	
B	12/11/2018	Bertani	Delaiti	Aldini	Emissione a seguito richiesta di integrazioni ARPAE
A	2/8/2018	Bertani	Delaiti	Aldini	Emissione per approvazione
REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
INGEGNERIA & COSTRUZIONI					PROGETTO
					<p style="text-align: center;">POMPOSA LINEA 132 kV</p>
					TITOLO
SCALA	FORMATO	PAGINA / DI		DOCUMENTO	
-	A4	1 / 20		H 2 0 9 2 B	

1 Premessa

Il presente elaborato rappresenta la relazione relativa allo studio dei campi elettrici e magnetici generati dal tratto di elettrodotto aereo 132 kV fra la nuova cabina utente di trasformazione 132/15 kV, denominata CU Pomposa, alla nuova stazione elettrica RTN di smistamento 132 kV, denominata SE Carpani, integrato con i calcoli effettuati mediante software tridimensionale MAGIC della SATI SHELDING S.r.l. (di cui si riporta in allegato il documento di validazione del software, rilasciato dalla casa produttrice), così come richiesto da ARPAE con lettera del 10 ottobre 2018 con protocollo N. SAC 27649/2018.

L'elettrodotto in oggetto verrà realizzata, assieme alle altre opere descritte nel seguito, per garantire la fornitura di energia elettrica allo stabilimento della Società Kastamonu Italia Srl, già Falco del Gruppo Trombini, ubicato in località Pomposa, nel Comune di Codigoro Provincia di Ferrara, precedentemente alimentato in media tensione da e-distribuzione SpA, già Enel Distribuzione SpA.

La società Kastamonu Italia ha avanzato richiesta di connessione per una potenza in prelievo di 12 MW. Si rende pertanto necessaria - in base alla STMG - una connessione in AT in antenna ad una nuova stazione RTN, che conterà in entrata l'elettrodotto a 132 kV "Cannevie" - Ca' Tiepolo". La costruzione della SE RTN in progetto eliminerà, nel contempo, anche la connessione rigida dello stabilimento Conserve Italia sulla rete elettrica nazionale.

La presente relazione tratta del solo tratto di elettrodotto a 132 kV compreso tra il palo gatto (escluso) nella SE Carpani e il palo 10 (escluso) della nuova linea di utenza "SE Carpani - CU Pomposa" essendo l'unico oggetto di autorizzazione. I campi elettrici e magnetici prodotti dall'elettrodotto a 132 kV di nuova realizzazione saranno calcolati tenendo presente gli altri elettrodotti ad alta tensione esistenti nell'area. Allo stesso modo le Distanze di Prima Approssimazione, valutate in base al DM 29/5/2008, saranno calcolate tenendo presente il parallelismo con la linea elettrica esistente No. 1352 "Conserve all. - Conserve Italia" e la realizzazione della SE Carpani a cui l'opera in progetto è legata.

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 seguente riportiamo i 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.

Tabella 1 - valori come da normativa in vigore

	Campo magnetico (μT)	Campo elettrico (V/m)	NOTE
Limite di esposizione	100	5000	-
Valore di attenzione	10	-	Da verificarsi in luoghi adibiti a permanenza non inferiore alle 4 ore
Obiettivo di qualità	3	-	

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'obbiettivo 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 DMLLPP del 16 Gennaio 1991. Nella normativa viene specificato inoltre che, per le stazioni 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.)

La normativa regionale, con la DGR 1138/2008 così come modificata dalla DGR 978/2010 introduce il concetto di corridoio di fattibilità come la "porzione di territorio, di adeguata dimensione, destinata ad ospitare la localizzazione degli impianti elettrici previsti nei programmi di sviluppo delle reti tale da consentire la localizzazione di un tracciato tecnicamente realizzabile, tenuto anche conto della necessaria ricerca del consenso dei proprietari dei suoli e delle opere interferite. Tale corridoio coincide con la Distanza di Prima Approssimazione (DPA) di cui al D.M. 29/05/2008". La pianificazione territoriale provinciale individua i corridoi di fattibilità che comprendono i tracciati e le aree più idonee dove localizzare e quindi realizzare gli impianti di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Nell'ambito di tali corridoi non sono consentite nuove destinazioni d'uso che prevedano la permanenza di persone superiore a quattro ore giornaliere.

3 Calcolo del campo magnetico

3.1 Metodologia di calcolo

Al fine di stimare il campo magnetico prodotto dal tratto di elettrodotto a 132 kV da realizzarsi, si è proceduto considerando sia le indicazioni fornite dal DM 29/05/2008, sia quelle fornite dalle "Linee Guida per l'applicazione del punto 5.1.3 dell'allegato al DM 29/05/2008" elaborate da Enel, nonché la richiesta di approfondimenti di ARPAE che ravvisava la necessità di calcolare e quindi rappresentare la fascia di rispetto dell'elettrodotto mediante modello tridimensionale.

Si proceduto pertanto predisponendo prima il calcolo teorico utilizzando la corrente massima che può transitare sulle linee applicando il modello bidimensionale previsto dalla norma CEI 106-11, valido per conduttori orizzontali paralleli di lunghezza infinita, poi il calcolo tridimensionale utilizzando il software "Magic" di Sati Shielding di cui riportiamo in allegato " il documento di validazione del software". In tutti i casi si è tenuta in considerazione la vicinanza con l'esistente elettrodotto "Conserve all. - Conserve Italia".

Le sopra citate linee guida specificano, a valle di misure e valutazioni effettuate sulle linee elettriche facenti parte della rete di Enel, che "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 di 5 kV/m".

3.2 Calcolo bidimensionale dell'induzione magnetica

Il tratto di elettrodotto in esame a 132 kV, sarà armato con conduttori di alluminio-acciaio del diametro di 22,8 mm, pertanto la corrente in servizio normale sarà pari a 444 A. Come visibile dalla relazione tecnica la linea sarà realizzata con pali tralicciati e si prevede la realizzazione di 9 nuovi sostegni. Al fine di applicare lo spirito cautelativo della redazione delle DPA, dalle "Linee Guida per l'applicazione del punto 5.1.3 dell'allegato al DM 29/05/2008" elaborate da Enel si ricava che, per linee a 132kV con tralicci standard e conduttori del diametro di 22,8 mm la Dpa è di 16 m. Per la linea elettrica esistente "Conserve all. - Conserve Italia", che corre a 25 m a Nord rispetto alla linea in progetto ed è armata con conduttori sempre del diametro di 22,8 mm, la fascia di rispetto risulta sempre pari a 16 m.

Il DPCM 28/05/2008, per i casi di parallelismo tra linee a 132 kV con correnti uguali, stabilisce che la fasce di rispetto debbano essere ampliate del 10% dal lato esterno alle linee e del 20% dal lato tra le due linee: nel nostro caso quest'ultima considerazione non trova riscontro in quanto si considera continua la fascia centrale. Le DPA divengono così rispettivamente 18 m (17,6 m arrotondati a 18 m) dall'asse di entrambe le linee.

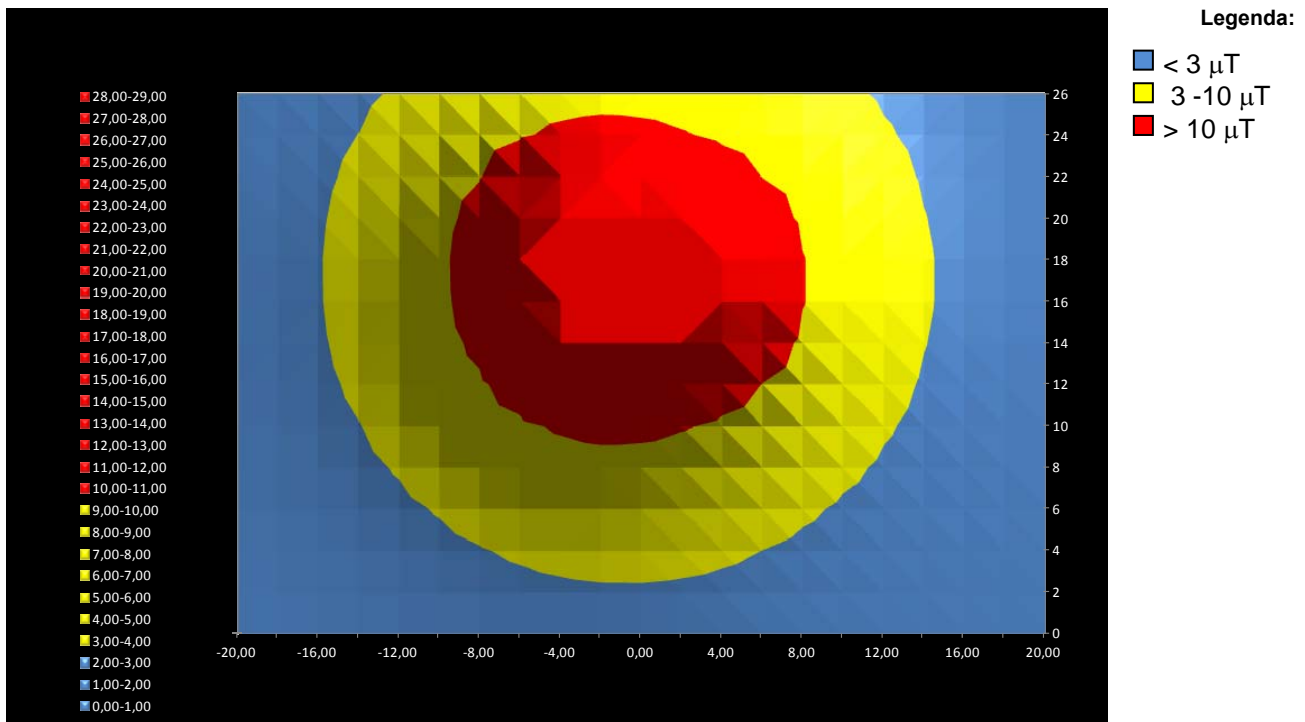
In realtà, l'elettrodotto esistente non è realizzato con sostegni standard ma con sostegni tubolari. Questi tipi di sostegni hanno i conduttori più vicini rispetto alla conformazione classica

Come ultimo calcolo si è verificato il campo magnetico prodotto in prossimità della stazione dalle 4 linee che ad essa saranno collegate, al fine di verificare la conformazione della fascia di rispetto delle linee in prossimità dell'accesso in stazione.

3.2.1 Risultati

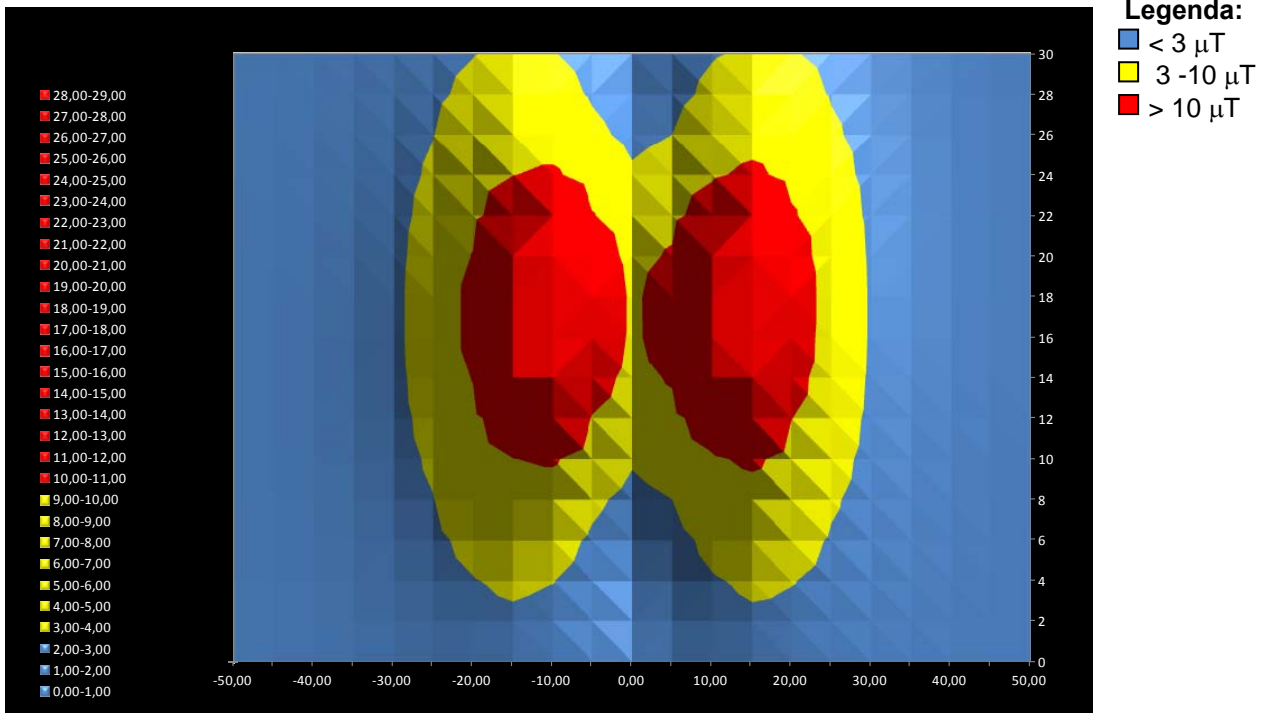
Nel grafico 1 è riportato il campo magnetico generato da un traliccio standard. Si osserva che la DPA massima è di quasi 16 m, molto simile a quella individuata dalle linee guida.

Grafico 1: campo magnetico generato dal sostegno tralicciato



Riportiamo grafico 2 il campo magnetico generato da due pali tralicciati affiancati. Le fasce di rispetto dei 3 μT risultano pari a 30 metri dal lato nord e 29 metri dal lato sud a partire dalla mezzeria dei due elettrodotti, che equivalgono a 17,5 m dall'asse della linea a nord e 16,5 metri dall'asse della linea a sud (la differenza è dovuta al lato dove sono posizionati i doppi sbracci).

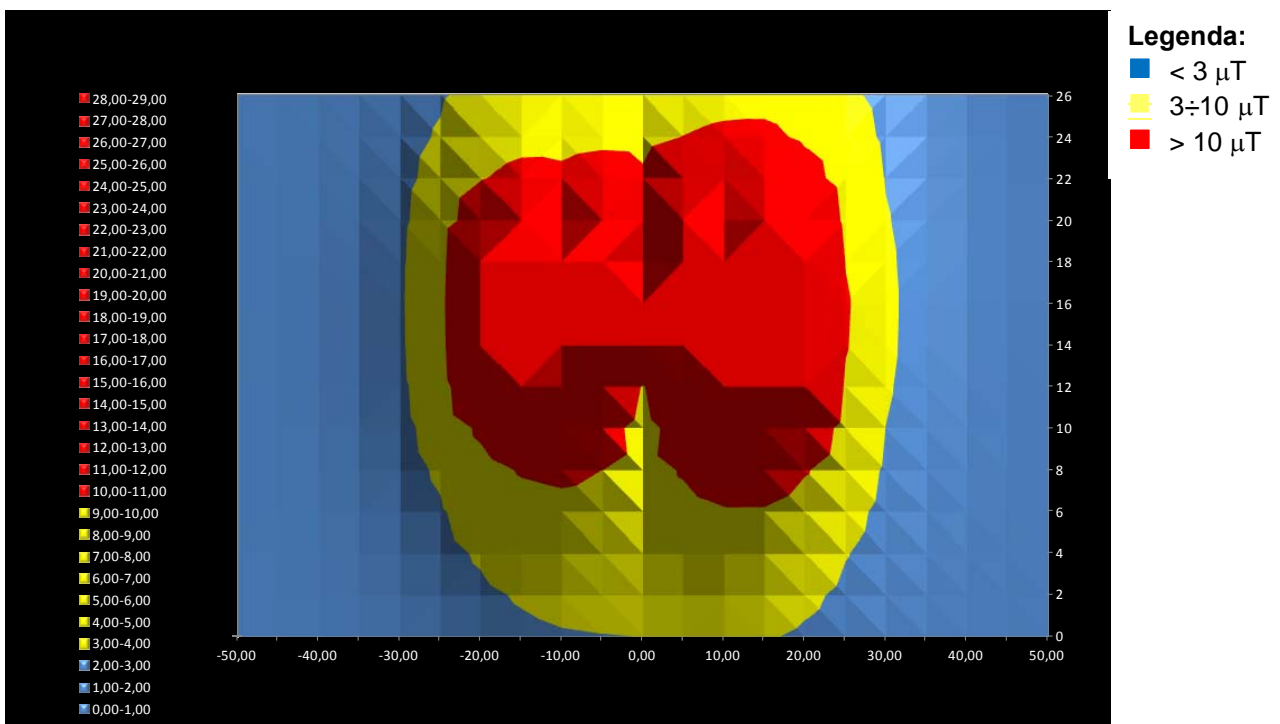
Grafico 2: simulazione del campo magnetico generato dai due elettrodotti su sostegni tralicciati



Da un'analisi dei risultati riportati nei grafici 2 e 3 si evince che la fascia di rispetto del valore di qualità di 3 μT risulta minore, seppur di poco alla fascia di rispetto prevista dalle "Linee Guida per l'applicazione del punto 5.1.3 dell'allegato al DM 29/05/2008" elaborate da Enel. Essendo però questa differenza minima si ritiene, nello spirito cautelativo di definizione delle Dpa di applicare le distanze previste dalle linee guida stesse.

Riportiamo nel seguito le simulazioni relative ai raccordi delle 4 linee elettriche alla stazione RTN: le 4 campate hanno lunghezza variabile tra 30 e 60 metri, e vanno da un palo tralicciato all'estremo di derivazione dalle linee al palo gatto in stazione.

