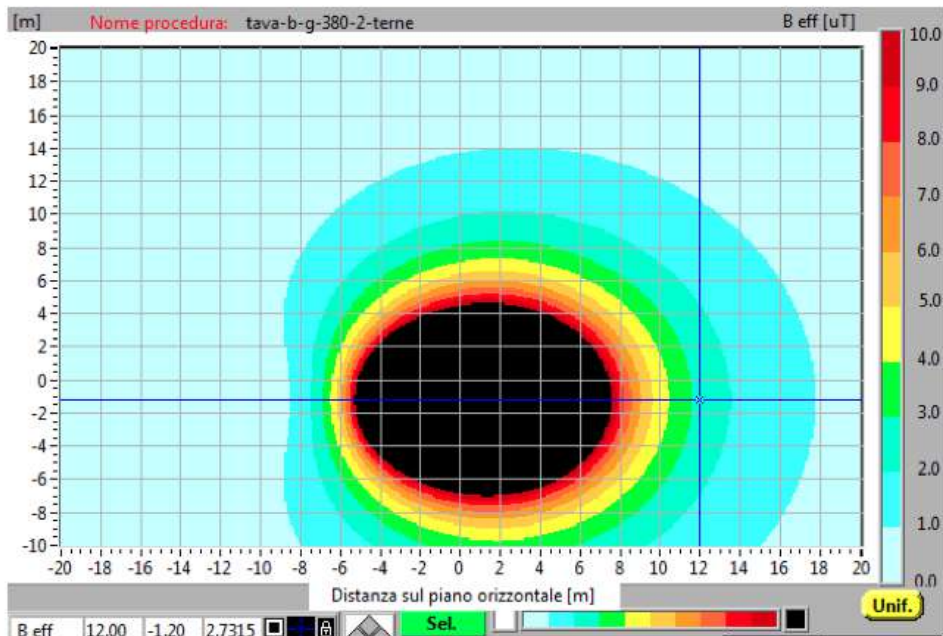


Figura 3: Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

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.

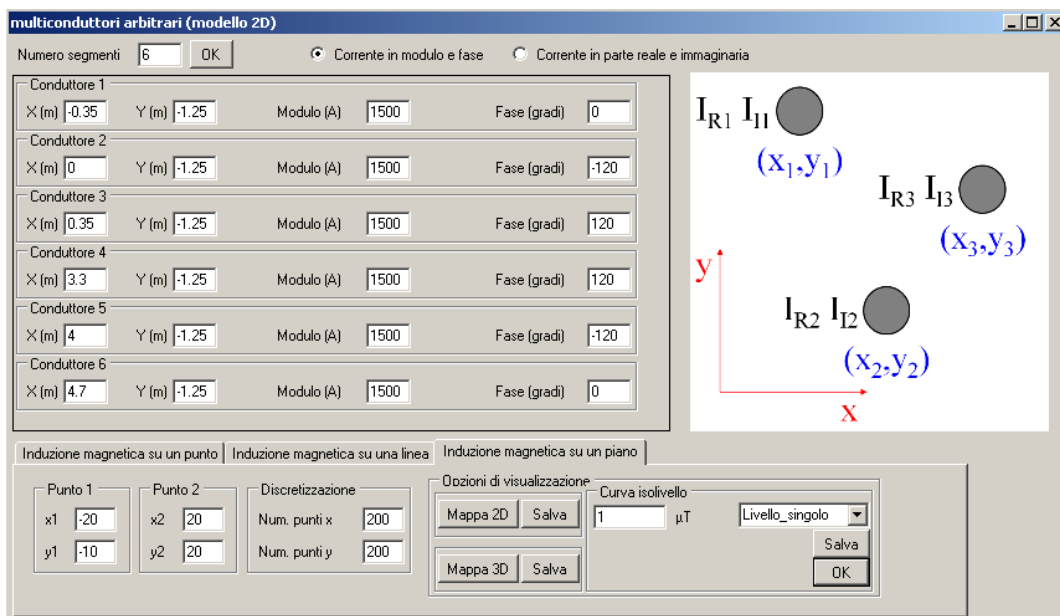


Figura 4: Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)”: dati definizione geometria e sorgenti

