



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

1 di/of 33

TITLE : Relazione verifica impatto elettromagnetico – Cavo MT e cavo AT

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO EOLICO SINDIA

## Relazione verifica impatto elettromagnetico – Cavo MT e cavo AT

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido

File: GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00.pdf

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	15/12/2021	PRIMA EMISSIONE	A. DE GUZZIS	A. DE GUZZIS	L. SBLENDIDO

## GRE VALIDATION

COLLABORATORS		D. Napoli; M. Porcellini;		A. Puosi	
		VERIFIED BY		VALIDATED BY	

PROJECT / PLANT IMPIANTO EOLICO SINDIA	GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	7	3	I	T	W	1	5	0	6	6	0	0	0	3	3	0
CLASSIFICATION				UTILIZATION SCOPE															



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

2 di/of 33

## INDEX

1. PREMESSA .....	3
2. ACRONIMI.....	3
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	5
5. DESCRIZIONE COMPONENTI DELL'IMPIANTO OGGETTO DI ANALISI .....	6
6. CAMPO ELETTROMAGNETICO .....	6
7. CAMPO ELETTRICO .....	7
8. CAMPO MAGNETICO.....	8
9. DEFINIZIONI: FASCIA DI RISPETTO E DISTANZA PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA) .....	9
10. DPCM 08/07/2003 E RIFERIMENTI .....	9
11. DLGS 159/2016 E RIFERIMENTI .....	11
12. METODOLOGIA DI CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO .....	13
13. RISULTATI DI CALCOLO.....	14
13.1. CAVIDOTTO MT PARCO EOLICO.....	14
13.2. STALLO TRASFORMATORE 150/33KV E SSE MULTIUTENTE .....	27
13.3. CAVIDOTTO AT .....	28
14. CONCLUSIONI .....	33



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

3 di/of 33

## 1. PREMESSA

La presente relazione contiene la verifica dell'impatto elettromagnetico riferita al progetto dell'impianto eolico "Macomer 1" proposto da Enel Green Power Italia srl, nei Comuni di Borore, Macomer, Santa Giusta, Santu Lussurgiu, Scano di Montiferro e Sindia nelle provincie di Nuoro (NU) ed Oristano (OR).

L'impianto eolico denominato "Macomer 1" sarà di tipo grid-connected con allaccio trifase in alta tensione a 150kV alla futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione 380/150 kV di TERNA, a mezzo di sottostazione elettrica elevatrice 33/150 kV come da STMG rilasciata da Terna con codice pratica: 202001594. Di seguito si riporta la potenza complessiva dell'impianto pari a 78MW.

Progetto Macomer 1	
Numero Turbine	13
Potenza Installata	78 MW
Potenza Nominale Turbina	6 MW
Altezza Mozzo	115 m
Tensione sistema MT	33 kV
Tensione Sistema AT	150 kV

*Tabella 1: Caratteristiche impianto*

## 2. ACRONIMI

AT	Alta Tensione
MT	Media Tensione
bt	Bassa Tensione
V	Tensione
I	Corrente
P	Potenza Attiva
Q	Potenza Reattiva
S	Potenza Apparente
SSE	Sottostazione Elettrica



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

4 di/of 33

SE	Stazione Elettrica
TV	Trasformatore di tensione
TA	Trasformatore di corrente

Tabella 2: Acronimi

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge Quadro n. 36 del 22/02/01 e relativo DPCM 08-07-2003 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.
- Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 8 luglio 2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.
- Decreto Ministeriale 29 maggio 2008: Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti.
- Decreto Ministeriale del 21 marzo 1988 n. 449 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne".
- D.Lgs 81/2008 del 9/4/2008 "Testo unico sulla sicurezza".
- Norma CEI 106-11: "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003".
- Guida CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche".
- Guida CEI CLC/TR 50453 "Valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza".
- Norma CEI EN 61936-1, "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni".
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV"
- CEI 11-17, "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo"
- CEI IEC 602878, "Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente Parte 1-1: Equazioni per il calcolo della portata di corrente (fattore di carico 100 %) e calcolo delle perdite – Generalità"
- D.Lgs 159/2016 "requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici".



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

5 di/of 33

#### 4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'impianto eolico di Macomer 1 (NU) è costituito da tredici aerogeneratori, ciascuno dei quali comprende un generatore (V=690V, P=6000 kW), collegati al rispettivo trasformatore MT/bt di macchina (33/0.69kV, P=6500kVA). I tredici aerogeneratori sono divisi in cinque sottogruppi (Clusters). All'interno di ogni cluster gli aerogeneratori sono connessi con collegamento di tipo "entra-esci" rigido alla linea MT di distribuzione a 33 kV. L'immissione in rete dell'energia prodotta dal parco eolico, riferita alla potenza di 78MW, avverrà mediante il collegamento tra la sottostazione utente SSE di trasformazione 150/33 kV e la SE di trasformazione 380/150 kV TERNA, ubicata nelle immediate vicinanze della stessa.

Ogni aerogeneratore è dotato di tutte le apparecchiature e circuiti di potenza nonché di comando, protezione, misura e supervisione. Di seguito una tabella riassuntiva del collegamento delle WTG tra loro per la formazione dei cluster.

<b>CLUSTER 1 (2 WTG – 12MW)</b>	
<i>DA WTG 04</i>	<i>A WTG 01</i>
<i>DA WTG 01</i>	<i>A QUADRO MT 33/150 kV</i>
<b>CLUSTER 2 (2 WTG – 12MW)</b>	
<i>DA WTG 02</i>	<i>A WTG 05</i>
<i>DA WTG 05</i>	<i>A QUADRO MT 33/150 kV</i>
<b>CLUSTER 3 (3 WTG – 18MW)</b>	
<i>DA WTG 10</i>	<i>A WTG 11</i>
<i>DA WTG 11</i>	<i>A WTG 12</i>
<i>DA WTG 12</i>	<i>A QUADRO MT 33/150 kV</i>
<b>CLUSTER 4 (3 WTG – 18MW)</b>	
<i>DA WTG 13</i>	<i>A WTG 03</i>
<i>DA WTG 03</i>	<i>A WTG 07</i>
<i>DA WTG 07</i>	<i>A QUADRO MT 33/150 kV</i>
<b>CLUSTER 5 (3 WTG – 18MW)</b>	
<i>DA WTG 06</i>	<i>A WTG 09</i>
<i>DA WTG 08</i>	<i>A WTG 09</i>
<i>DA WTG 09</i>	<i>A QUADRO MT 33/150 kV</i>

**Tabella 3: collegamento tra WTGs**



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

6 di/of 33

## 5. DESCRIZIONE COMPONENTI DELL'IMPIANTO OGGETTO DI ANALISI

L'impianto eolico Macomer 1 è composto da:

- N° 13 WTGs da 6MW;
- Cavidotto MT a 33kV di connessione tra WTGs e SSE. I cavi saranno del tipo ARE4H5E 18/30(36) kV di sezione variabile. I cavi sono direttamente interrati a profondità di 1m o 1,1m e distanziati di almeno 20cm, come da specifica tecnica.
- stallo trasformatore, con predisposizione di quadro MT e trasformatore di potenza AT/MT;
- cavidotto AT a 150 kV di collegamento tra lo stallo trasformatore e lo stallo in SSE;
- n°1 SSE multiutente a 150 kV con stallo di arrivo.