Grafico 3: simulazione del campo magnetico generato dalle 4 linee entranti in stazione con configurazione come da palo gatto



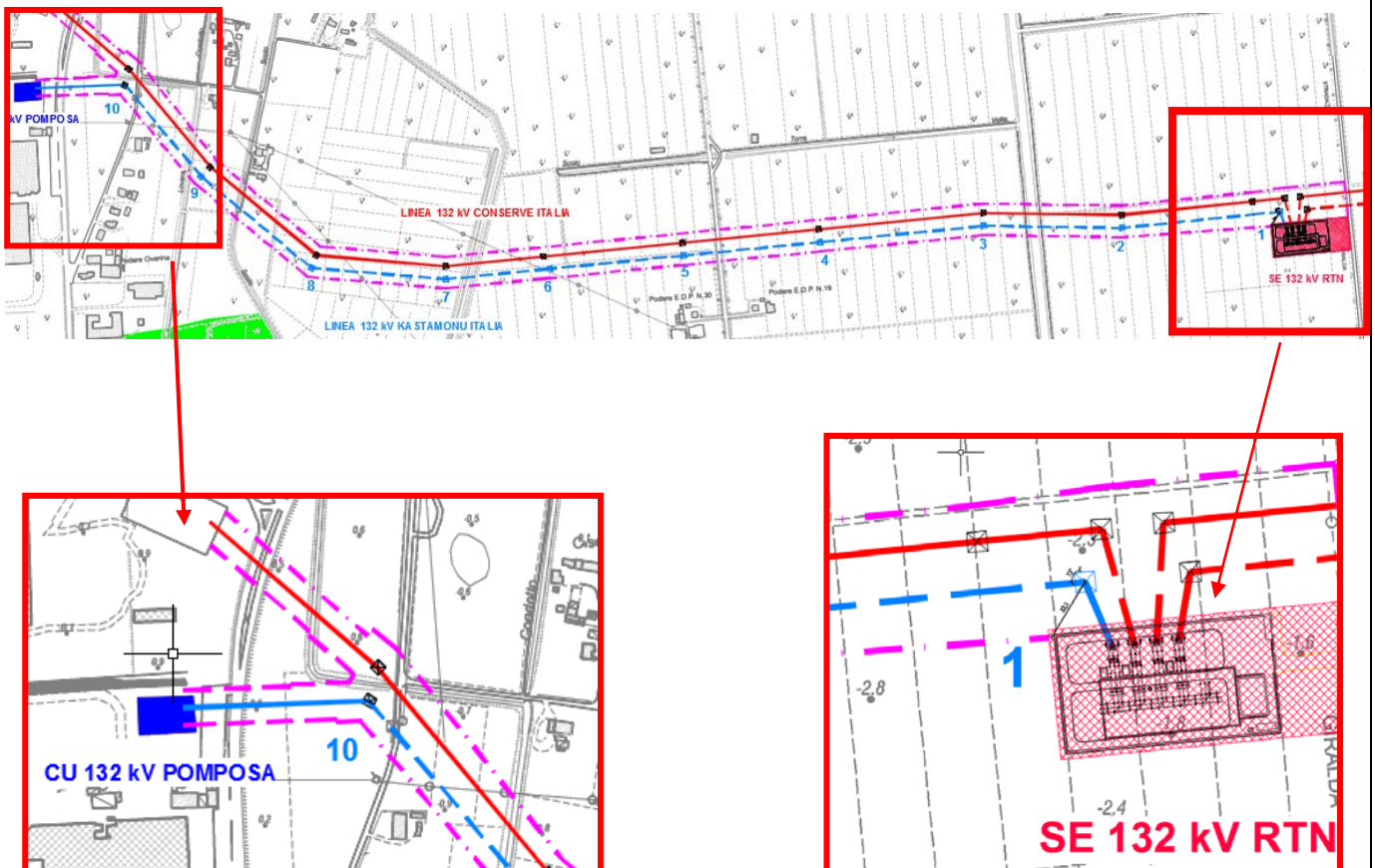
Le fasce di rispetto dei 3 μ T risultano pari a 30 metri dal lato ovest e 32 dal lato est.

Il DPCM 29/05/2008 prevede che in caso di cambi di direzione compresi tra 5° e 90° gradi occorra calcolare una maggiore ampiezza della fascia in prossimità della bisettrice. Questo è stato fatto e il risultato è riportato nella figura 1. In prossimità della bisettrice la DPA risulta pari a 32,2 metri in base a cui in prossimità dell'ingresso in stazione si avrà un allargamento della fascia di rispetto.

La realizzazione dell'elettrodotto permetterà di eliminare il collegamento tra il palo n. 10, ultimo palo prima dell'ingresso della linea nella CU Pomposa, ed il sostegno 2 dell'elettrodotto esistente "Conserve all. - Conserve Italia". Di conseguenza in tale area si andranno a modificare i campi magnetici prodotti e, conseguentemente, le distanze di prima approssimazione.

Applicando sempre quanto definito dal DPCM 29/05/2008 e dalle linee guida di Enel la fascia di rispetto in prossimità della CU Pomposa risulterà come riportato in figura 1.

Figura 1: rappresentazione della fascia di rispetto del raccordo alla stazione RTN e della modifica a valle della rimozione del collegamento provvisorio



3.3 Calcolo tridimensionale dell'induzione magnetica

Il presente calcolo è stato elaborato al fine di rispondere agli approfondimenti richiesti da ARPAE con lettera del 10 ottobre del 2018 con protocollo N. SAC 27649/2018. Si è proceduto al calcolo delle fasce di rispetto mediante modello tridimensionale, utilizzando il software MAGIC della SATI SIELDING S.r.l. di cui si riporta in allegato "Il documento di validazione del software", rilasciato dalla casa produttrice.

Il software garantisce la possibilità di calcolare i campi magnetici prodotti da diverse linee ad alta tensione con geometria e disposizione dei conduttori variabile, garantendo quindi la possibilità di esaminare nel dettaglio i punti critici rilevati sulla linea, quei punti cioè dove - oltre al parallelismo sulla linea - si riscontra anche un cambio di direzione. Per alleggerire il processo di calcolo si è suddivisa la linea in tratte di 2 o più campate, in prossimità dei diversi punti critici individuati:

1. tratta di elettrodotto compresa tra la CU Pomposa e il traliccio 8, individuato come tratto a maggiore criticità in quanto unico tratto in cui si ritrova vicinanza con abitazioni;
2. tratto compreso tra i tralicci 9 e 6, in cui si ha una variazione significativa della direzione dell'elettrodotto;
3. tratta tra il traliccio 6 e il traliccio 4 per evidenziare le problematiche del ricettore 3 individuato in prossimità del traliccio n. 5;
4. tratta dal sostegno 3 l'ingresso alla stazione RTN, (oggetto di un altro procedimento autorizzativo) dove si ha una piccola variazione della traiettoria e la deviazione per l'ingresso in stazione.

In allegato 2 riportiamo la planimetria dell'elettrodotto in oggetto, con indicazione dei ricettori individuati in prossimità della linea e dei punti in cui è stato effettuato il calcolo in sezione del campo magnetico al fine descrizione caratterizzare il campo in prossimità dei ricettori stessi.

Si ricorda che la stazione RTN Carpani con l'allacciamento alla linea esistente "Canneviè – Cà Tiepolo", la CU Pomposa e il tratto di elettrodotto dalla CU Pomposa al traliccio 10 non sono oggetto di questo procedimento autorizzativo, ma in quanto interferenti con esso, sono comunque stati presi in considerazione nel calcolo.

Dato che il tratto di elettrodotto in esame a 132 kV, sarà armato con conduttori di alluminio-acciaio del diametro di 22,8 mm, la corrente di calcolo utilizzata è pari alla corrente in servizio normale come definita dalla norma CEI 11-60 di 444 A. Si ricorda che la corrente massima che effettivamente potrà transitare sull'elettrodotto è pari 71 A, che corrisponde alla corrente nominale di targa del trasformatore da 16 MVA che limita la corrente che può essere assorbita dalla ditta Kastamonu Italia. Come detto anche l'elettrodotto parallelo, denominato "Allacciamento a conserve Italia" è armato con conduttori del diametro di 22,8 mm.

3.3.1 Risultati

1.Tratta dalla CU Pomposa al traliccio N.8

Riportiamo nei grafici successivi il calcolo del campo magnetico come risultante dal software di simulazione MAGIC per le tre campate comprese tra la CU Pomposa e il traliccio 8 a una quota rispettivamente di 20 e 15 metri dal livello del terreno, che risulta essere la quota a cui si rileva il campo magnetico massimo, per come desunta dalle sezioni e a 1,5 metri dal terreno, che corrisponde all'altezza del piano abitato della casa più vicina all'elettrodotto.

Figura 2: campo magnetico a 20 m dal terreno

Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=20

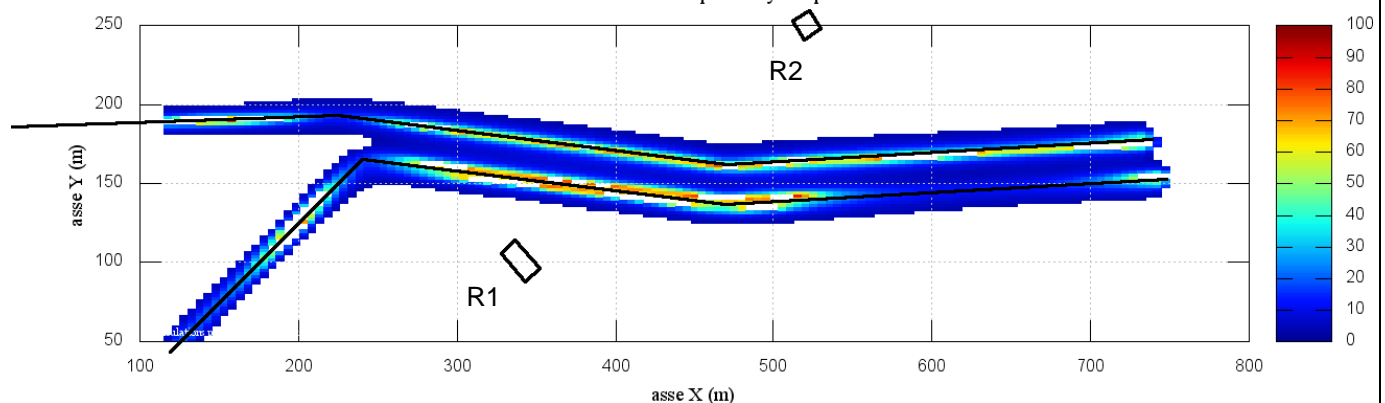


Figura 3: limite dei 3 μ T a 20 m dal terreno

Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=20

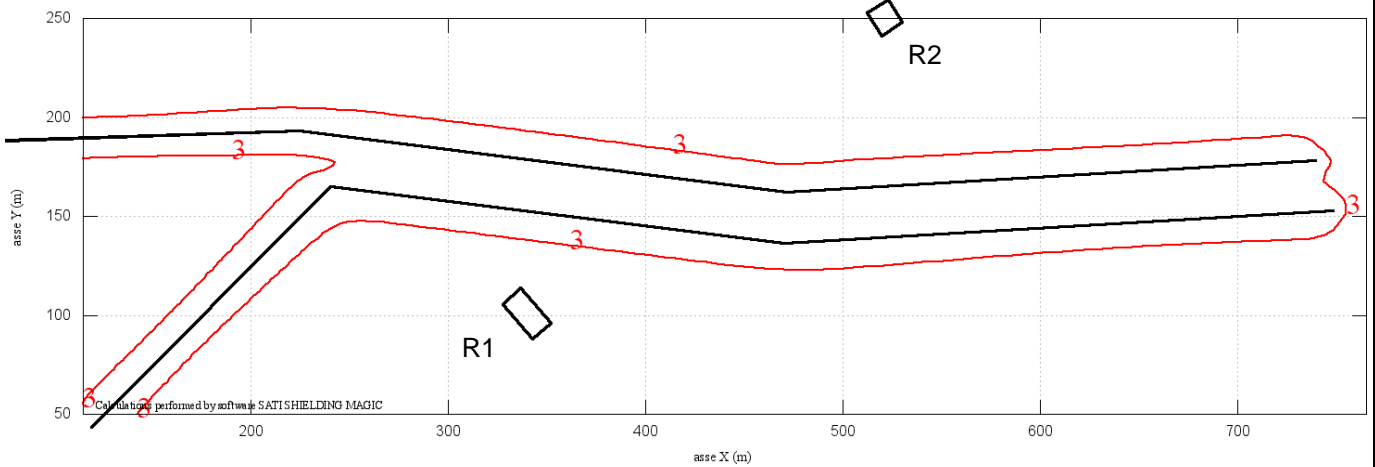


Figura 4: campo magnetico a 15 m dal terreno

Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=15

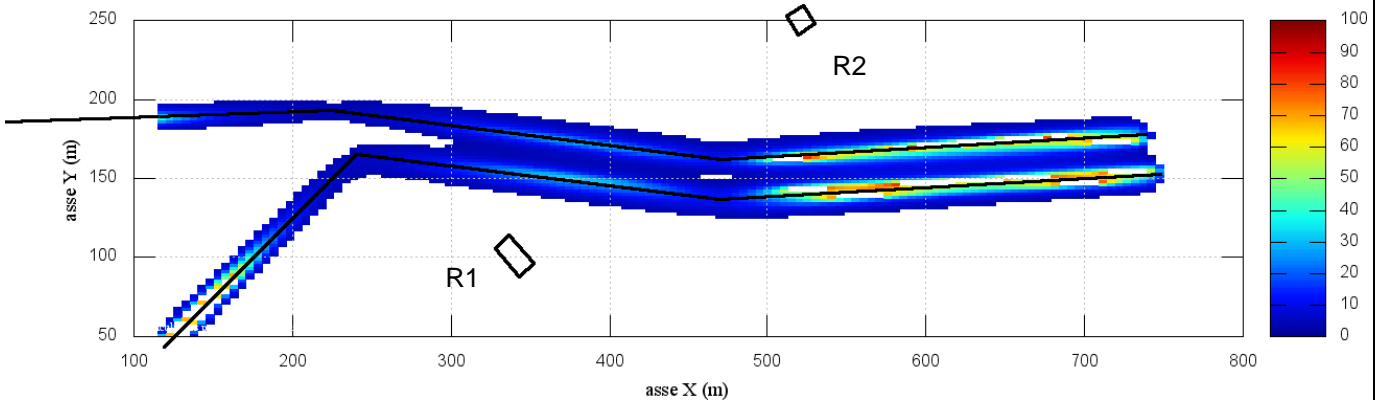
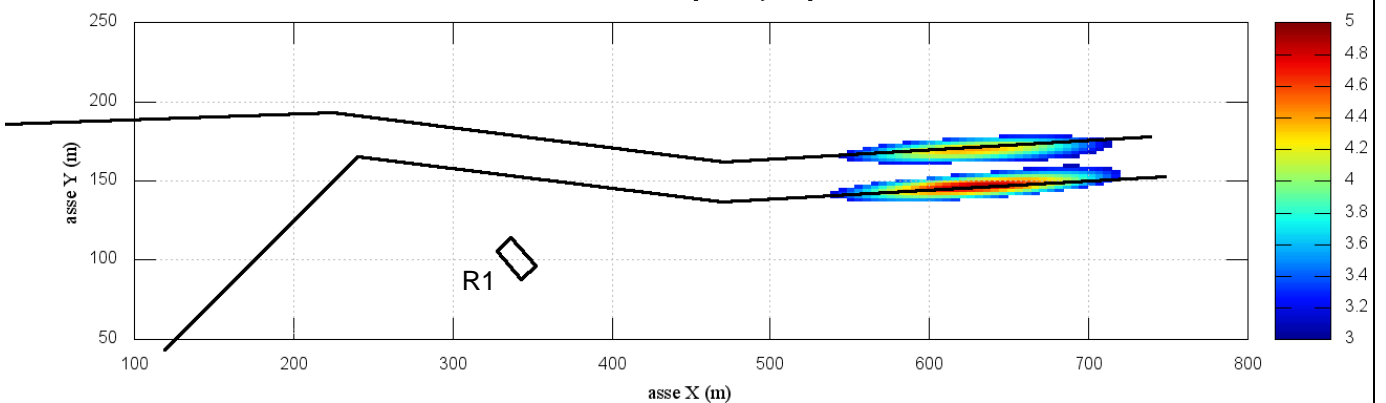


Figura 5: campo magnetico a 1,5 m dal terreno

Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=1,5



Riportiamo nel seguito il grafico del campo magnetico calcolato nella sezione corrispondente al punto più vicino alla casa individuata come ricevitore 1 e di seguito il grafico del valore di qualità di 3 μ T con indicazione della distanza dall'asse dell'elettrodotto a cui il limite viene raggiunto. Gli stessi grafici vengono riportati anche per il ricevitore 2. Come detto in allegato 2 si riporta la planimetria con individuazione dei ricettori della posizione delle sezioni 1(in prossimità di R1) e 2 (in prossimità di R2) e una foto dei ricettori stessi, per facilitarne la caratterizzazione.