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

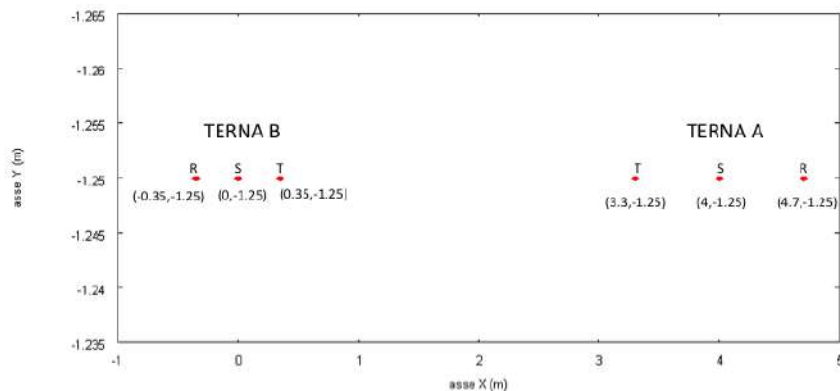


Figura 5: Geometria sorgenti

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

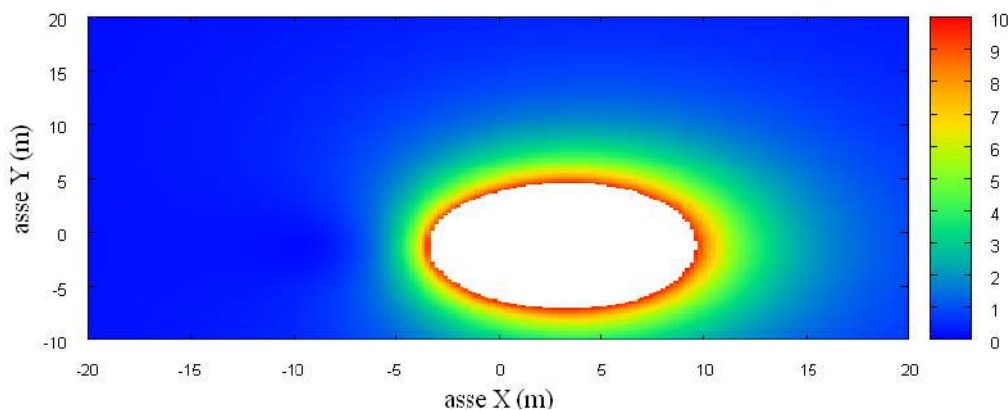


Fig. 6: Mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

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

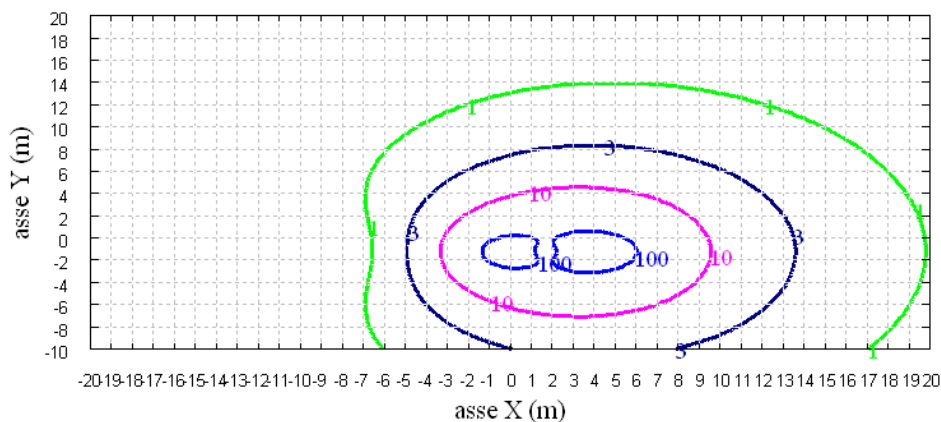
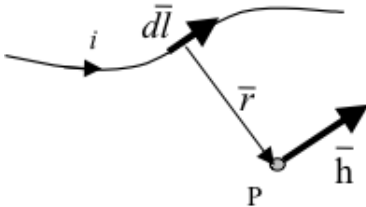


Fig. 7 Linee isolivello dell’induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®.

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:

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

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.