## 6. CAMPO ELETTROMAGNETICO

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti senza contatto diretto tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio. Esso è composto in generale da campi vettoriali: il campo elettrico, il campo magnetico. Questo significa che i vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio. I vettori che modellizzano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi: E. Campo elettrico, B. Campo di induzione magnetica, D. spostamento elettrico o induzione dielettrica, H. Campo magnetico.

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica, primo su tutti l'irraggiamento solare. Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica. Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetismo è descritto dall'insieme delle equazioni di Maxwell. La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza". Nel caso dei campi quasi statici, campi generate dell'impianto a 50Hz, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

7 di/of 33

dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz. A seguire si riporta la tabella di sintesi dello spettro elettromagnetico.

DENOMINAZIONE		SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE		ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME		VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO		IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm
LUCE VISIBILE			385 - 750THz	780 - 400nm
ULTRAVIOLETTO		UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI		X	> 3000THz	< 100nm

Tabella 4. Spettro elettromagnetico

## 7. CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno significativamente dalla disposizione dei conduttori. In generale l'intensità del campo elettrico è inversamente proporzionale dalla sorgente di cariche.

Nell'ambito della media tensione in corrente alternata: gli strati di isolamento dei cavi, la



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

8 di/of 33

disposizione dei cavi e la loro modalità di posa, attenuano considerevolmente il campo elettrico. Inoltre, in aggiunta ai punti precedenti, il campo elettrico risulta ulteriormente ridotto per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo MT ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata.

I precedenti accorgimenti consentono il rispetto della normativa, in particolare per i cavidotti MT realizzati con cavi MT schermati aventi struttura elicoidale ed interrati ad un metro di profondità, per la frequenza di 50 Hz, risultano attraverso prove sperimentali praticamente nulli.

È da precisare che il campo elettrico generato dall'impianto eolico è anche dipendente dal funzionamento dell'impianto stesso ovvero dalle ore di produzione, ragion per cui in corrispondenza degli aerogeneratori è estremamente variabile nell'arco della giornata.

## 8. CAMPO MAGNETICO

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore, con andamento inversamente proporzionale alla distanza dalla linea. È da precisare che il campo magnetico generato dall'impianto eolico è strettamente connesso alle ore di produzione, ragion per cui è estremamente variabile nell'arco della giornata e dei mesi di produzione dell'impianto.

Il campo magnetico non subisce significative modifiche da parte di materiali diamagnetici e paramagnetici, per cui non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea. All'interno di eventuali edifici privi di schermatura magnetica si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Il campo magnetico subisce significative modifiche da parte di materiali ferromagnetici (ferro, nichel, cobalto, alcuni metalli di transizione e loro leghe).

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- 1) distanza dalle sorgenti (conduttori);
- 2) intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- 3) disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- 4) presenza di sorgenti compensatrici;
- 5) suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Alcuni metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico per cavidotti possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro con disposizione piana o con disposizione triangolare (trifoglio). In tal caso per effetto della reciproca



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

9 di/of 33

vicinanza dei cavi, la compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi conduce ad una rapida attenuazione del campo magnetico.

In merito alla fascia di rispetto per cavi interrati la norma CEI 106-11 riporta:

*“Per i cavi interrati, le differenze sostanziali rispetto alle linee aeree sono:*

*-Che essi non si dispongono secondo una catenaria ma si mantengono in pratica sempre paralleli alla superficie del terreno;*

*-Che la distanza tra i conduttori  $P$  è decisamente ridotta; questo comporta distanze  $R$  contenute rispetto al caso aereo. In relazione a ciò bisogna quindi valutare se relazioni approssimate del tipo di quelle utilizzate per le linee aeree in conduttori nudi siano ancora applicabili con un ragionevole grado di accuratezza.*

*Nel caso di cavi AT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da una terna di cavi unipolari posati ad una profondità di circa 1.2-1.8 m. I cavi possono essere posati in piano distanziati di circa 0.15-0.25 m, ovvero a contatto in piano o ai vertici di un triangolo equilatero (posa a “trifoglio”). Nel caso invece di cavi MT, la situazione impiantistica più diffusa è rappresentata da cavi unipolari posati ad una profondità di circa 0.8-1.2 m e disposti prevalentemente a “trifoglio” o in piano, a contatto o distanziati di circa 0.1m.”*

## 9. DEFINIZIONI: FASCIA DI RISPETTO E DISTANZA PRIMA APPROSSIMAZIONE (DPA)

La fascia di rispetto così come definita dalla norma CEI 106-11 coerentemente con quanto dichiarato nell'allegato al DM 29/05/2008, è lo spazio circostante i conduttori di una linea elettrica aerea, o in cavo interrato, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da induzione magnetica di intensità maggiore o uguale a un valore prefissato, in particolare all'obiettivo di qualità.

La distanza di prima approssimazione (DPA) è la distanza, in pianta sul livello del suolo, della 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. Tale definizione è riportata nell'allegato al DM 29/05/2008.

## 10. DPCM 08/07/2003 E RIFERIMENTI

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

- **Art.3 comma 1:** nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

10 di/of 33

- **Art.3 comma 2:** a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.
- **Art.4 comma 1:** Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.
- **Art. 6 comma 1:** per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV e alle regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. I gestori provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti.

Pertanto, l'art. 4 comma 1 e l'art. 6 comma 1 ci indicano le verifiche e le metodologie di verifica per i limiti di esposizione ai campi elettrici e magnetici. Come si evince dall'articolo 6, bisogna effettuare una simulazione a "portata in corrente in servizio nominale dell'elettrodotto" come definito da CEI 11-60. La CEI 11-60 rimanda alla CEI 11-17 come "portata in regime permanente" al paragrafo 4.2.1. A sua volta, la CEI 11-17, rimanda alla CEI 20-21 (anche nota come IEC 60287).