Figura 6: sezione 1 - campo magnetico in corrispondenza di R1
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=336,5

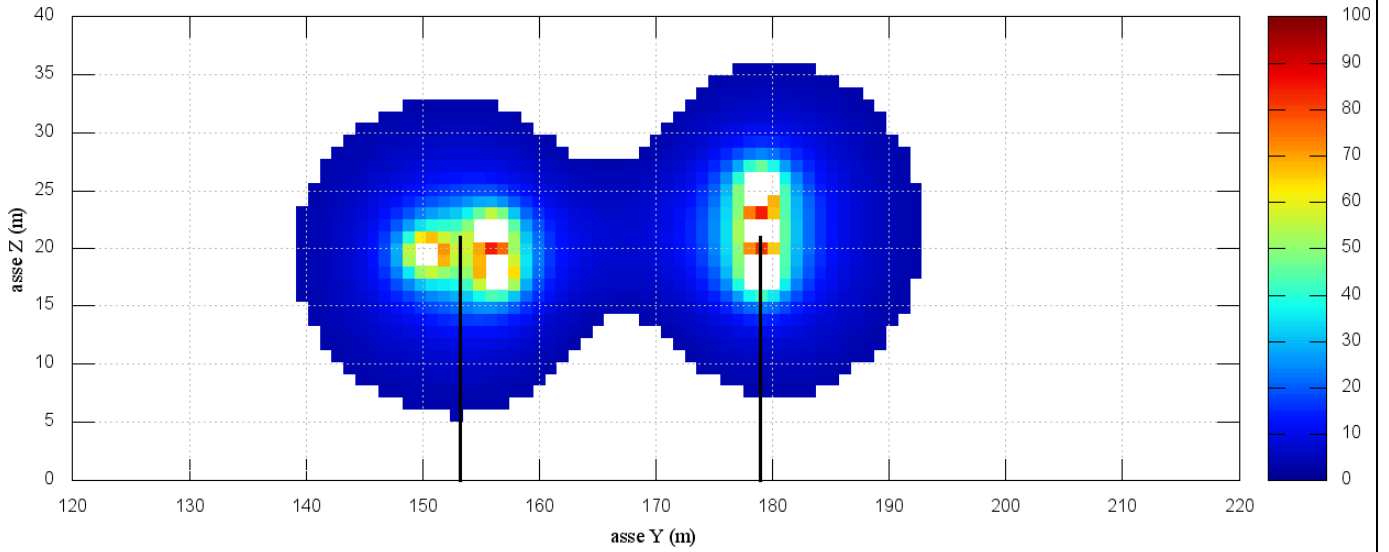


Figura 7: sezione 1 - campo magnetico in corrispondenza di R1
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=336,5

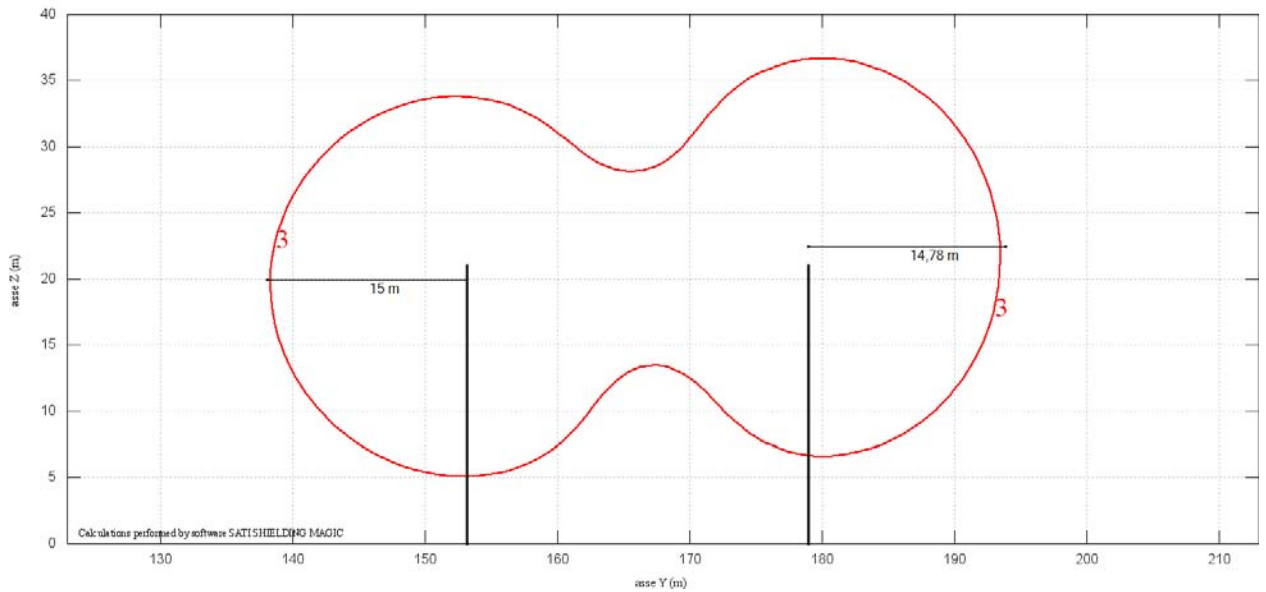


Figura 8: sezione 2 - campo magnetico in corrispondenza di R2
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=545

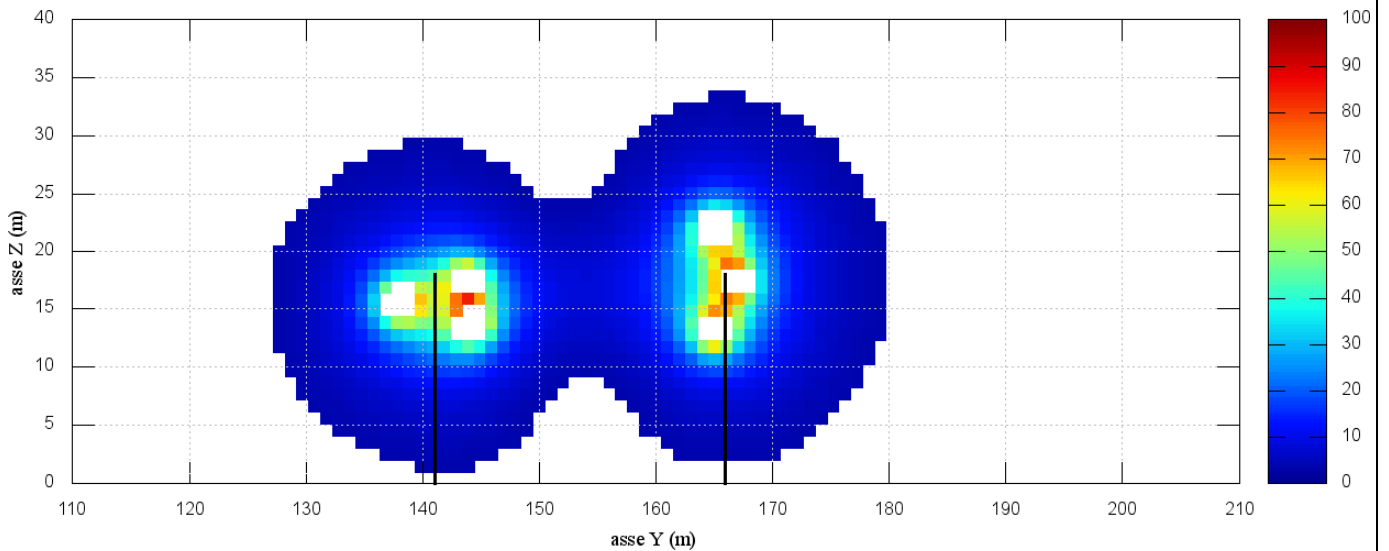
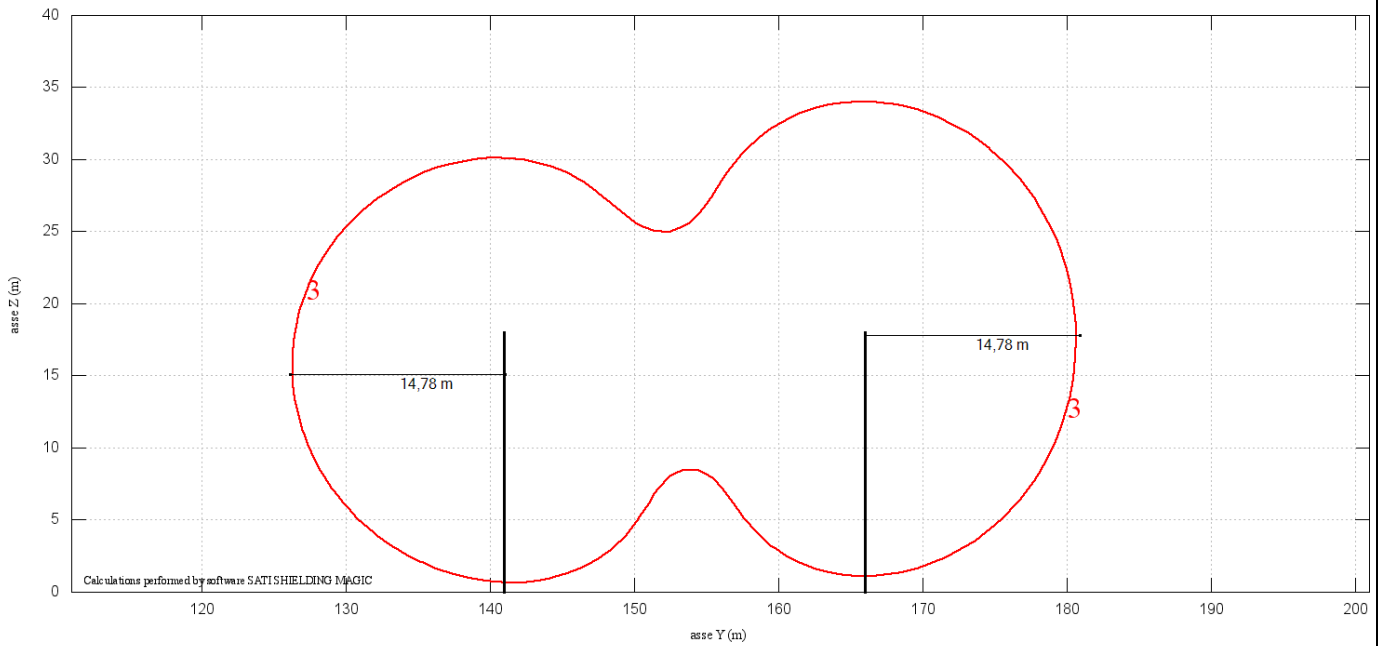


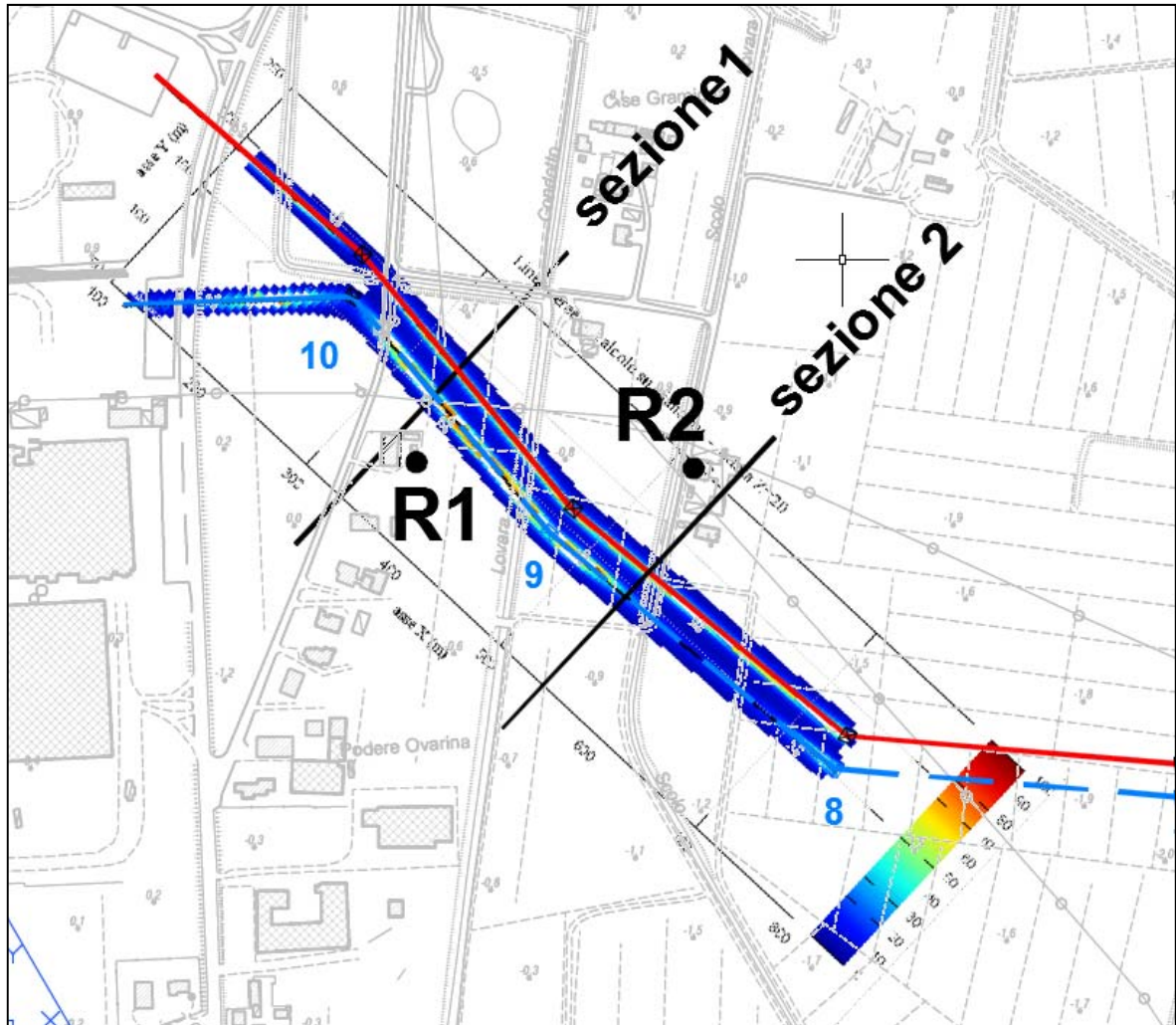
Figura 9: sezione 2 - campo magnetico in corrispondenza di R2

Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=545



Infine riportiamo il grafico del campo magnetico rilevato a 20 m dal suolo, sovrapposto alla planimetria dell'area in oggetto in modo da poter individuare le fasce di rispetto dell'elettrodotto.

Figura 10: planimetria con indicazione del campo magnetico a 20 m dal terreno e delle linee di sezione dei grafici 6,7,8 e 9



Tratta dal traliccio 9 al 7:

Si riporta il grafico del campo magnetico generato tra il sostegno 9 e il sostegno 7 ad una altezza di 15 metri dal suolo e a 1,5 m dal piano di campagna. Si riporta successivamente la sezione 3 con il calcolo del campo magnetico in corrispondenza del sostegno n.8, con l'individuazione della distanza a cui è garantito il rispetto del valore di qualità di $3 \mu\text{T}$.

Figura 11: campo magnetico a 15 m dal terreno
Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=15

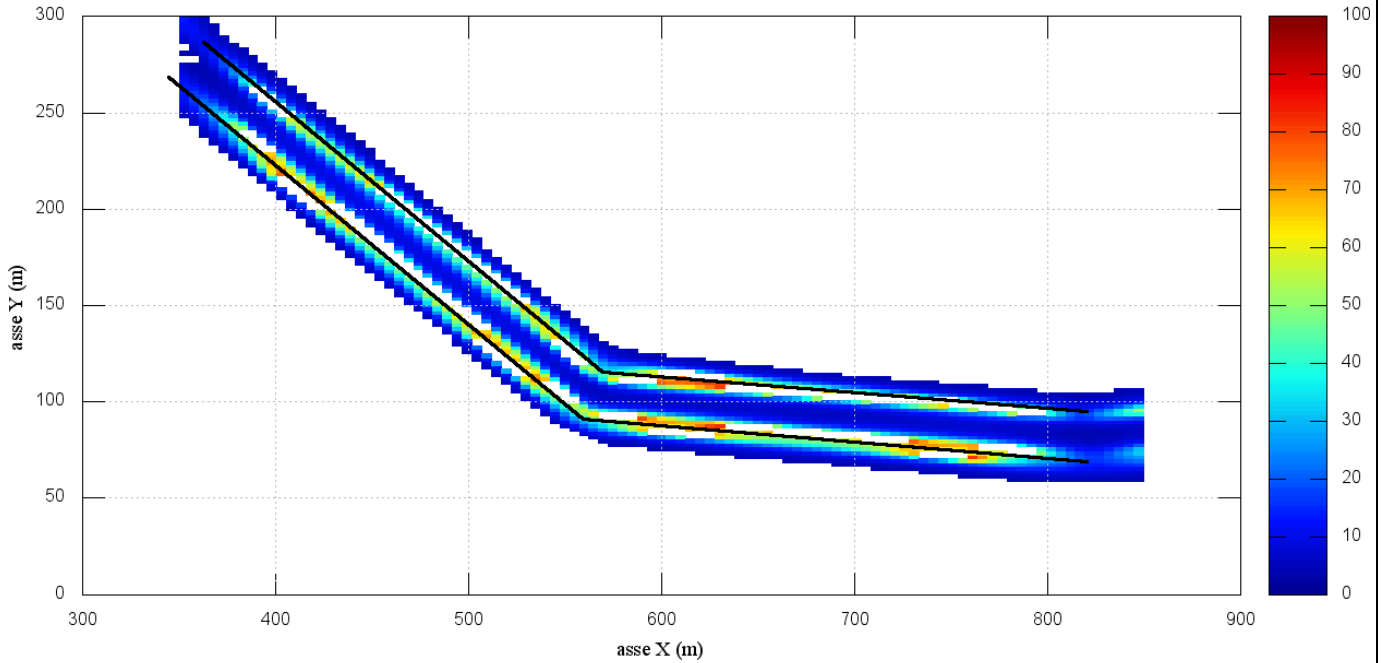


Figura 12: limite dei $3 \mu\text{T}$ a 15 m dal terreno
Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=15