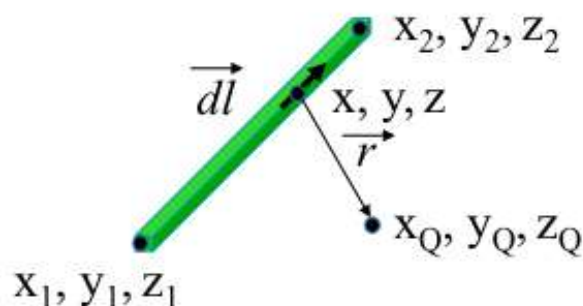


Fig. 8: Modello del segmento.

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

$$\hat{x} = x_1 + (x_2 - x_1)t$$

$$\hat{y} = y_1 + (y_2 - y_1)t$$

$$\hat{z} = z_1 + (z_2 - z_1)t$$

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.

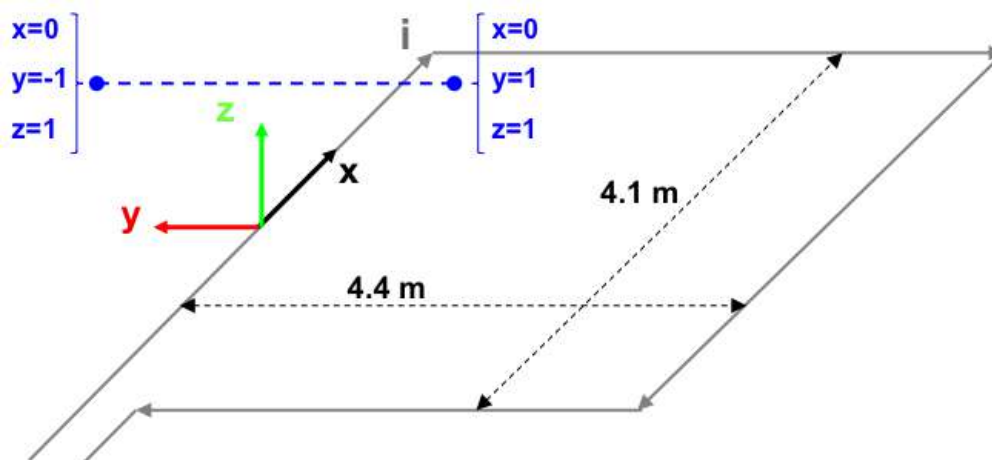


Fig. 9: Schema di spira quadrata.

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

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

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.

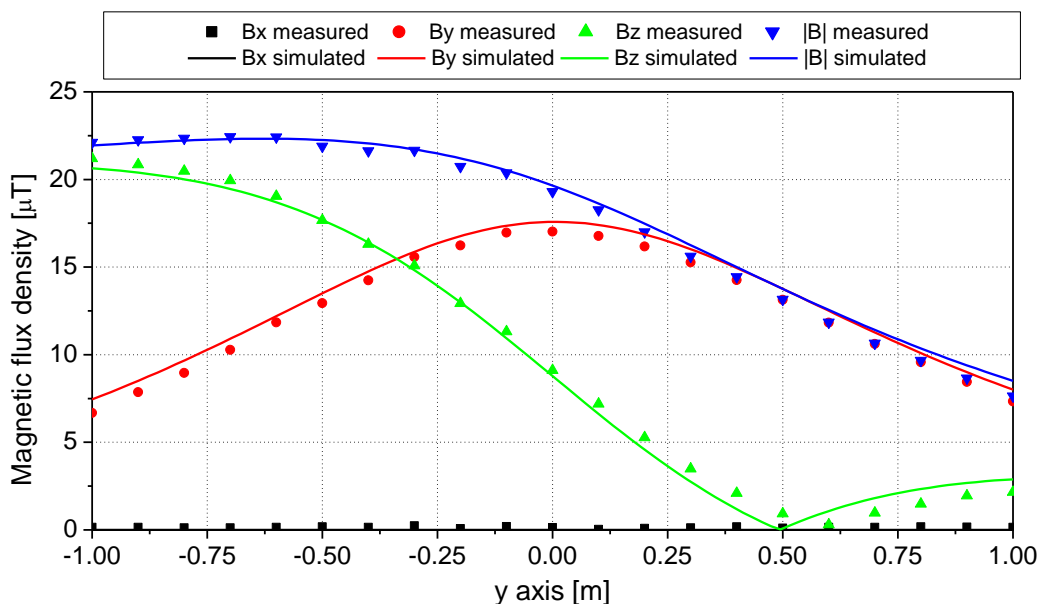


Fig. 10: Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

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.