La IEC 60287 descrive il metodo analitico per il calcolo della portata in corrente di un cavo ac a qualsiasi tensione, a partire da dati termici, elettrici e perdite del cavo stesso.

*È importante sottolineare che, nel datasheet del cavo scelto, è espresso il dato di portata in corrente calcolato secondo la IEC 60287, che diventerà la base di calcolo delle simulazioni a seguire.*

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

11 di/of 33

magnetica. Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento alla normativa vigente ed in particolare al limite di qualità di  $3\mu\text{T}$ .

## 11. DLGS 159/2016 E RIFERIMENTI

Il Dlgs. 159/2016 riguarda l'attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE. In particolare, il decreto arreca modifiche ad alcuni articoli del D.Lgs 81/2008, che già prevedeva le disposizioni di salute e sicurezza dei lavoratori anche in relazione ai campi elettromagnetici.

Come stabilito dall'art. 206 del D. Lgs 81/008, così come modificato dal D.Lgs 159/2016 art. 1 comma 1 let. a), il campo di applicazione è riferito alla determinazione dei "requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300GHz), come definiti dall'articolo 207, durante il lavoro. Le disposizioni riguardano la protezione dai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti biofisici diretti e agli effetti indiretti noti provocati dai campi elettromagnetici."

Il decreto definisce all'art. 207:

- "Valori limite di esposizione (VLE), valori stabiliti sulla base di considerazioni biofisiche e biologiche, in particolare sulla base degli effetti diretti acuti e a breve termine scientificamente accertati, ossia gli effetti termici e la stimolazione elettrica dei tessuti";
- "Valori di azione (VA), livelli operativi stabiliti per semplificare il processo di dimostrazione della conformità ai pertinenti VLE e, ove appropriato, per prendere le opportune misure di protezione o prevenzione specificate" (n.d.a. sempre nel medesimo capo del D.Lgs.)

Come riportato all'articolo 208 (Valori limite di esposizione e valori di azione):

"1. Le grandezze fisiche relative all'esposizione ai campi elettromagnetici sono indicate nell'allegato XXXVI, parte I. I VLE relativi agli effetti sanitari, I VLE relativi agli effetti sensoriali e I VA sono riportati nell'articolo XXXVI parti II e III.

2. Il datore di lavoro assicura che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e I VLE relativi agli effetti sensoriali di cui all'allegato XXXVI, parte II per gli effetti non termici e di cui all'allegato XXXVI, parte III per gli effetti termici. Il rispetto dei VLE relativi agli effetti sanitari e dei VLE relativi agli effetti sensoriali deve essere dimostrato ricorrendo alle procedure di valutazione dell'esposizione di cui all'articolo 209. Qualora l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi uno o qualsiasi dei VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate in conformità dell'articolo 210, comma 7. [...]".



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

12 di/of 33

L'articolo prosegue indicando le condizioni in cui si considera che i VLE sono rispettati e le condizioni in cui è possibile superare i valori di esposizione (adottando specifiche misure/condizioni operative). I valori d'azione (VA) sono da prendere dalla tabella B2 dell'allegato XXXVI per frequenza nel range  $25 < f < 300$  Hz da considerarsi come valori efficaci (RMS) come riportato nella nota B2-2. Inoltre, nella nota B2-3 si precisa che i valori massimi o minimi vanno calcolati e misurati nello spazio occupato dal corpo del lavoratore.

In ogni caso tutti i rischi per i lavoratori derivanti dai campi elettromagnetici sul luogo di lavoro dovranno essere opportunamente valutati dal datore di lavoro nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'art.181 del D.Lgs 81/2008, ed in caso si rendesse necessario, il datore di lavoro dovrà provvedere alla misura o al calcolo dei livelli dei campi elettromagnetici a cui i lavoratori sono esposti, tenendo conto (come indicato nell'art.209 del D.Lgs 81/2008 e ss.mm.ii.) anche delle guide pratiche della Commissione Europea, delle norme tecniche europee e di quelle del comitato elettrotecnico italiano (CEI), nonché delle buone prassi individuate o emanate dalla Commissione consultiva permanente di cui all'art.6 del D.Lgs 81/2008, delle informazioni reperibili presso le banche dati dell'INAIL o delle Regioni.

In generale, sia per la fase di cantiere relativa alla costruzione dell'impianto, sia per la fase di esercizio e dunque per le operazioni di gestione, controllo e manutenzione dell'impianto e delle opere connesse, dovranno essere rispettati i disposti del D.Lgs 81/2008 e ss.mm.ii (pertanto anche relativamente alle modifiche sull'esposizione ai campi elettromagnetici introdotte con il D.Lgs 159/2016) ed i rischi di esposizione per i lavoratori, nonché le relative misure di prevenzione e protezione, dovranno essere attentamente valutate nell'ambito della valutazione dei rischi e riportati nel Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) e nel Documento Unico di Valutazione dei Rischi Interferenziali (DUVRI).

Nel caso specifico, il proponente dell'opera segnala quanto segue:

“Si rileva che:

- 1) Il dipartimento dell'organizzazione della Proponente denominato unità “HSEQ wind” - tra le diverse attività svolte a tutela della salute e sicurezza dei lavoratori – effettua campagne di misure del campo elettromagnetico negli impianti più rappresentativi attualmente in esercizio;
- 2) Gli impianti (dalle turbine alla SSE) non sono presidiati e perciò viene esclusa a priori la permanenza di personale durante l'esercizio per una durata > di 4 ore;
- 3) Le operazioni di manutenzione, soprattutto in SSE e lungo il cavidotto, riguardano componenti elettrici per i quali – in caso di intervento – viene disalimentata la corrente e quindi dette operazioni avvengono in assenza di campi elettromagnetici.



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

13 di/of 33

Sulla base delle misurazioni dei campi elettromagnetici in impianti che per struttura e condizioni operative sono paragonabili e quelli previsti dal progetto e in virtù delle procedure operative/di manutenzione usualmente adottate dalla proponente, è quindi fondatamente ipotizzabile che i livelli di esposizione dei lavoratori (e della popolazione) a campi elettromagnetici non superino i limiti di esposizione. In ogni caso la specifica valutazione dei rischi di esposizione inerenti al progetto dovrà essere effettuata nelle fasi successive e comunque prima dell'inizio dei lavori.”

## 12. METODOLOGIA DI CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO

Coerentemente con quanto sopra riportato, la metodologia di calcolo prevede che per la determinazione della fascia di rispetto così come definita, occorra che si conoscano i seguenti dati (che dovranno essere acquisiti per tratte omogenee di linea):

1. Portata in corrente in servizio nominale;
2. Numero e tipologia dei conduttori aerei o dei cavi interrati, loro disposizione relativa e sistema di riferimento rispetto all'asse della linea;
3. Condizioni di fase relativa delle correnti elettriche.