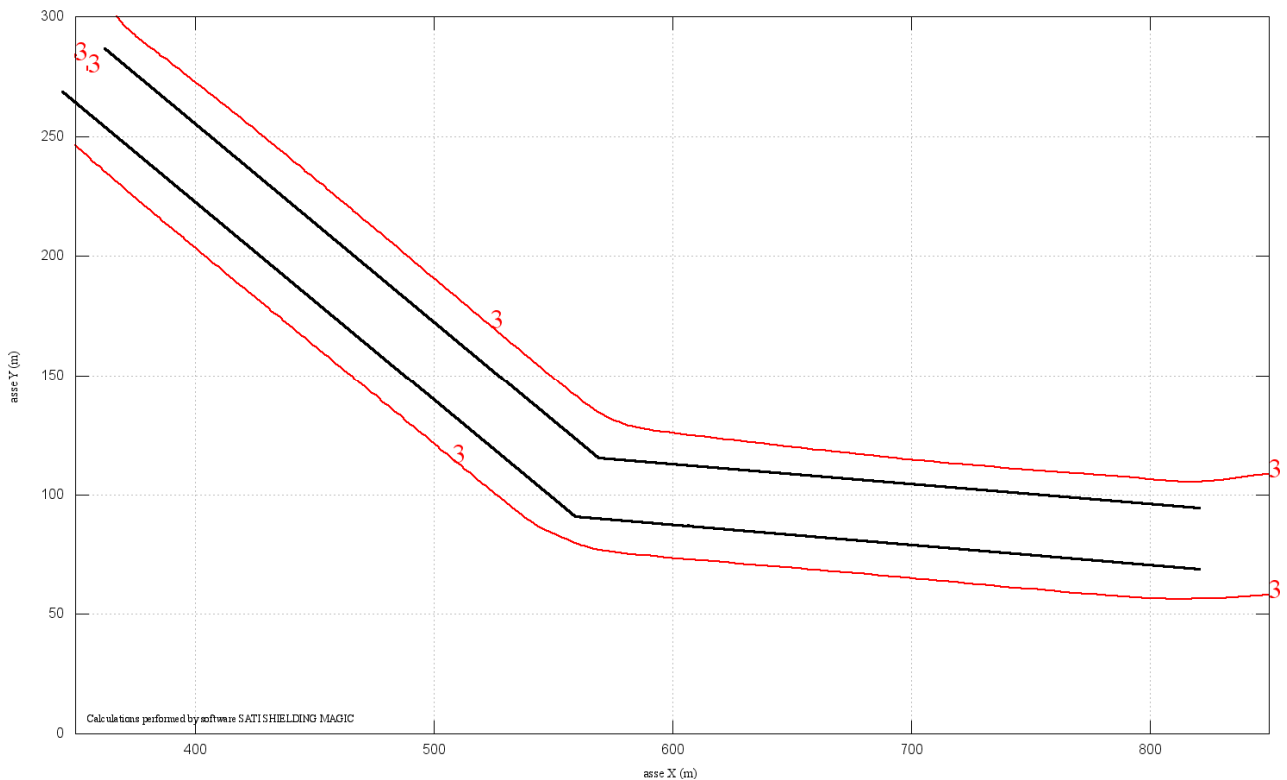


Figura 13: campo magnetico a 1,5 m dal terreno
Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=1,5

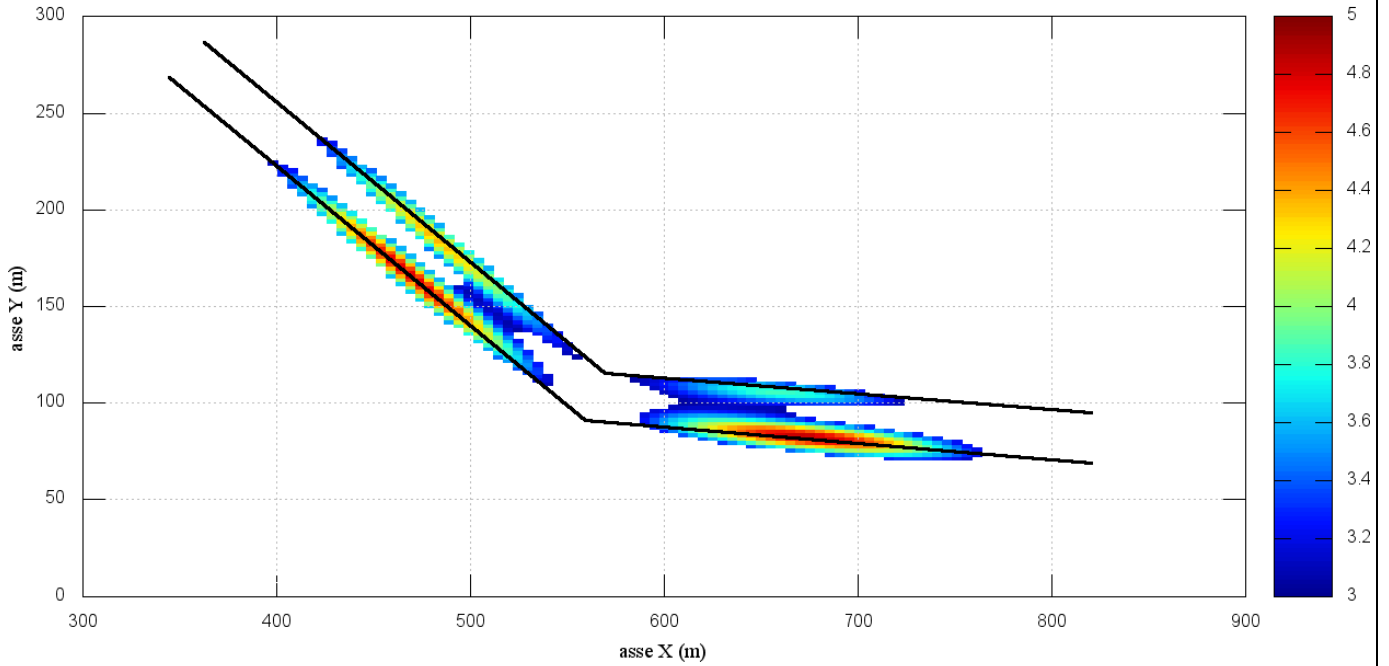
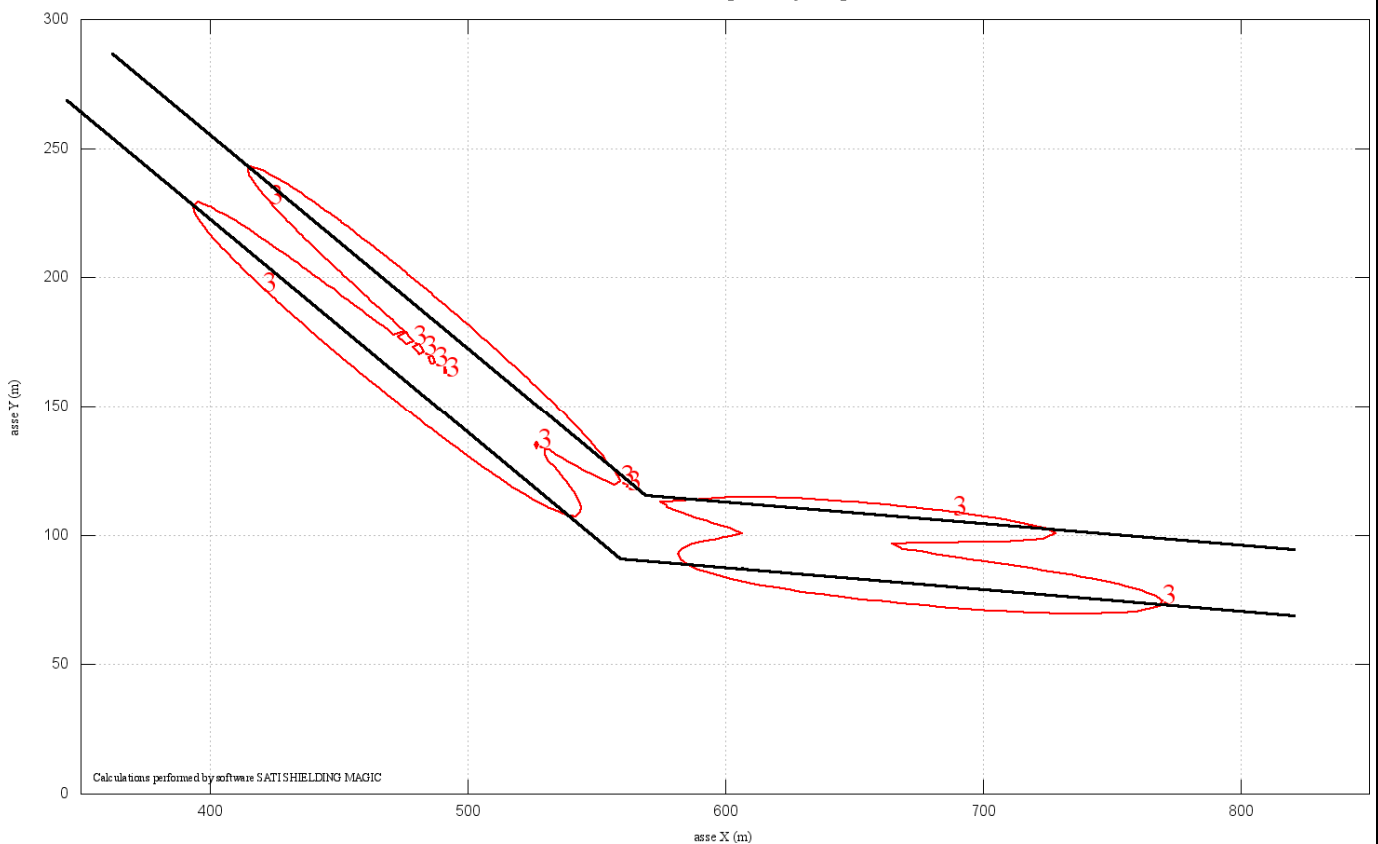


Figura 14: limite dei 3 μ T a 1,5 m dal terreno
Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=1,5



Di seguito riportiamo anche la sezione del campo magnetico in prossimità del traliccio 8 dove si ha un significativo cambio di direzione delle linee.

Figura 15: sezione 3 - campo magnetico in corrispondenza del traliccio n.8
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=606,5

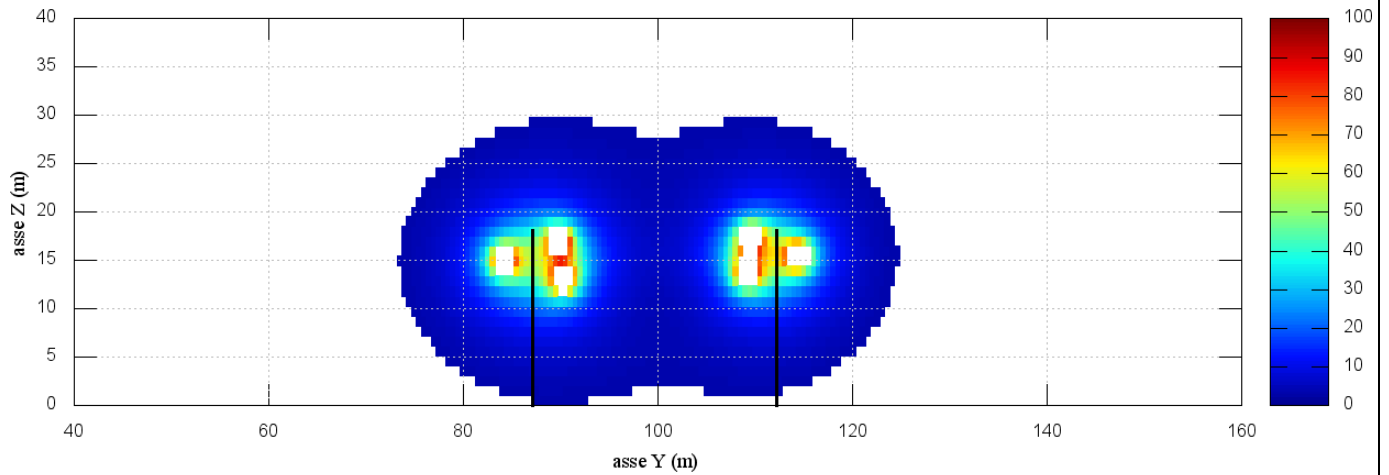
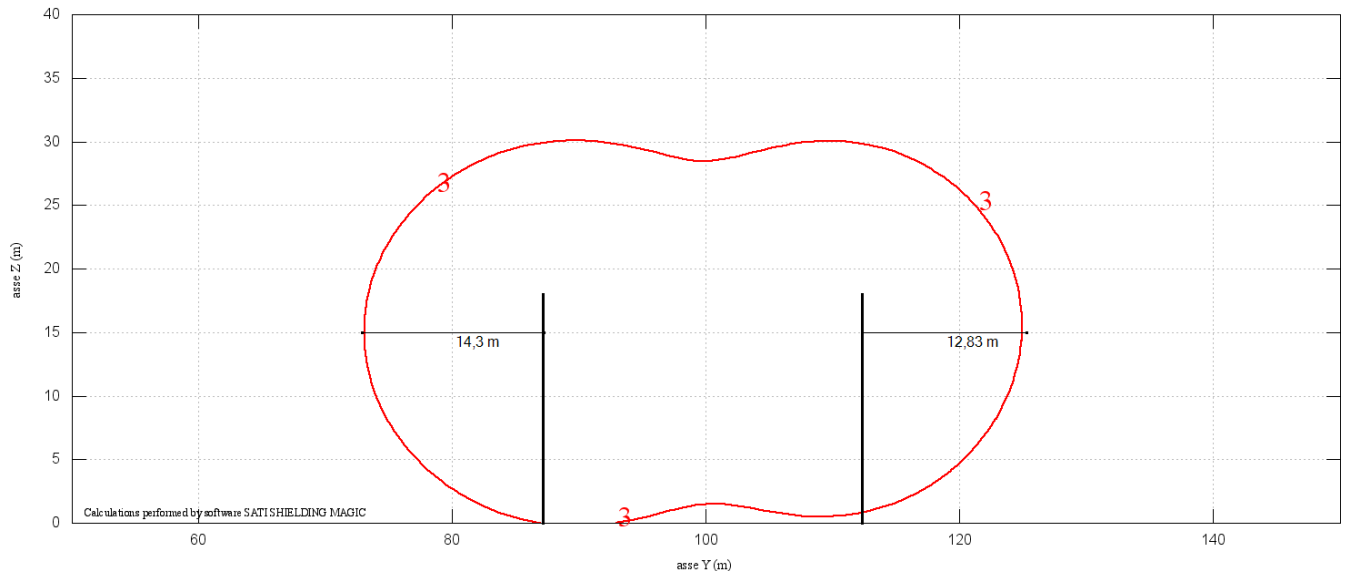


Figura 16: sezione 3 - limite dei 3 μ T in corrispondenza del traliccio T8
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=606,5



Tratta dal traliccio 6 al traliccio 4:

Tra il sostegno n.5 e il sostegno n. 4 sono presenti 2 abitazioni le cui immagini sono riportate in allegato, che vengono denominate ricettore 3a e 3b.

In prossimità di tali ricettori riportiamo pertanto i grafici rispettivamente a 15 e 1,5 metri dal suolo e le due sezioni 4 e 5 (come individuate in allegato 2) con rispettivo limite dei 3 μ T in corrispondenza dei ricettori.

Figura 17: campo magnetico a 15 m dal terreno
Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=15