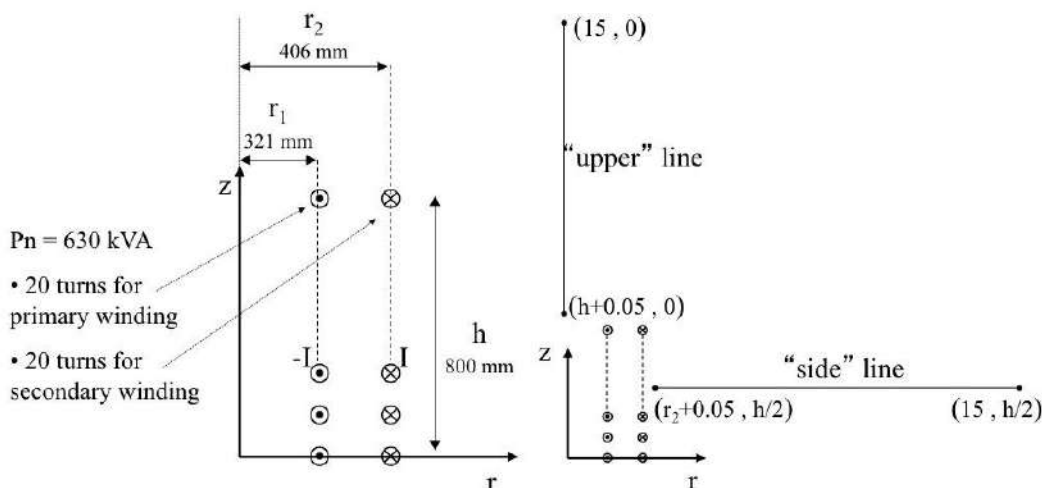


Fig. 11. Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

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).