Come specificato nel cap. 6 par. 1 della norma CEI106-11, il modello normalizzato per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica aerea è quello descritto dalla norma CEI 211-4, che viene considerato applicabile anche alle linee in cavo interrato. Si tratta di un modello bidimensionale che applica la Legge di Biot-Savart per determinare l'induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi la legge di sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte simmetriche ed equilibrate. La linea viene schematizzata come segue:

- ✓ Tutti i conduttori sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- ✓ Le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori aerei o dei cavi e, nel caso dei conduttori aerei a fascio, negli assi centrali dei fasci, cioè negli assi dei cilindri aventi come generatrici gli assi dei sub conduttori dei fasci;
- ✓ Per le linee aeree non vengono considerate le correnti indotte nelle funi di guardia in quanto il loro effetto sull'induzione magnetica è ritenuto trascurabile; analogamente per le linee in cavo interrato non si tiene conto delle correnti indotte negli schermi;
- ✓ Il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi si trascurano le immagini dei conduttori rispetto al suolo, che alla frequenza industriale risultano a profondità molto elevate.



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

14 di/of 33

L'impatto elettromagnetico indotto dall'impianto eolico oggetto di studio può essere determinato da:

- Cavidotti in media tensione MT (33kV);
- Stallo trasformatore 150/33kV;
- Cavidotto in alta tensione AT (150kV) tra stallo trasformatore ed SSE multiutente;
- SSE multiutente a 150kV;
- Cavidotto in alta tensione AT (150kV) tra SSE multiutente e Stazione di Trasformazione 380/150kV TERNA.

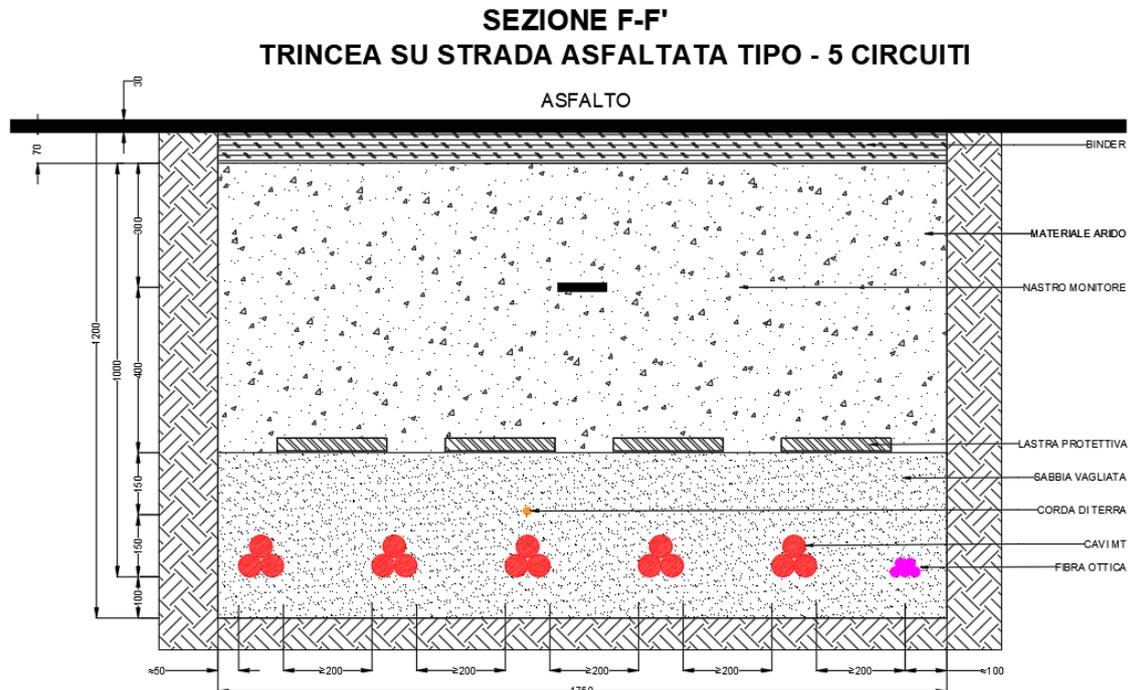
Le simulazioni avverranno attraverso il software di BE Shielding MAGIC - Magnetic Induction Calculation è uno strumento per l'analisi di impatto ambientale dei campi magnetici e per la determinazione delle fasce di rispetto per linee elettriche e cabine MT/bt, secondo quanto previsto dalla Legge Quadro n.36/2001 (esposizione ai campi magnetici della popolazione) e dal D.Lgs. 81/08 (valutazione dei rischi in ambiente lavorativo). È in grado di restituire valori puntuali di induzione elettromagnetica, oltre che grafici di andamenti nello spazio dell'induzione magnetica.

### **13. RISULTATI DI CALCOLO**

#### **13.1. CAVIDOTTO MT PARCO EOLICO**

##### Analisi cavidotto con cinque terne di cavi MT:

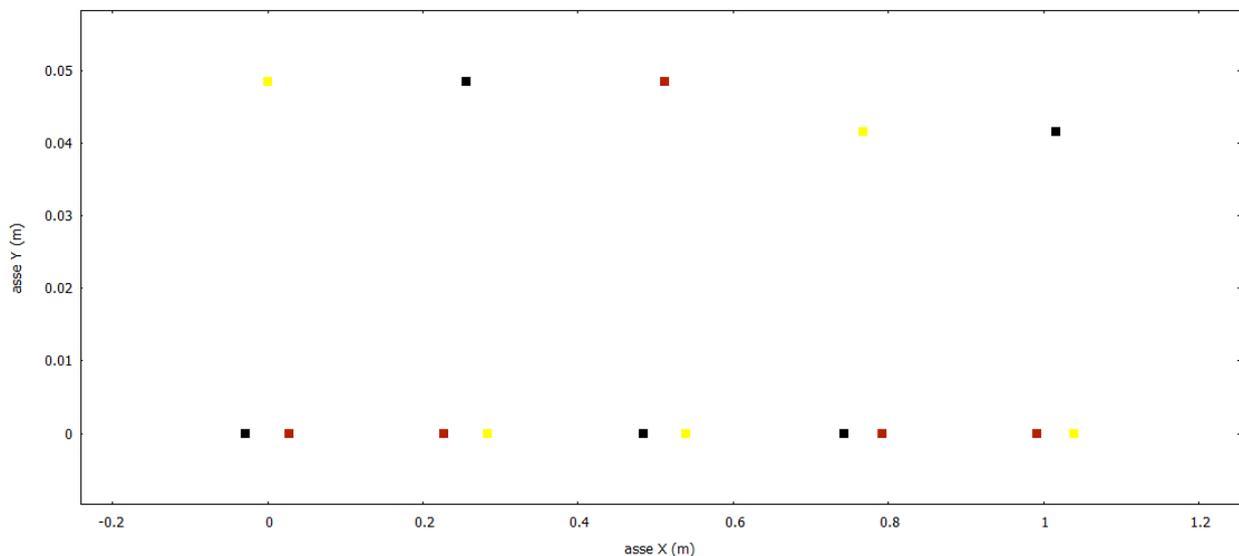
Il cavidotto MT di connessione tra le WTGs e la SSE prevede che in un tratto le terne uscenti dall'ultima WTG dei cluster si incontrino e viaggino parallele fino allo stallo trasformatore. Considerando che i cinque cluster si connettono allo stallo trasformatore ognuno tramite una terna di cavi ARE4H5E 18/30(36) kV di sezione differente, il tratto in questione avrà 5 terne che corrono in parallelo. Seguendo le modalità di posa descritte nelle technical specification, la sezione tipica del cavidotto sarà:



**Figura 1 - Tipologico di sezione cavidotto con 5 terne MT**

La distanza tra le terne sarà di almeno 0.2m mentre la profondità di posa sarà di 1,1m rispetto al piano stradale. Nello scavo in questione si avranno 3 terne di cavi da 630 mm<sup>2</sup> con portata in corrente di 709A e tre terne di cavi da 400mm<sup>2</sup> con portata in corrente di 549A. La disposizione delle fasi sarà tale da minimizzare l'induzione elettromagnetica a livello del suolo.

A seguire, la geometria della disposizione dei cavi MT.



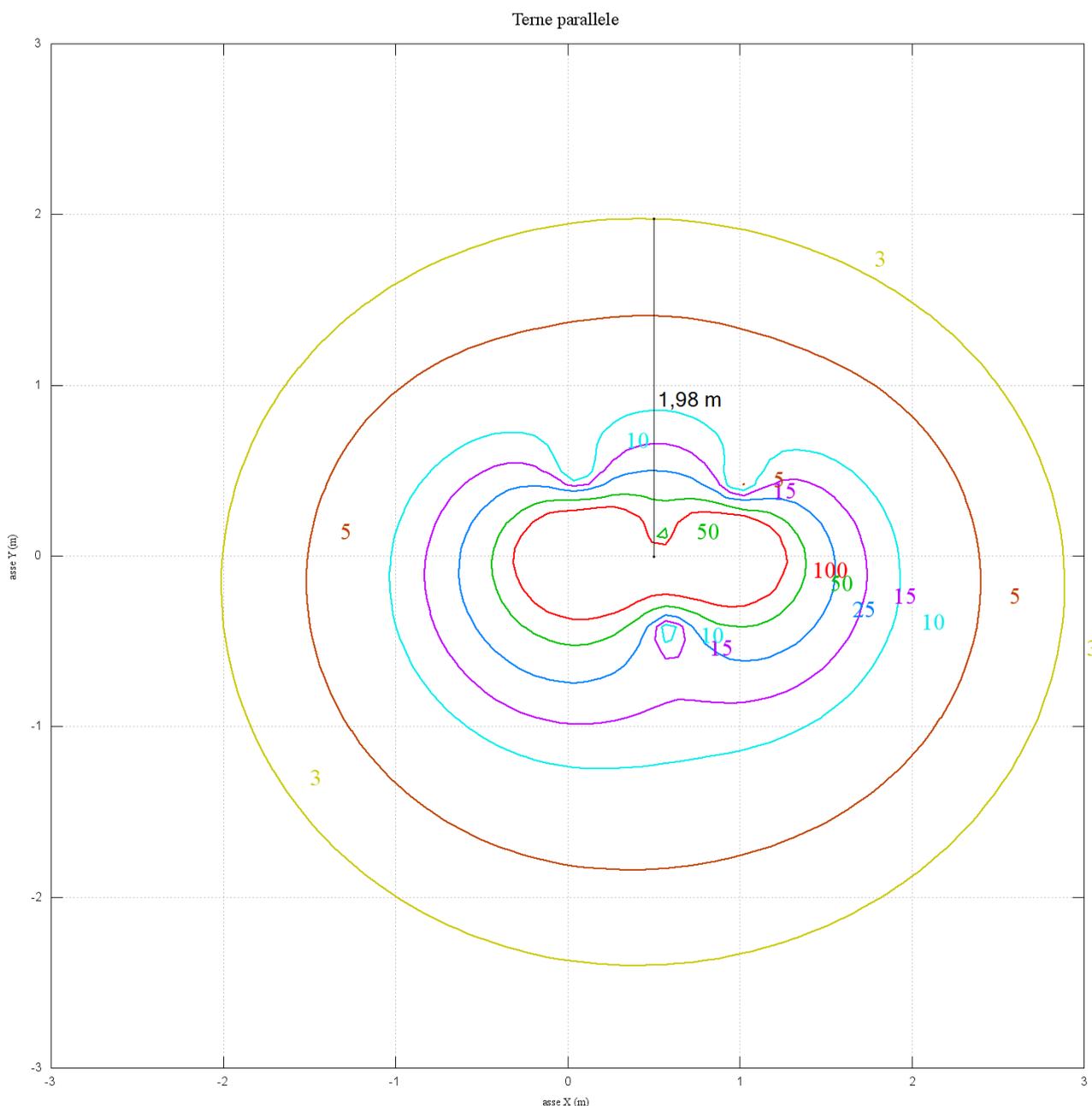
**Figura 2 – Geometria disposizione cavi MT**



Le fasi sono disposte in modo tale da ridurre l'induzione magnetica al piano stradale.

La disposizione usata è: RST, STR, RTS per le terne da 630mm<sup>2</sup>, mentre le terne da 400mm<sup>2</sup> sono disposte in formazione RST e STR.

Le curve di isolivello sono le seguenti:



**Figura 3 - Curve di isolivello induzione magnetica generata da 5 terne di cavi**

Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di 3μT risulta essere a 1.98m dalla posa dei cavi. Considerando che i cavi sono posati a 1.1m dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si centra a distanza di 0.88m dal livello stradale. La soglia di attenzione di 10μT, invece, risulta essere al di sotto della quota stradale.