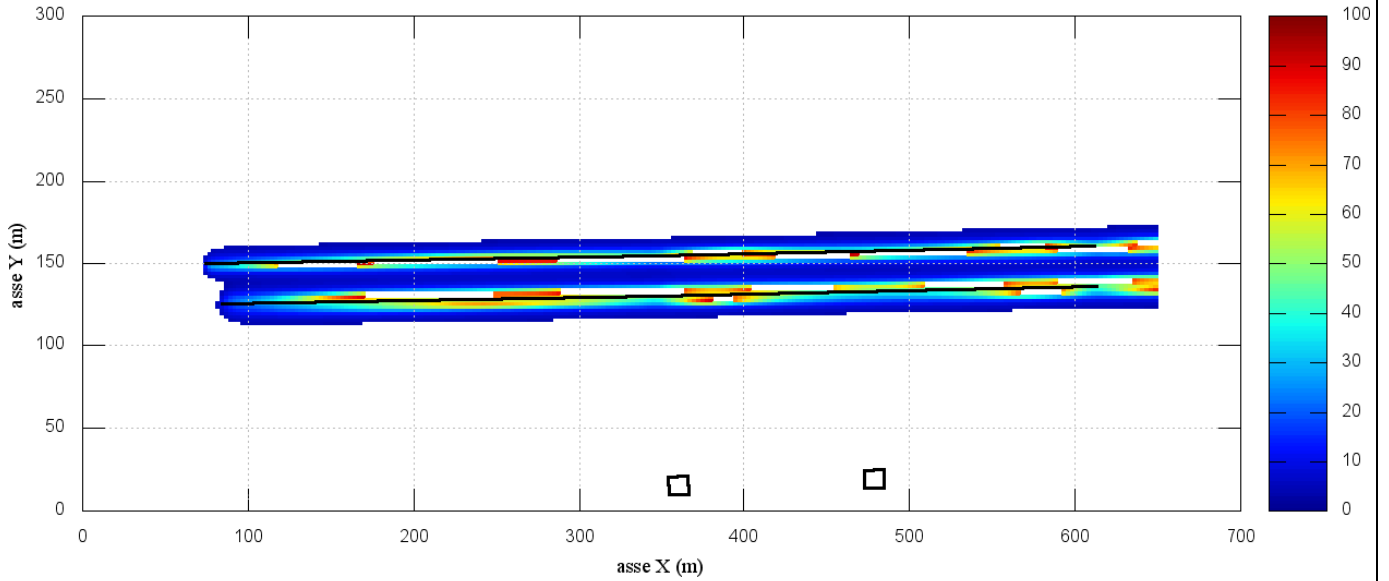


Figura 18: planimetria tra i sostegni n.4 e n.6 con limite dei 3 μT

Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=15

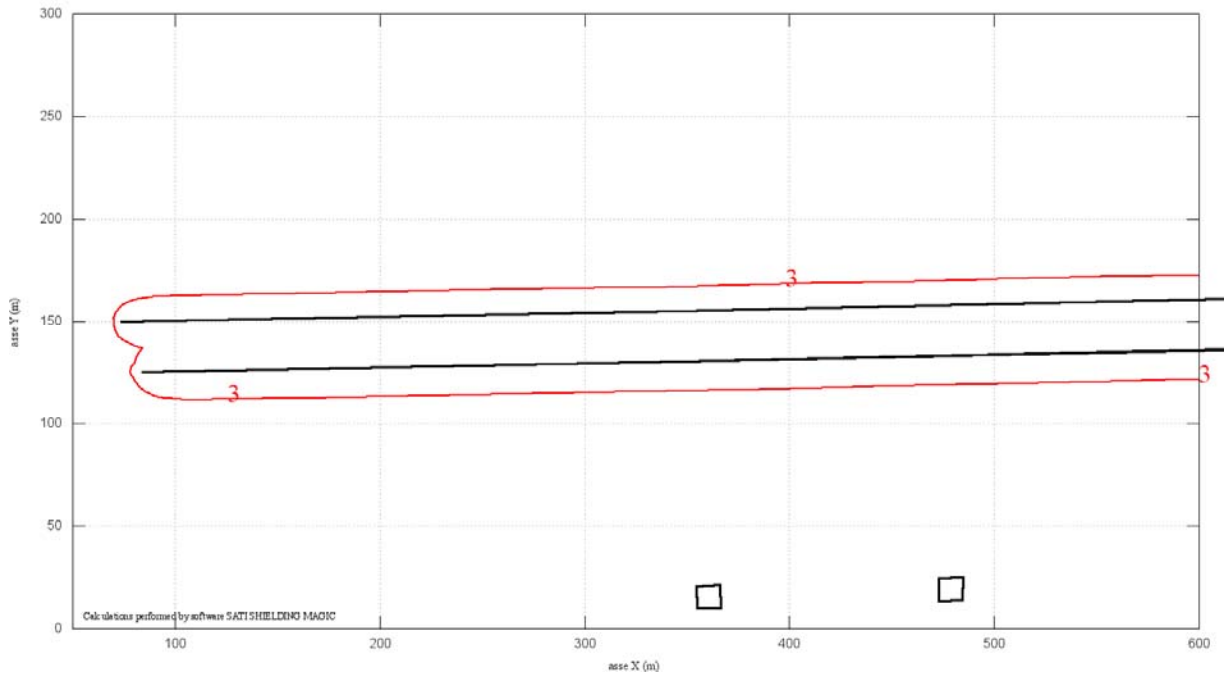


Figura 19: sezione 4 - campo magnetico in corrispondenza del ricevitore R3a

Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=360

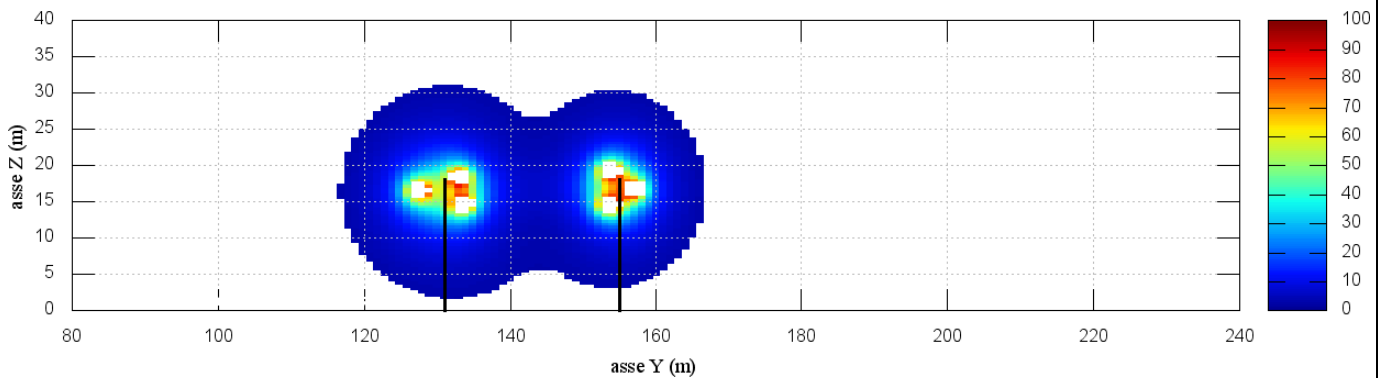


Figura 20: sezione 4 - limite dei 3 μ T in corrispondenza del ricettore R3a
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=360

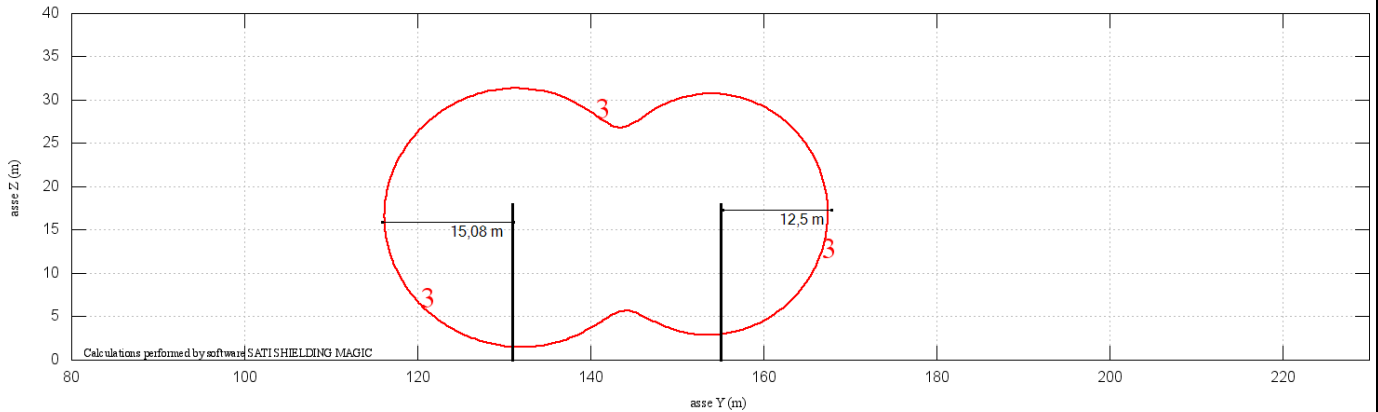


Figura 21: sezione 5 - campo magnetico in corrispondenza del ricettore R3b
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=480

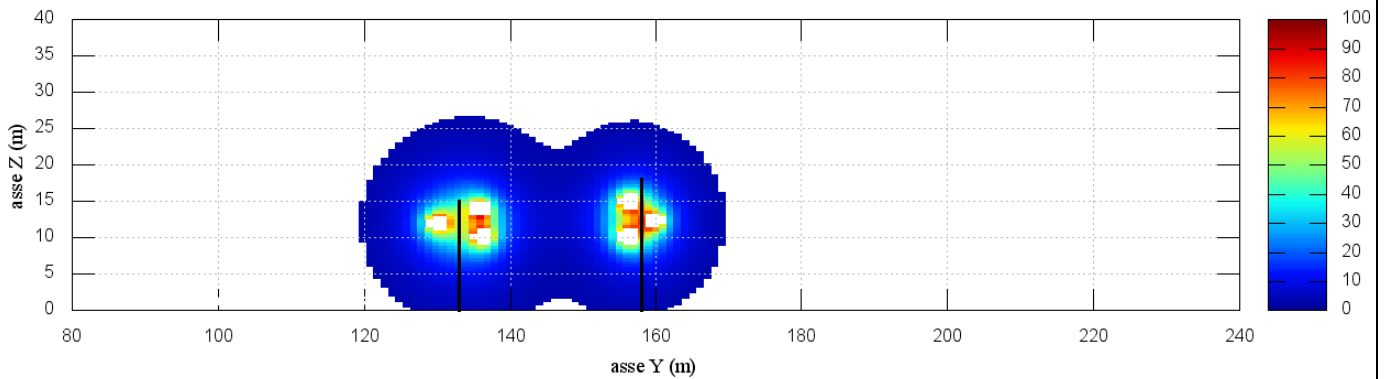
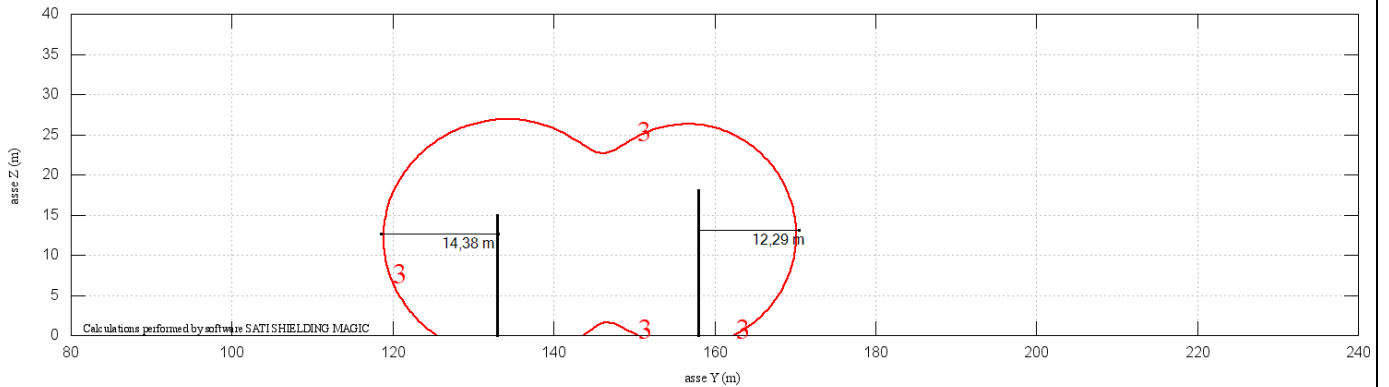


Figura 22: sezione 5 - limite dei 3 μ T in corrispondenza del ricettore R3b
Linee aeree - calcolo su piano yz - quota X=480



Tratta dal traliccio 3 alla stazione RTN:

Si riporta il grafico del campo magnetico generato prima tra il traliccio 3 e il traliccio 1 ad una altezza rispettivamente di 15 e 1,5 m dal terreno, poi si riportano le planimetrie rispettivamente a 15, 10 e 5 m dal suolo del campo magnetico generato dalle quattro linee in ingresso in stazione RTN.

Figura 23: campo magnetico tra i sostegni 3 e 1 a 15 m dal terreno
Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=15

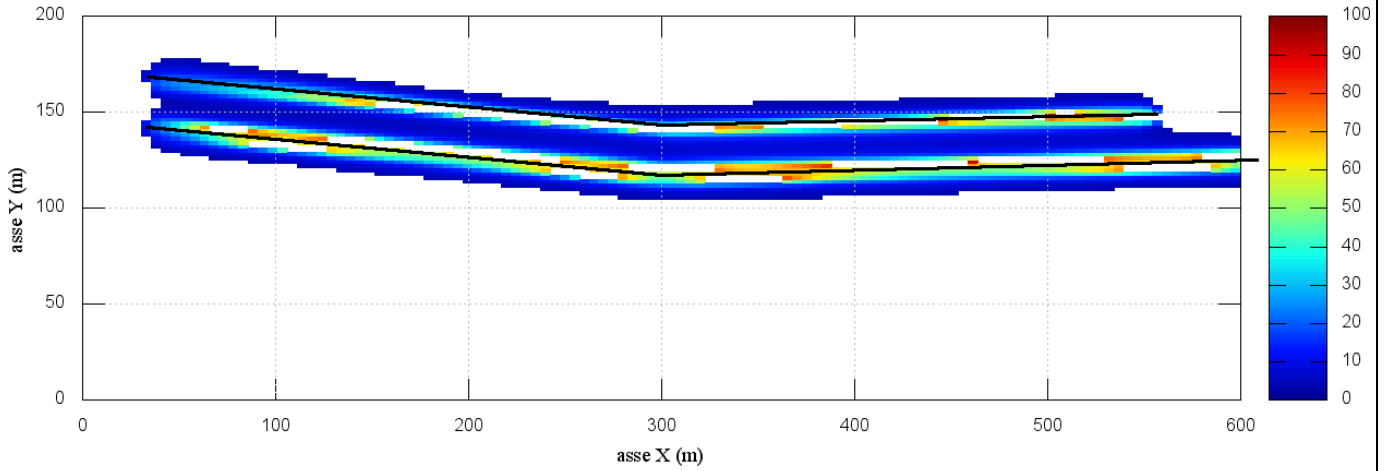


Figura 24: planimetria tra i sostegni n.3 e n.1 con limite dei 3 μ T
Linee aeree - calcolo su piano xy - quota Z=15

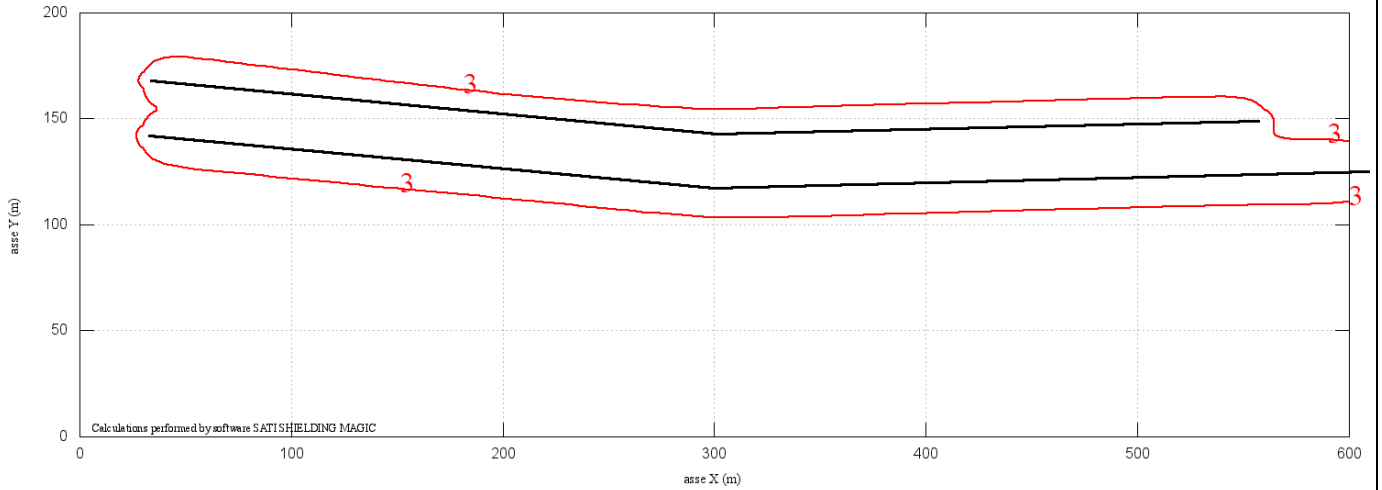


Figura 25: campo magnetico tra i sostegni 2 la stazione RTN a 15 m dal terreno
Multiconduttori sghembi - caso 3d

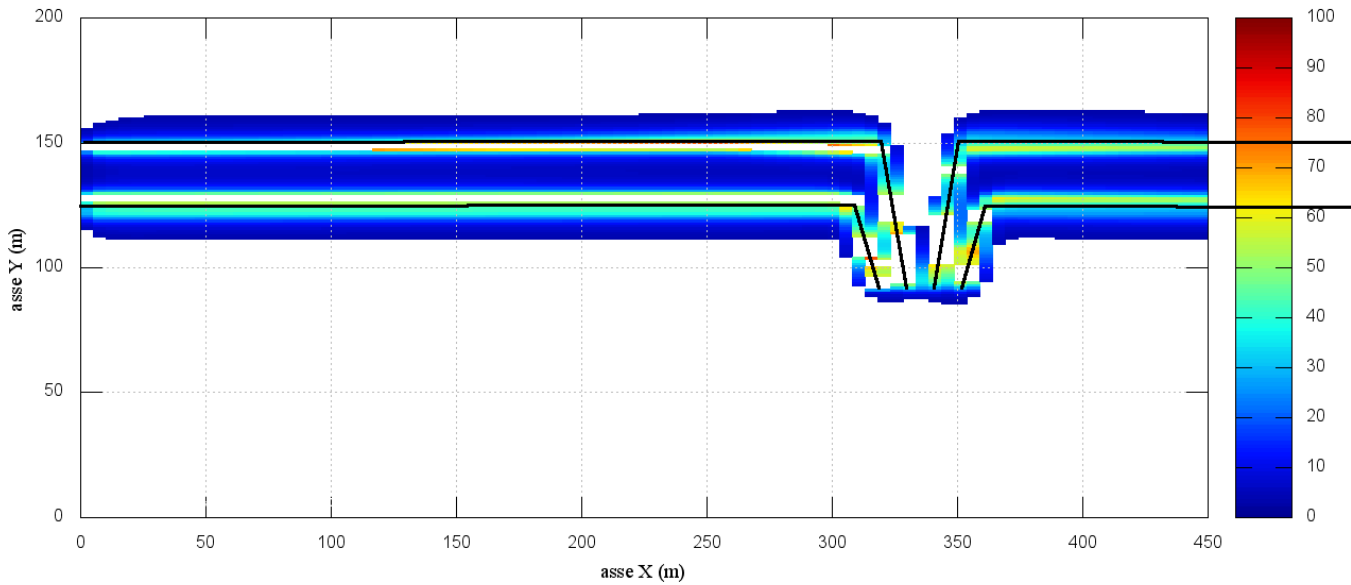


Figura 26: planimetria tra i sostegni n.2 e la stazione RTN con limite dei 3 μ T a 15m dal suolo
Multiconduttori sghembi - caso 3d