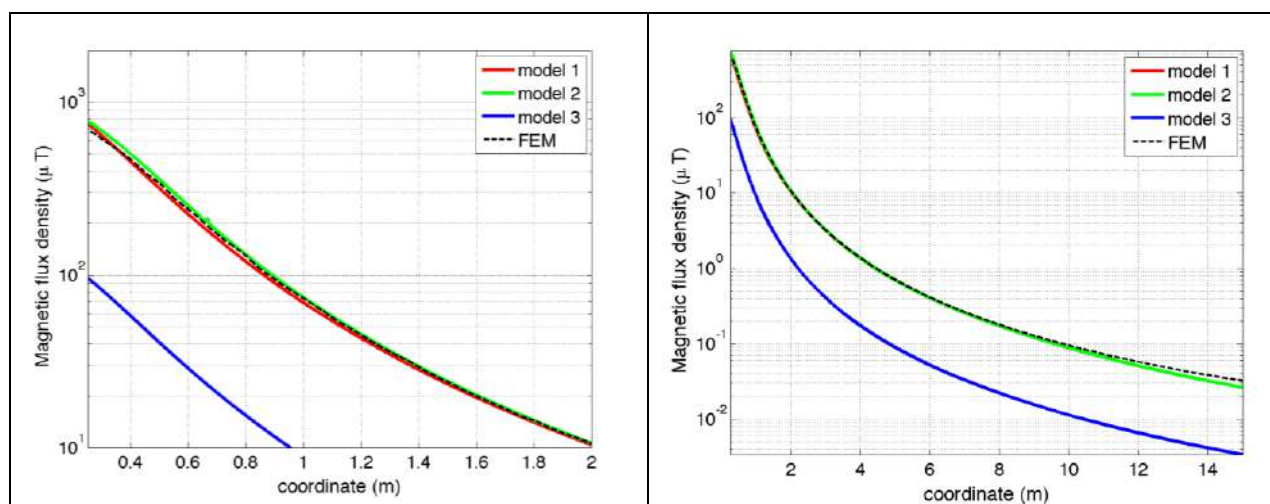


Fig. 12. Induzione magnetica lungo la linea laterale

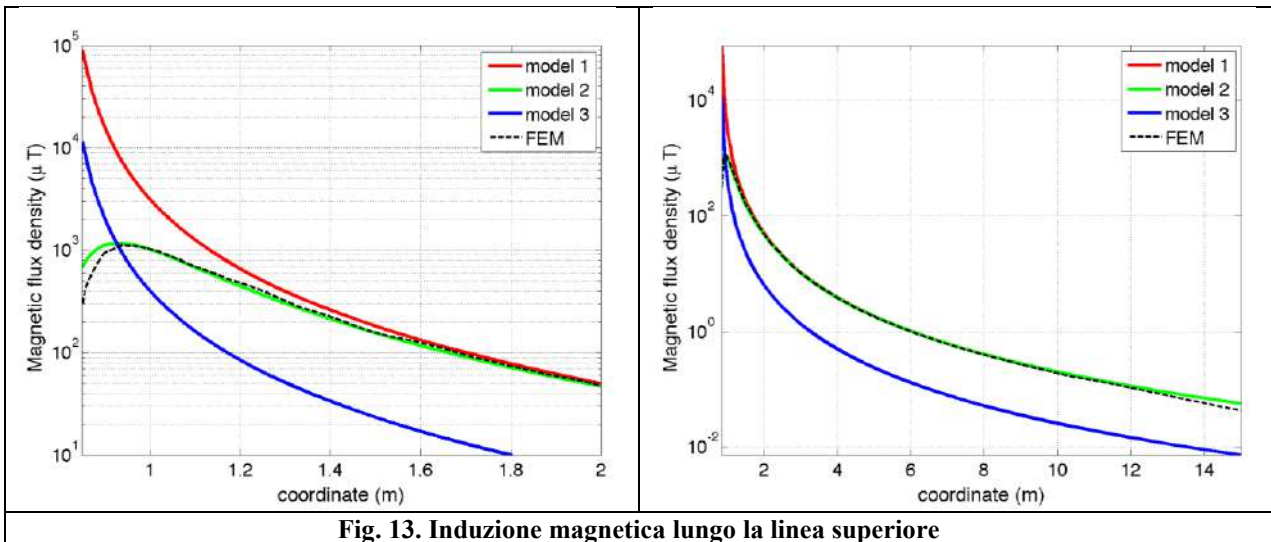


Fig. 13. Induzione magnetica lungo la linea superiore

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.

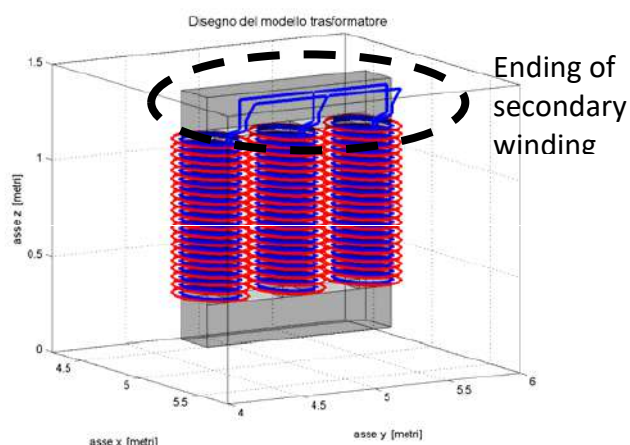


Fig. 14: Connessioni elettriche considerate al lati BT.