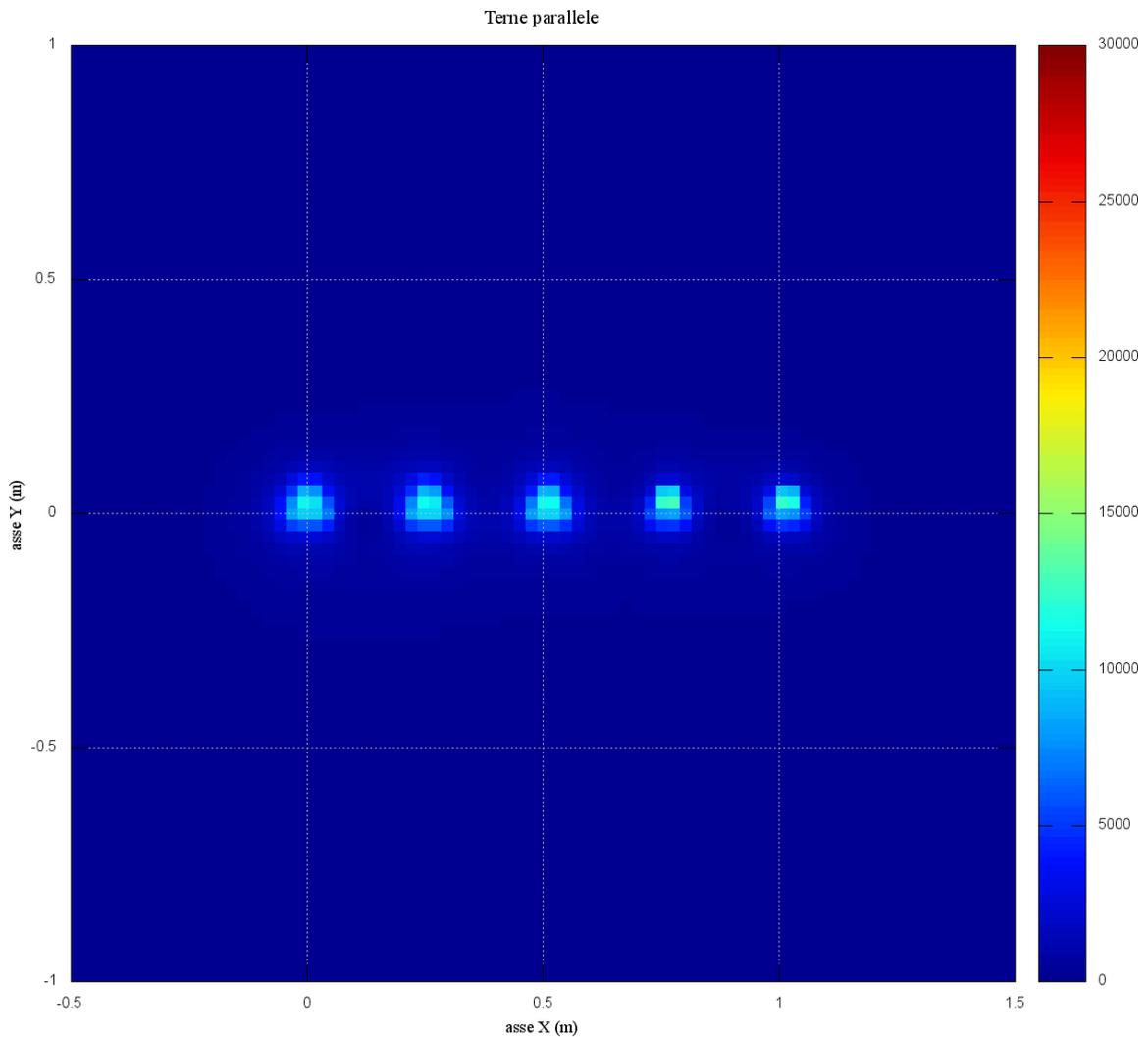
GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

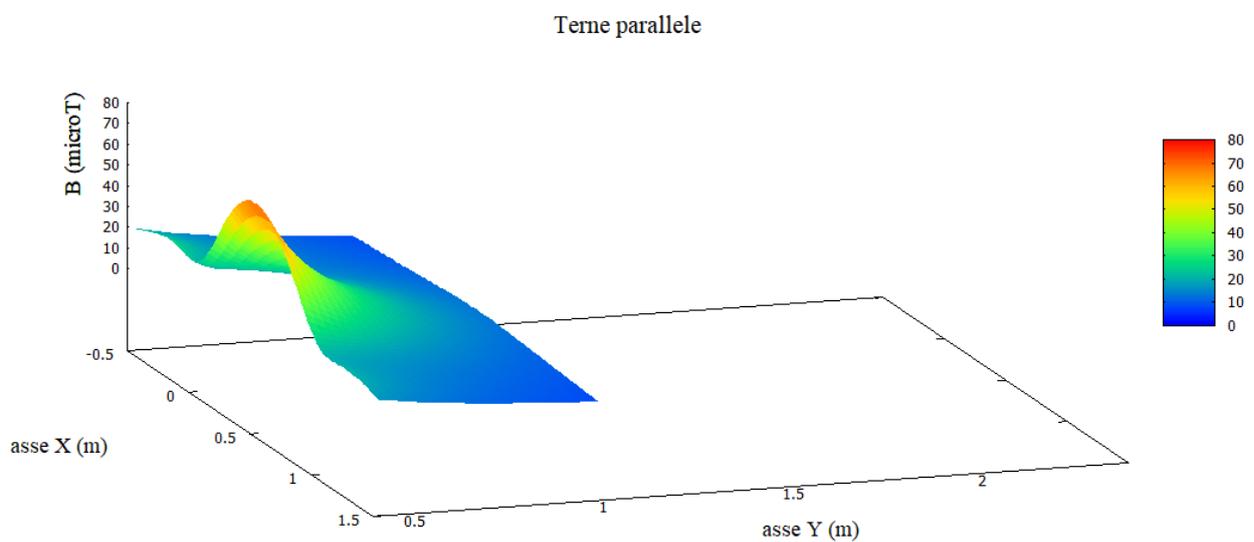
PAGE

17 di/of 33

A seguire, due ulteriori immagini delle simulazioni effettuate.