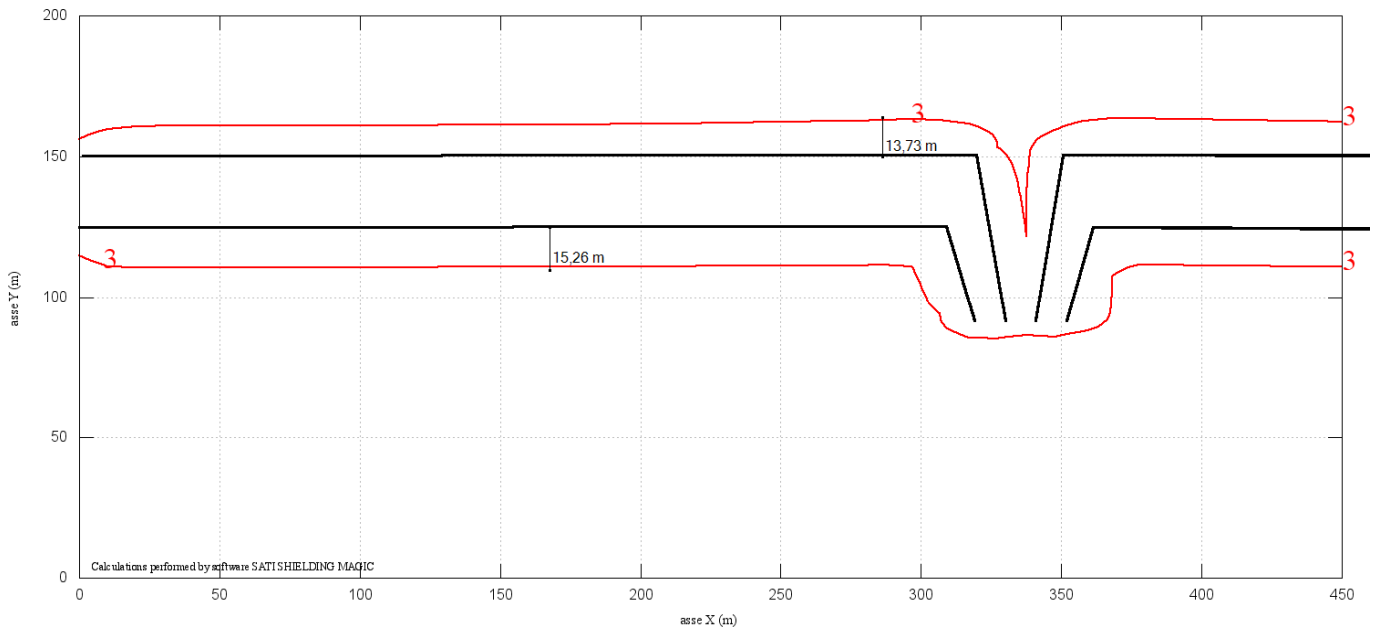


Figura 27: campo magnetico tra i sostegni 2 la stazione RTN a 10 m dal terreno
Multiconduttori sghembi - caso 3d

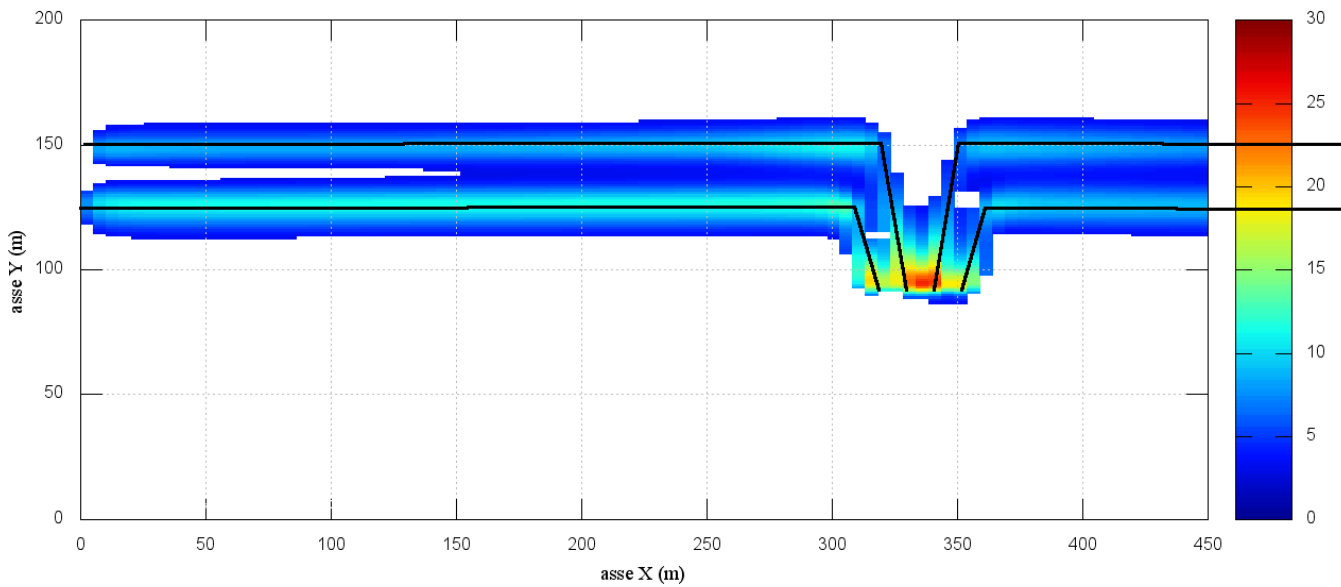


Figura 28: planimetria tra i sostegni n.2 e la stazione RTN con limite dei 3 μ T a 10m dal suolo
Multiconduttori sghembi - caso 3d

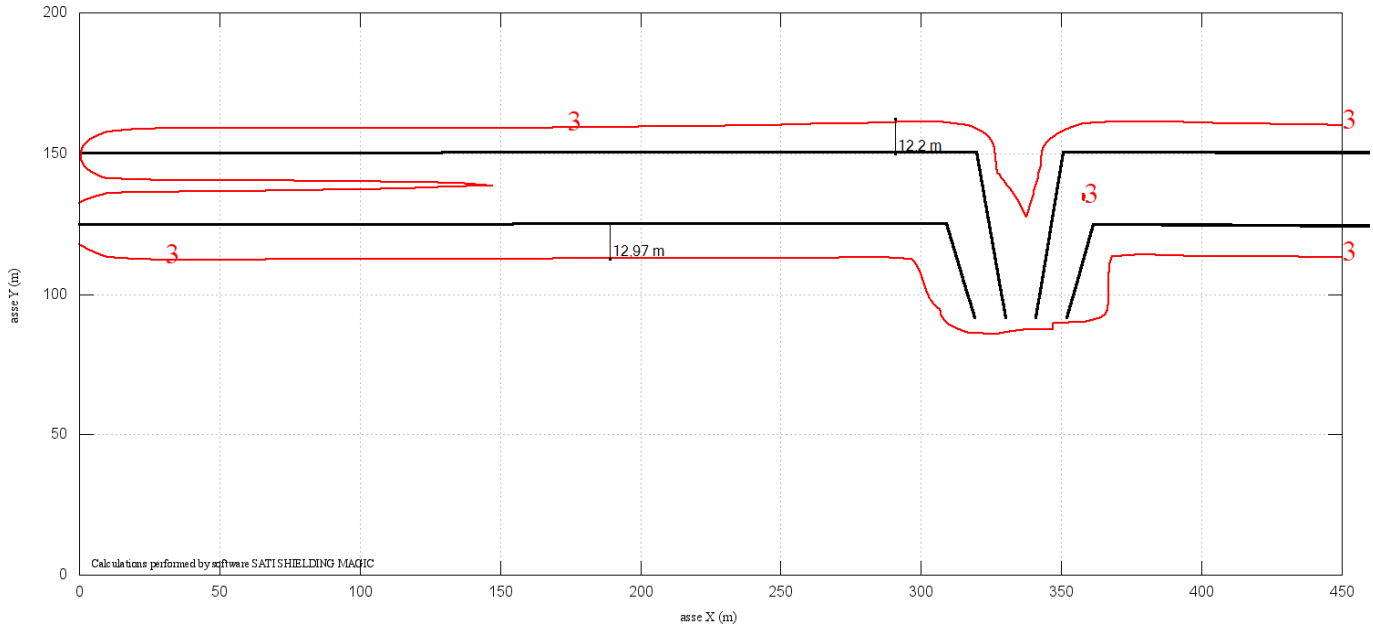


Figura 29: campo magnetico tra i sostegni 2 la stazione RTN a 5 m dal terreno
Multiconduttori sghembi - caso 3d

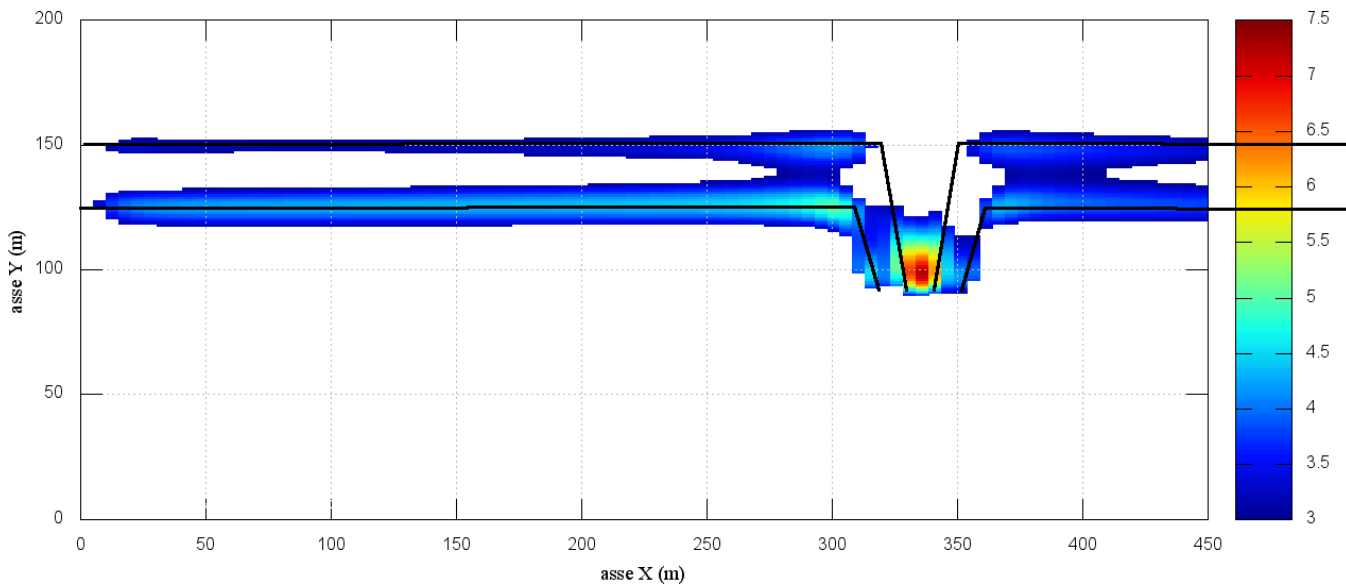
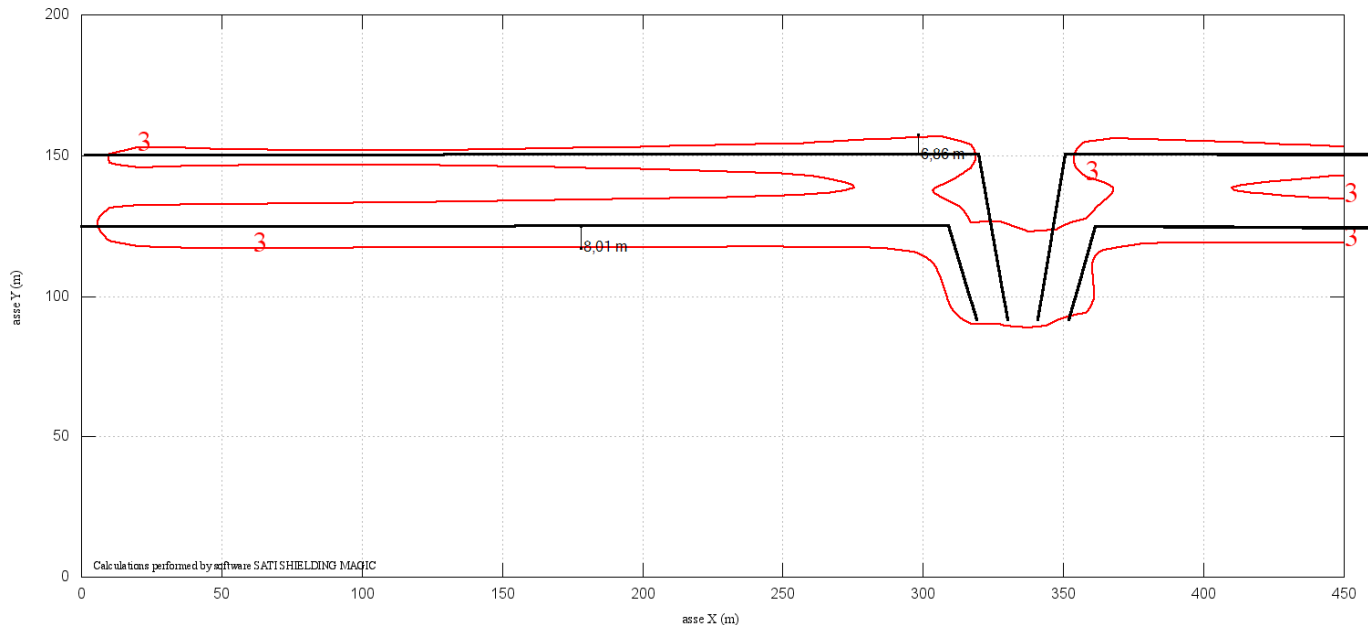


Figura 30: planimetria tra i sostegni n.2 e la stazione RTN con limite dei $3 \mu\text{T}$ a 5m dal suolo
Multiconduttori sghembi - caso 3d



4 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.

Dai vari metodi bidimensionali utilizzati per il calcolo delle fasce di prima approssimazione si è stabilito di adottare quello maggiormente cautelativo, applicando in maniera semplice 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" ottenendo una fascia di rispetto di **18 metri dall'asse della linea in progetto verso sud e 18 metri dall'asse della linea esistente verso nord**. Con le opportune modifiche nei tratti di deviazione dall'asse della linea, come riportato nella figura 1.

Le DpA risultanti dal calcolo dei campi magnetici sono riportate nel foglio 2 della tavola H2160. Da tale tavola appare evidente che nessun ricettore sensibile, cioè nessuna abitazione o altro edificio che preveda la permanenza di persone per più di 4 ore/giorno, è presente all'interno delle DpA. Si evidenzia pertanto il rispetto del valore di qualità di $3 \mu\text{T}$ in ogni ricettore esaminato.

In base alle richieste di approfondimento di ARPAE con lettera del 10 ottobre 2018 con protocollo N. SAC 27649/2018, si è proceduto ad effettuare una verifica del campo magnetico prodotto dalle linee in oggetto mediante software MAGIC, che utilizza un modello di calcolo tridimensionale. I calcoli sono stati effettuati in prossimità dei ricettori individuati o dei cambi di direzione delle linee. Come si osserva dai grafici risultanti, per ogni zona studiata, si è ricavata una fascia di rispetto dell'elettrodotto inferiore alla larghezza determinata come DPA utilizzando un modello bidimensionale. Si conferma, anche con questo metodo di calcolo, il rispetto del valore di qualità di $3 \mu\text{T}$ in ogni ricettore esaminato.

ALLEGATO 1

Documento di Validazione

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

Data:13/01/2016

Rev.01

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:

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

in cui N è il numero dei conduttori, d è la distanza tra il conduttore k -esimo e il punto di calcolo; i vettori $\bar{\mathbf{u}}_I$ e $\bar{\mathbf{u}}_r$ 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.

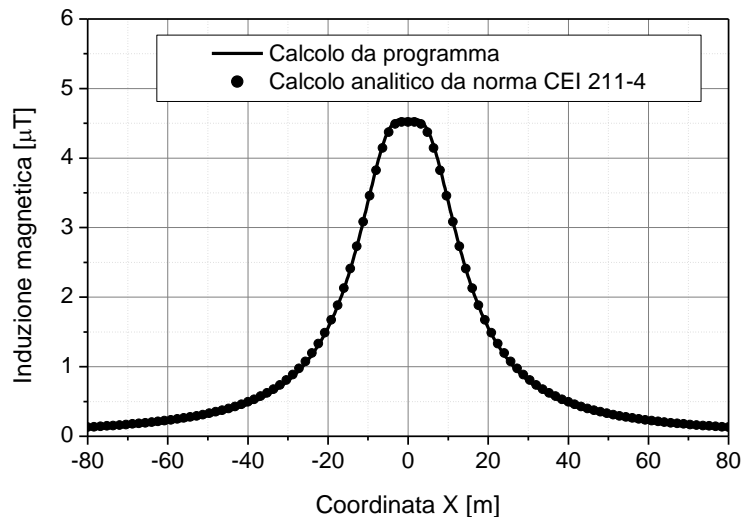


Figura 1: Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4

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

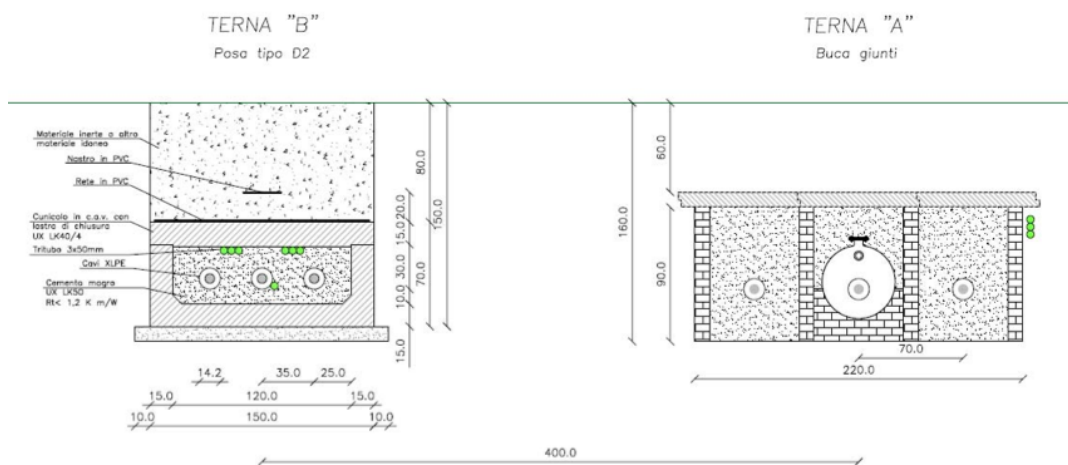


Figura 2: Affiancamento tra due linee interrate AT

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.