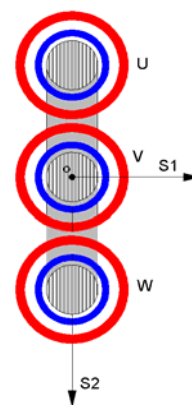


Fig. 15: Linee di calcolo S1 ed S2

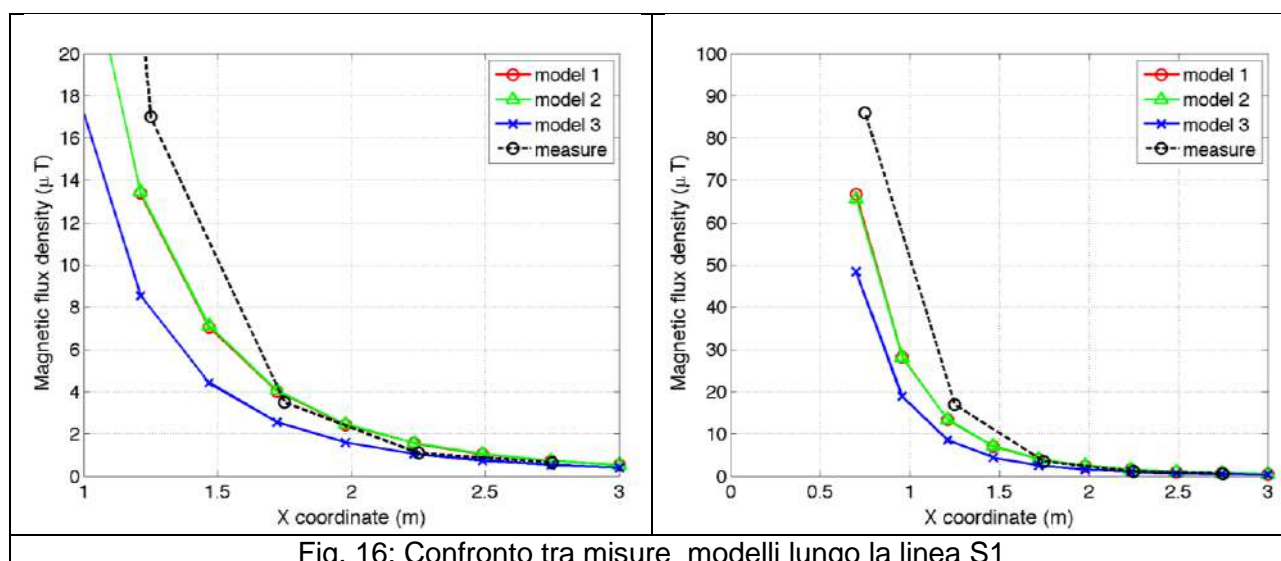


Fig. 16: Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

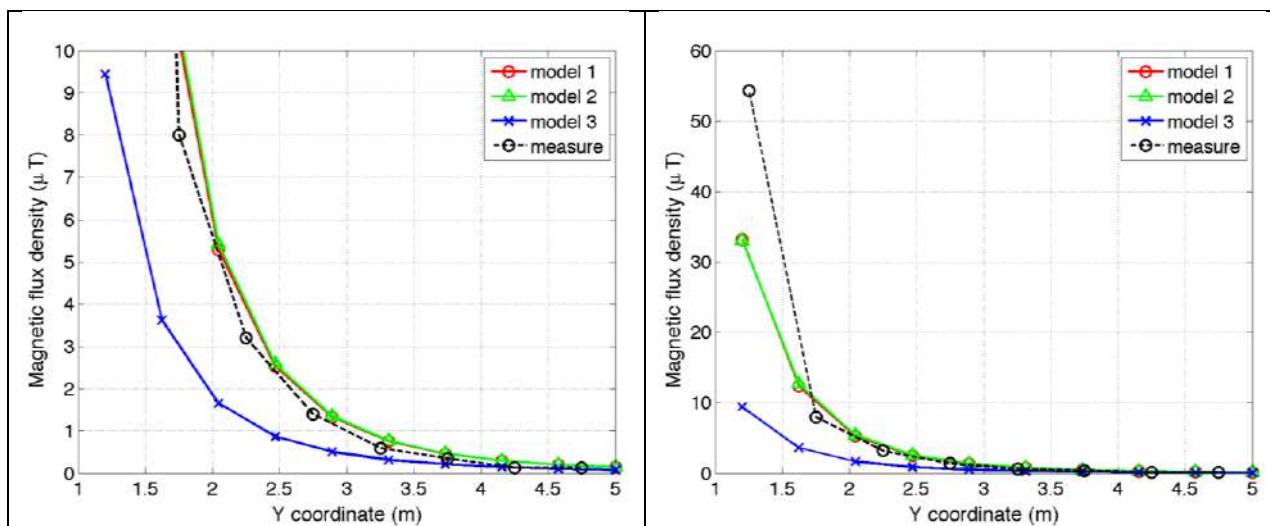


Fig. 17. Confronto tra misure modelli lungo la linea S2

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.