**Figura 4 - Simulazione 5 terne MT**

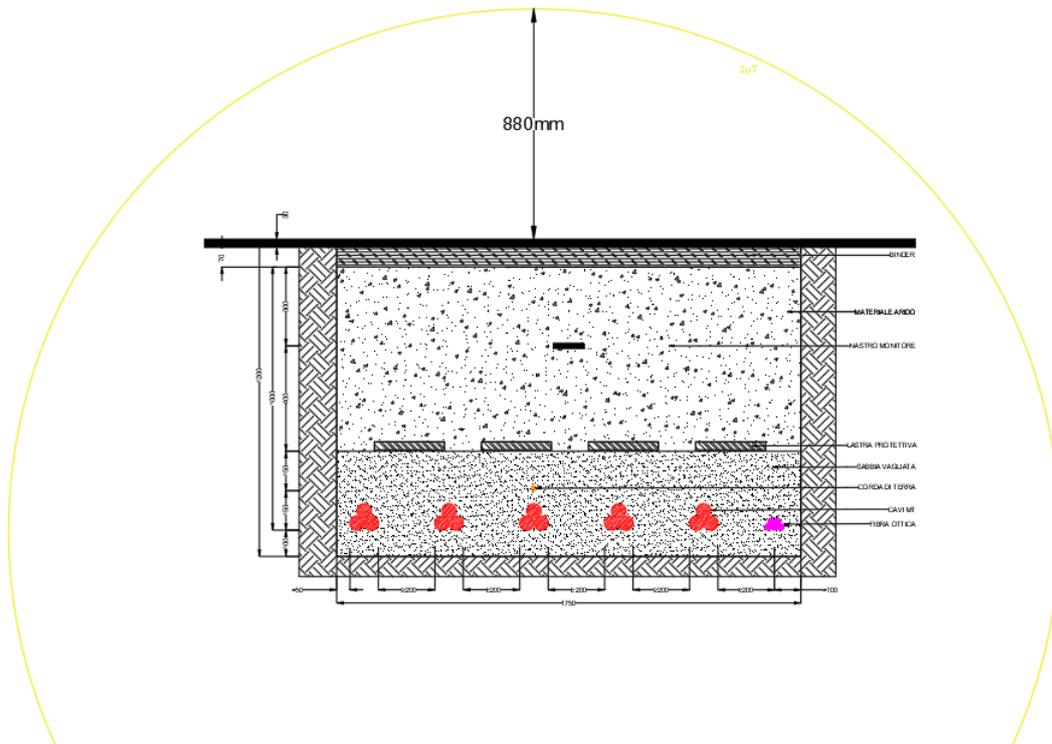


**Figura 5 – Mappa 3D della distribuzione del campo magnetico nello spazio generato da 5 terne MT**



Per quanto riportato sopra, il livello di qualità non viene centrato. Infatti, il valore di induzione magnetica a livello del suolo risulta essere pari a  $10.517\mu\text{T}$ . Tale valore si ottiene grazie ad una simulazione puntuale alle coordinate scelte.

A titolo esemplificativo, si riporta tipico di sezione cavidotto, con curva di isolivello di  $3\mu\text{T}$ :



**Figura 6 - Sezione cavidotto e curva di livello a  $3\mu\text{T}$**





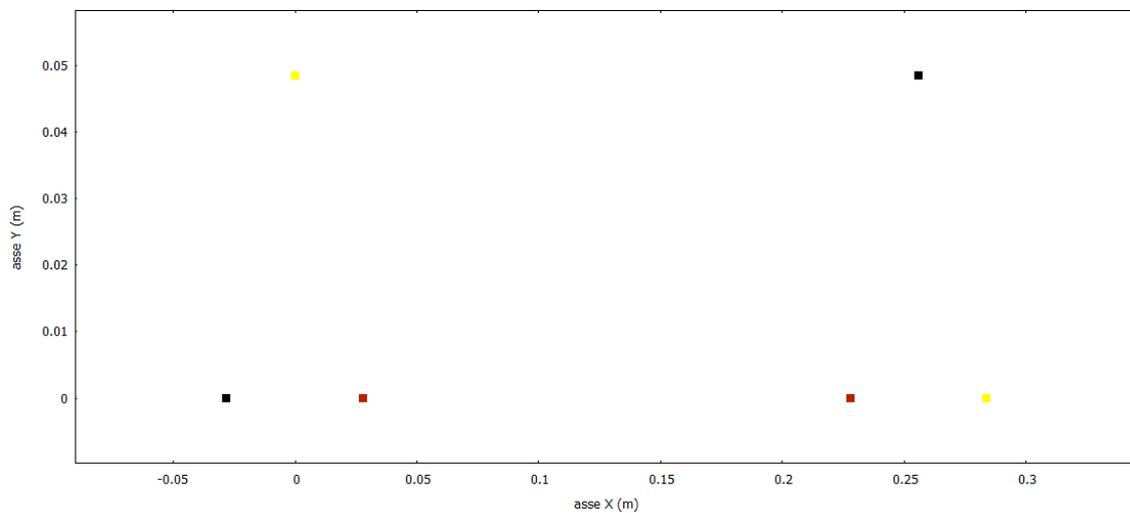
GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

20 di/of 33

A seguire, la geometria della disposizione dei cavi MT.