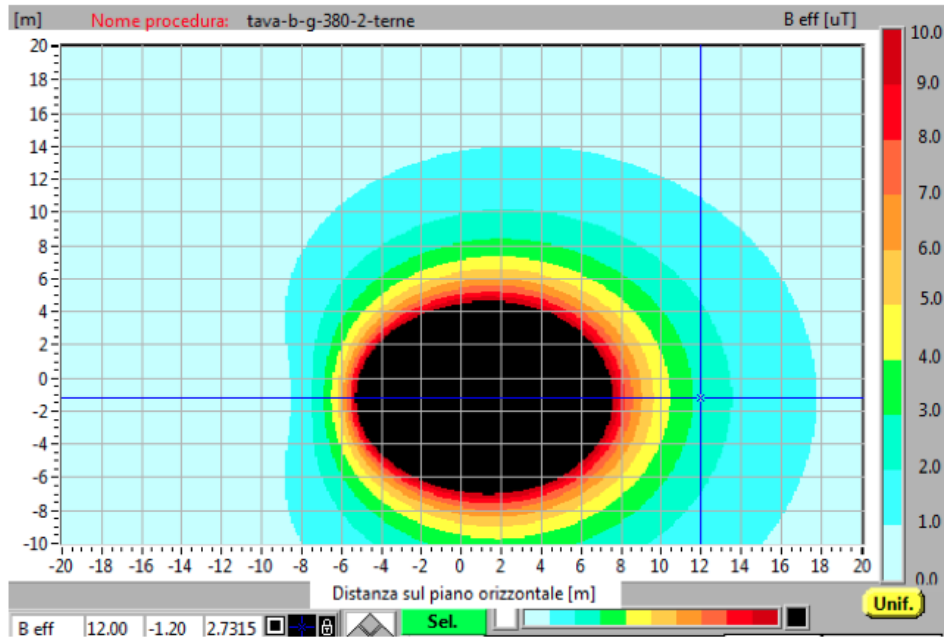


Figura 3: Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI

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.

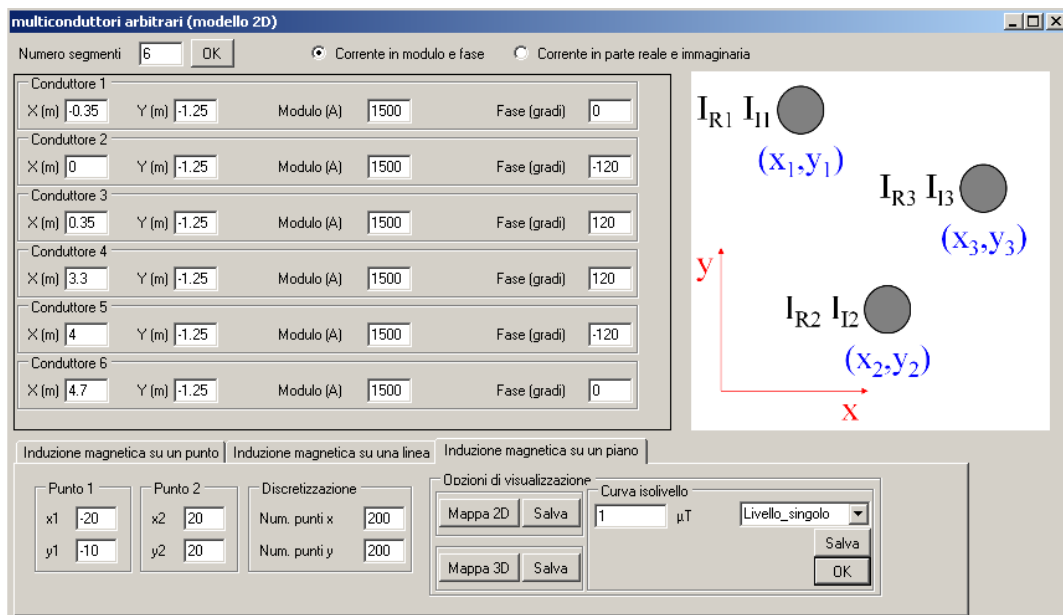


Figura 4: Schermata di ingresso modulo “multiconduttori arbitrari (modello 2D)”: dati definizione geometria e sorgenti

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

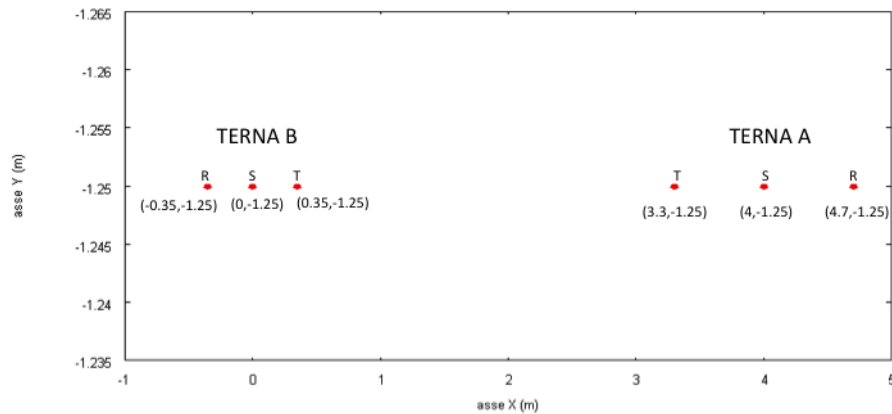


Figura 5: Geometria sorgenti

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

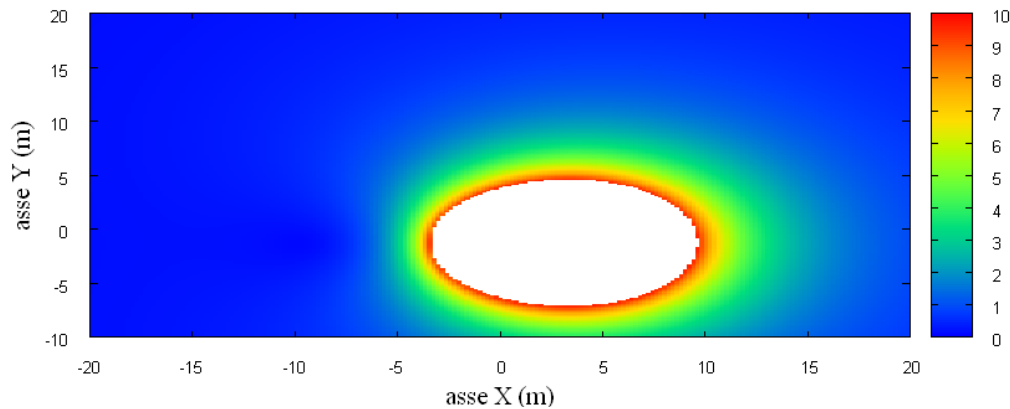


Fig. 6: Mappa cromatica dell’induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

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

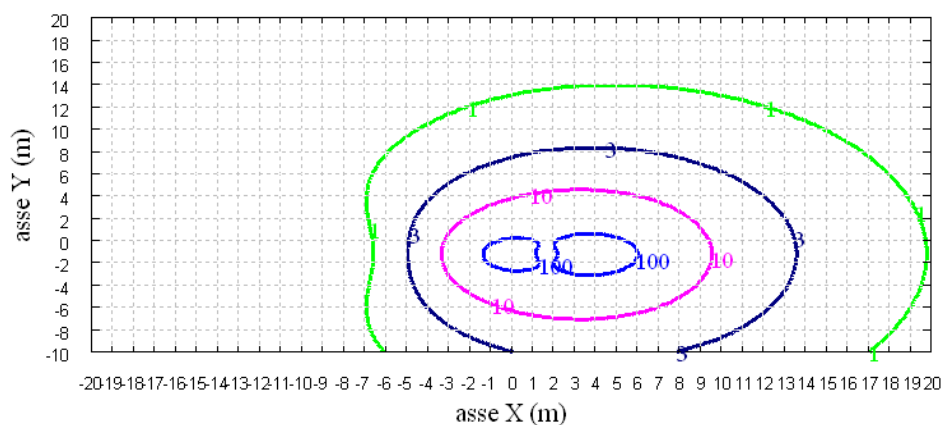
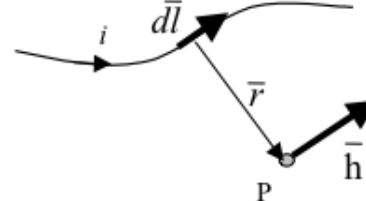


Fig. 7 Linee isolivello dell’induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®.

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.

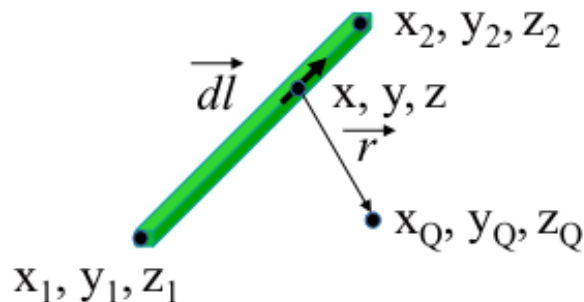


Fig. 8: Modello del segmento.

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

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

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

portati 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.

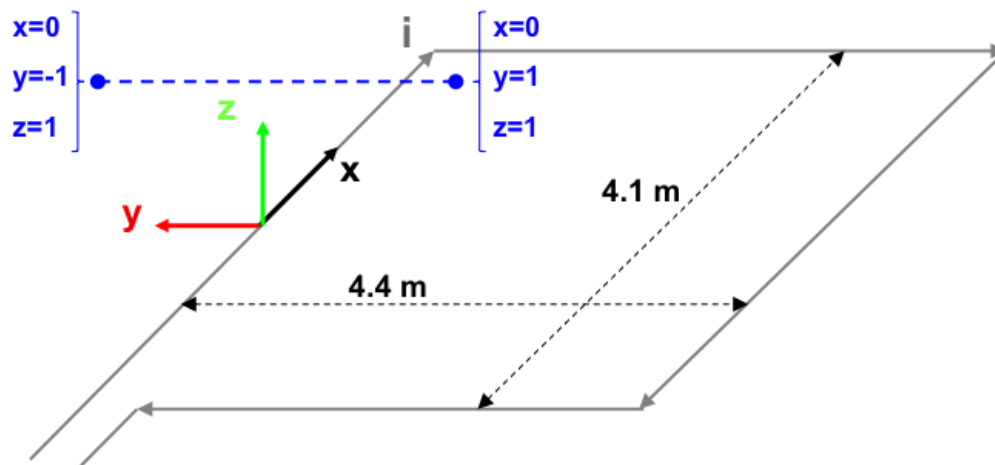


Fig. 9: Schema di spira quadrata.

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.

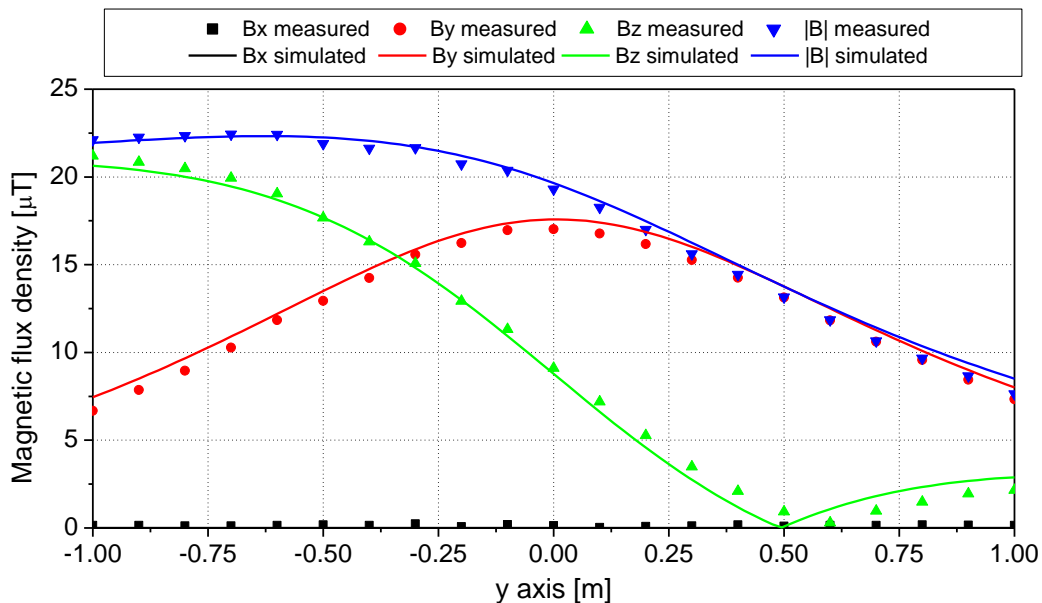


Fig. 10: Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.

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 ($N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2$) e verranno considerate, come sorgenti, le correnti nominali.

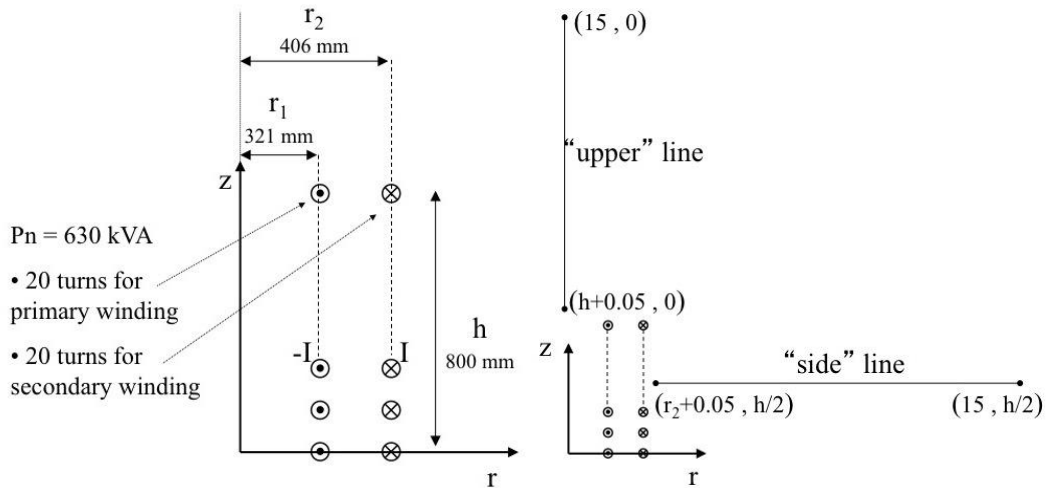


Fig. 11. Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)

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 e 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).

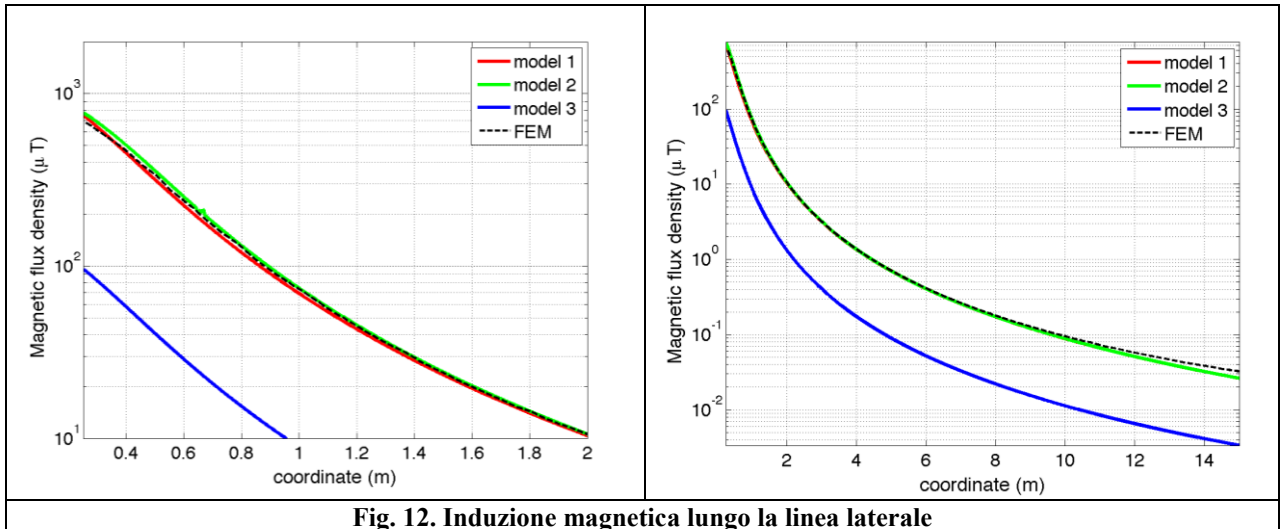


Fig. 12. Induzione magnetica lungo la linea laterale

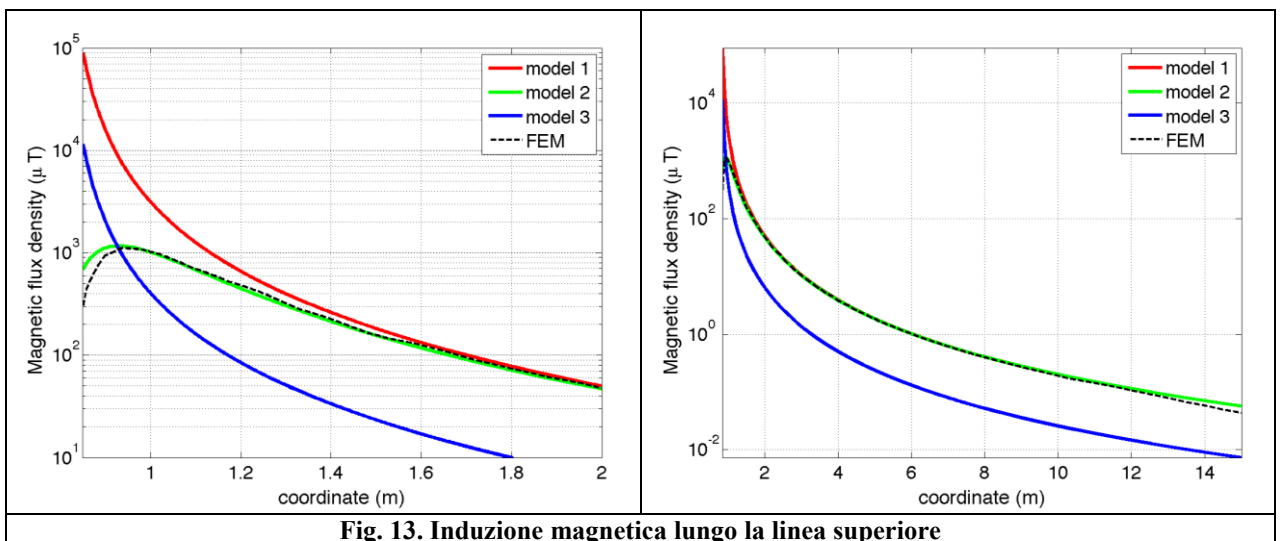


Fig. 13. Induzione magnetica lungo la linea superiore

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 addizionali 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.

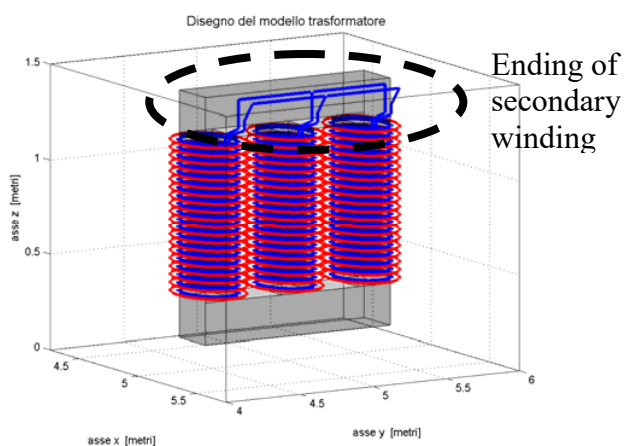


Fig. 14: Connessioni elettriche considerate ai lati BT.

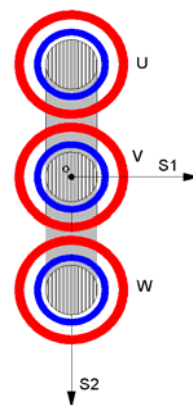


Fig. 15: Linee di calcolo S1 ed S2

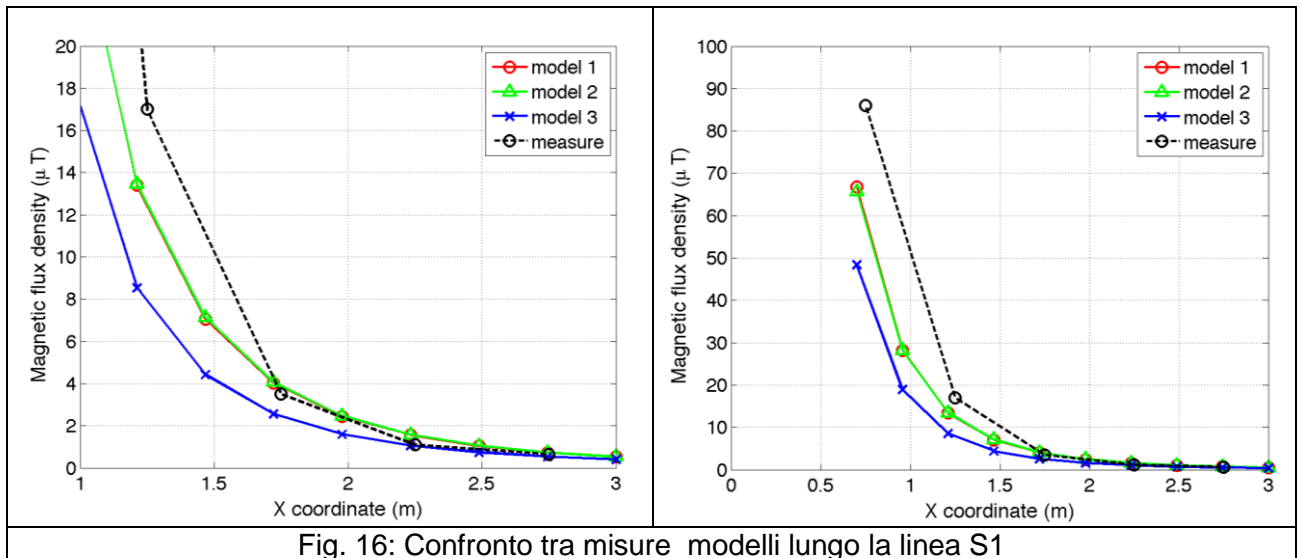


Fig. 16: Confronto tra misure modelli lungo la linea S1

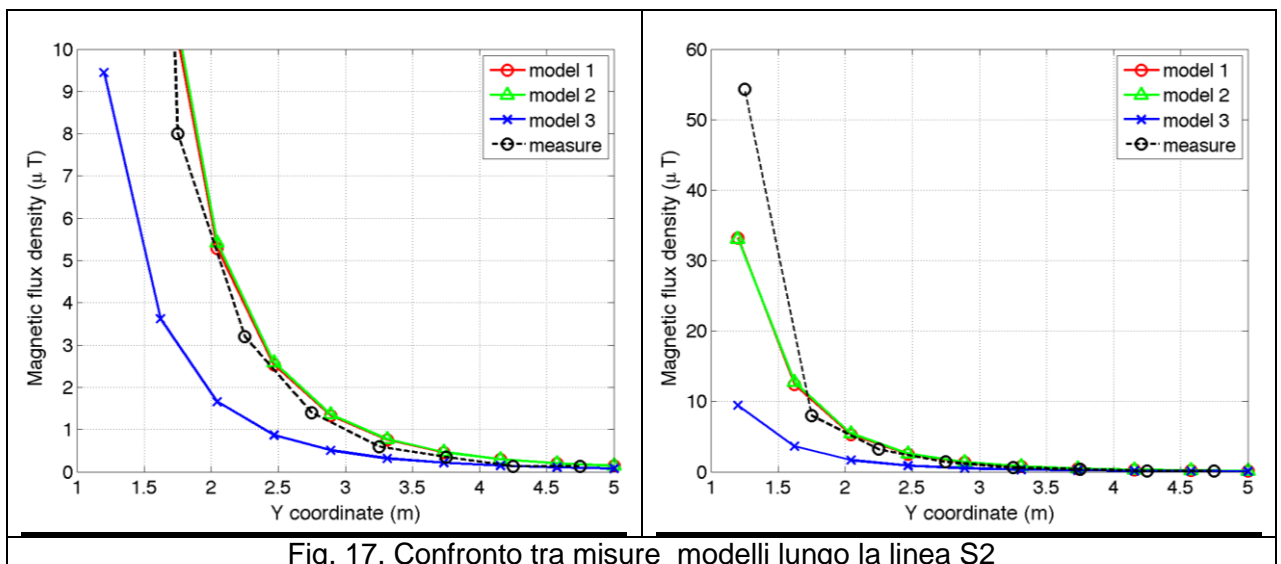


Fig. 17. Confronto tra misure modelli lungo la linea S2

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:

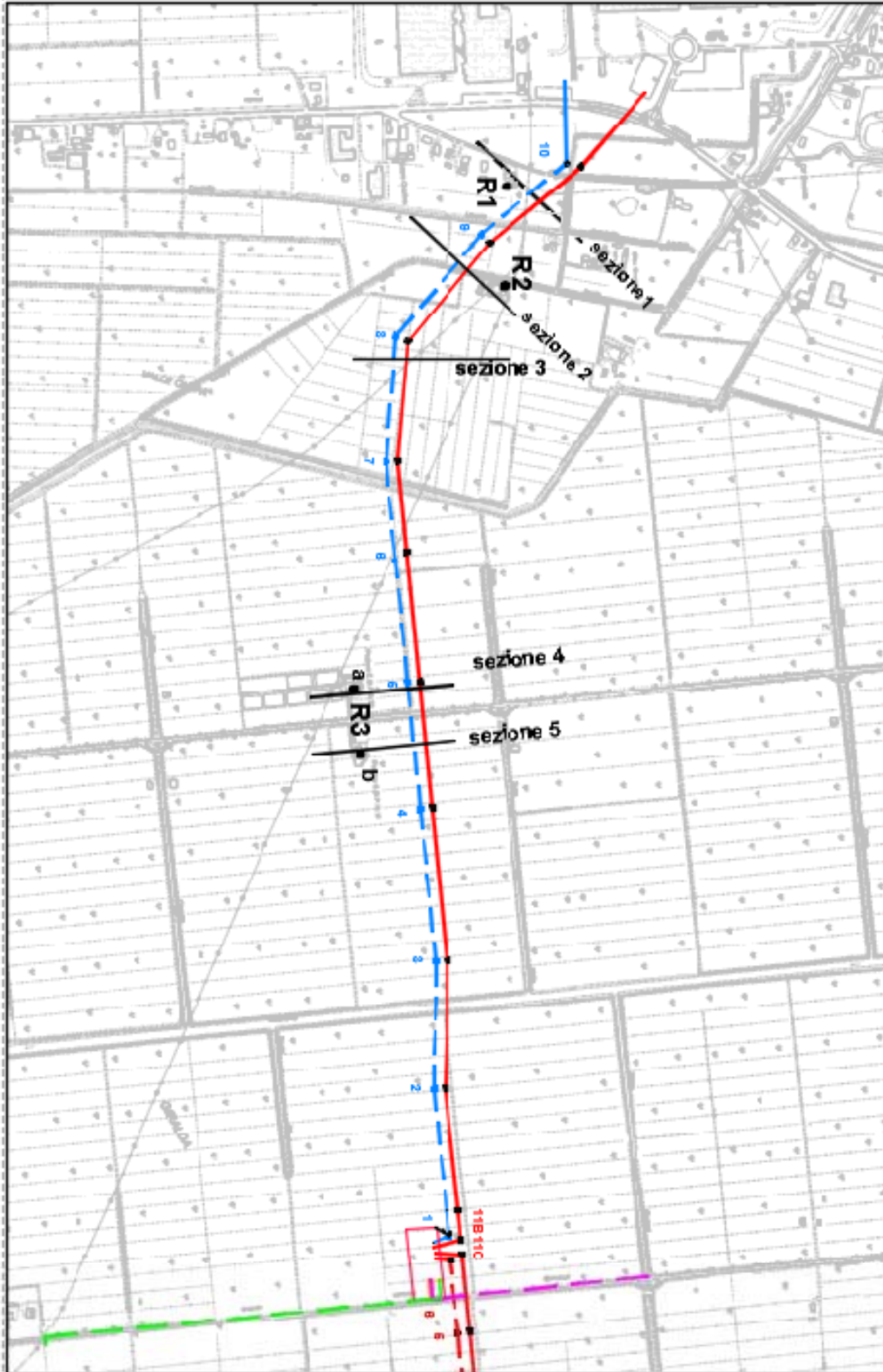
“...i modelli utilizzati devono essere descritti in termini di algoritmi implementati, condizioni al contorno e approssimazioni attuate. Essi devono essere validati attraverso misure o per confronto con modelli che abbiano subito analogo processo di verifica. La documentazione esplicita e

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.

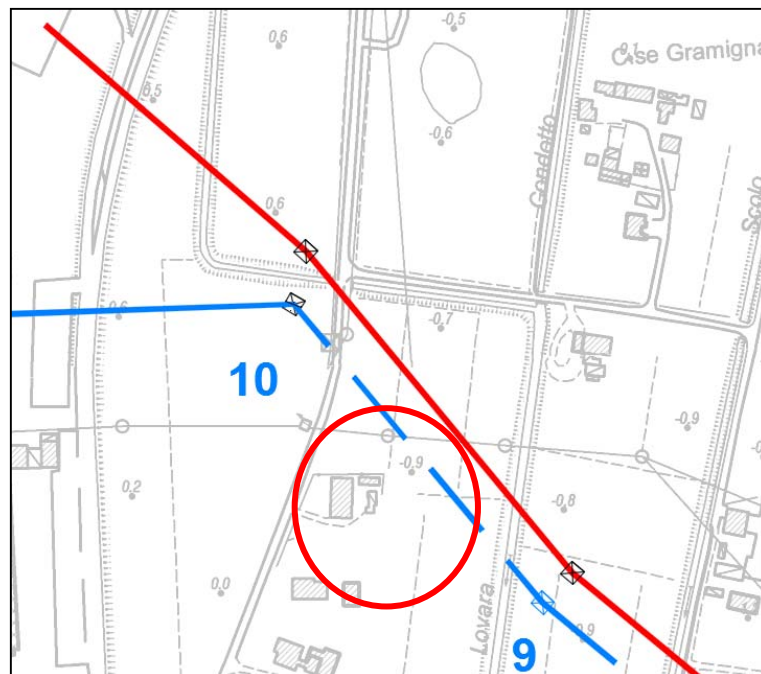
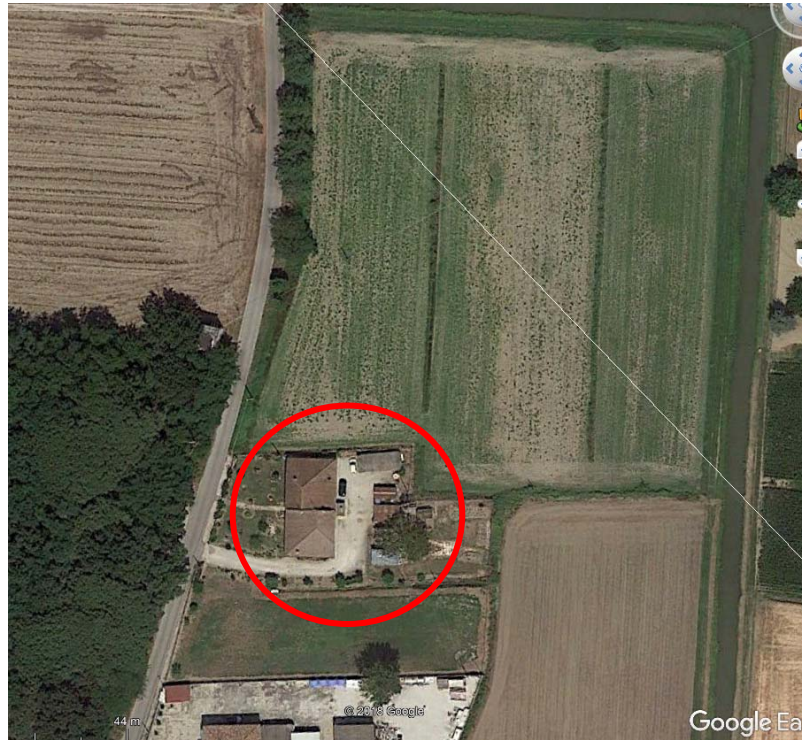
Per quanto concerne in particolare le cabine elettriche, la complessità delle sorgenti in esame richiede una valutazione accurata che tenga conto principalmente della tridimensionalità delle singole sorgenti e l'effetto prodotto dalla combinazione delle stesse (sovrapposizione degli effetti). Nelle analisi 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 29/05/200, lasciando ovviamente alle autorità competenti la verifica ed il giudizio finale.

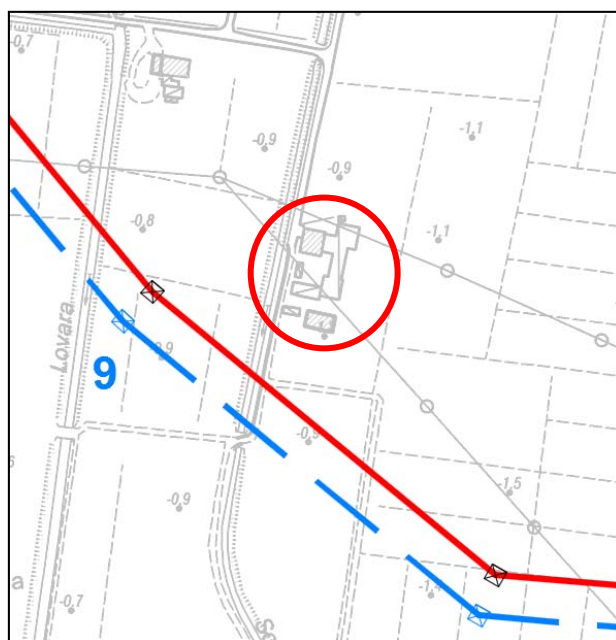
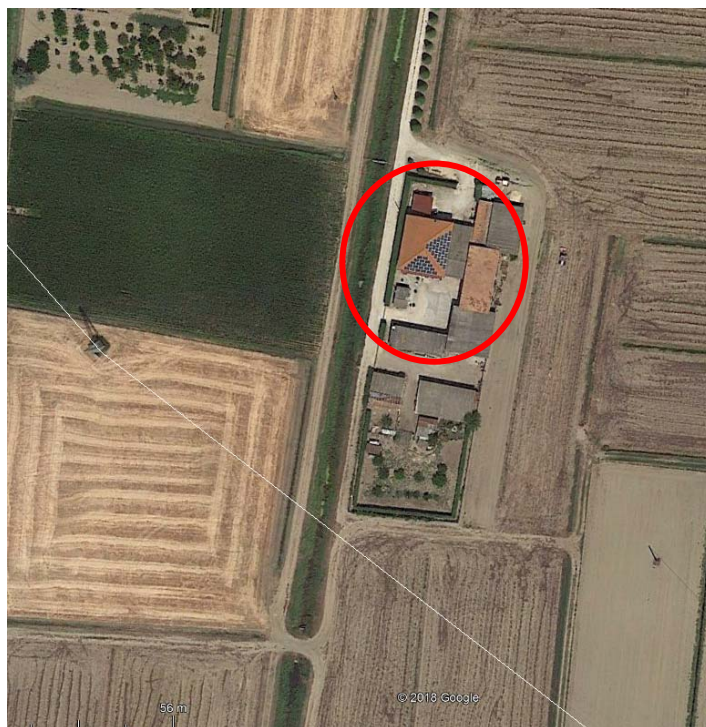
ALLEGATO 2



RICETTORE R1: abitazione a un piano



RICETTORE R2: abitazione a due piani



RICETTORI R3a e b: abitazioni a due piani