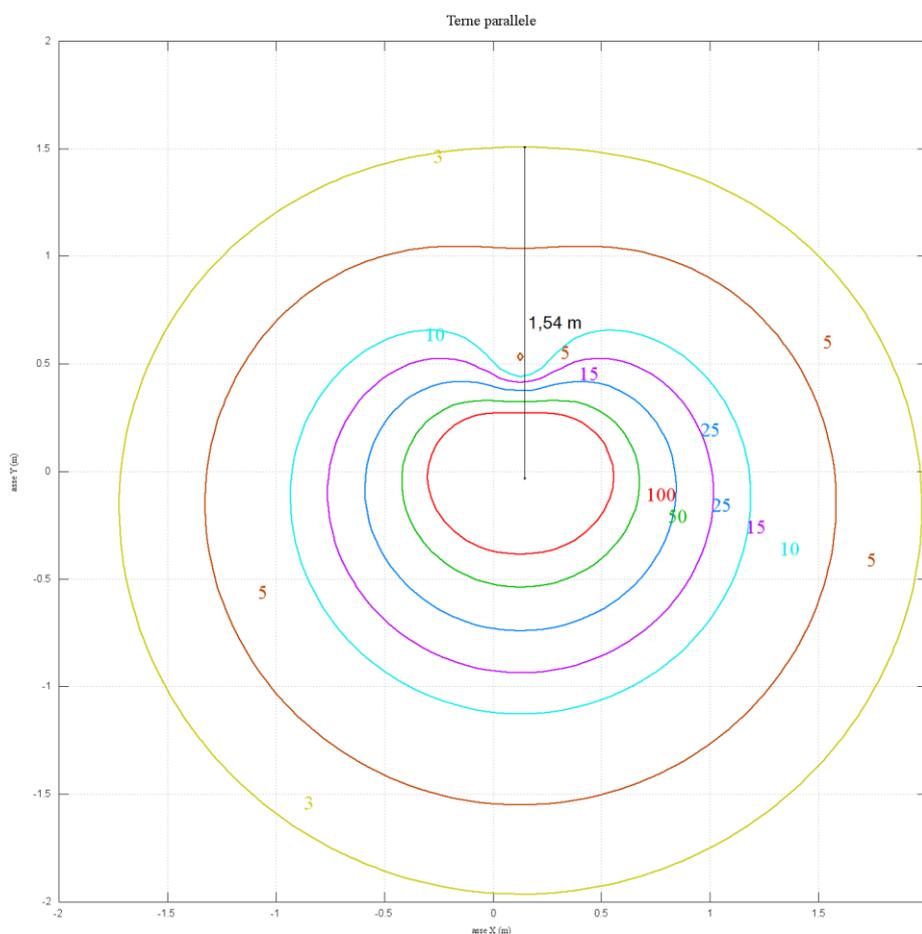


**Figura 9 – Geometria disposizione cavi MT**

Le fasi sono disposte in modo tale da ridurre l'induzione magnetica al piano stradale.

La disposizione usata è: RST, STR.

Le curve di isolivello sono le seguenti:



**Figura 9 – Curve di isolivello induzione magnetica generata da 2 terne di cavi**



GRE CODE

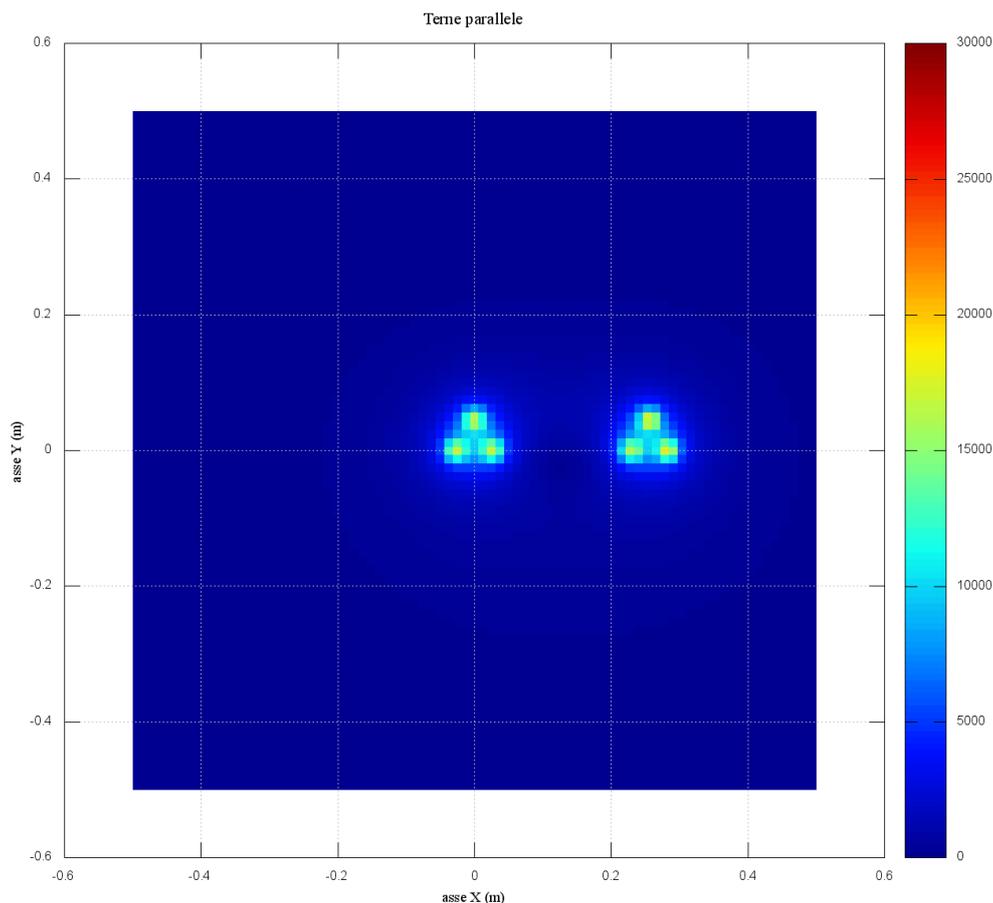
GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

21 di/of 33

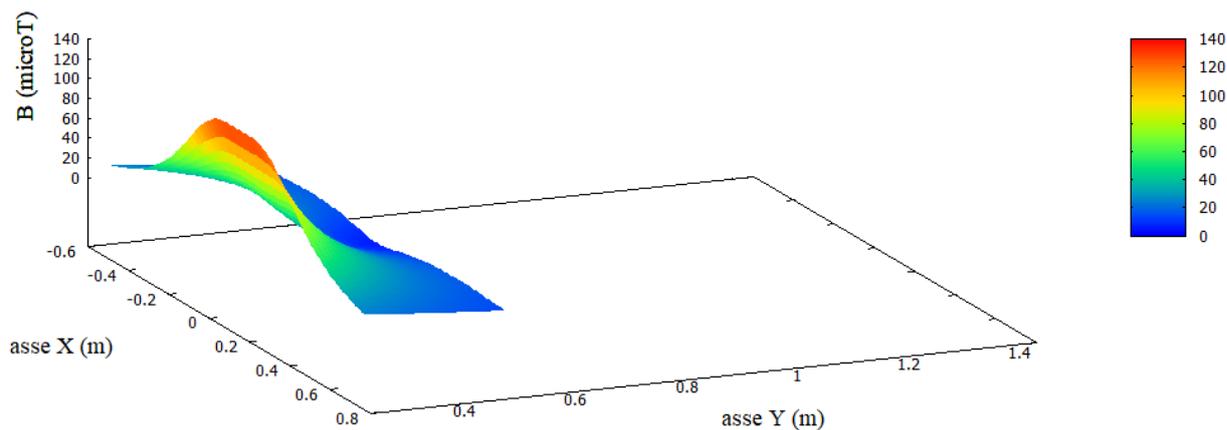
Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  risulta essere a 1.54m dalla posa dei cavi. Considerando che i cavi sono posati a 1.1m dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si centra a distanza di 0.44m dal livello stradale. La soglia di attenzione di  $10\mu\text{T}$ , invece, risulta essere al di sotto della quota stradale.

A seguire, due ulteriori immagini delle simulazioni effettuate.



**Figura 10 – Simulazione 2 terne MT**

Terne parallele

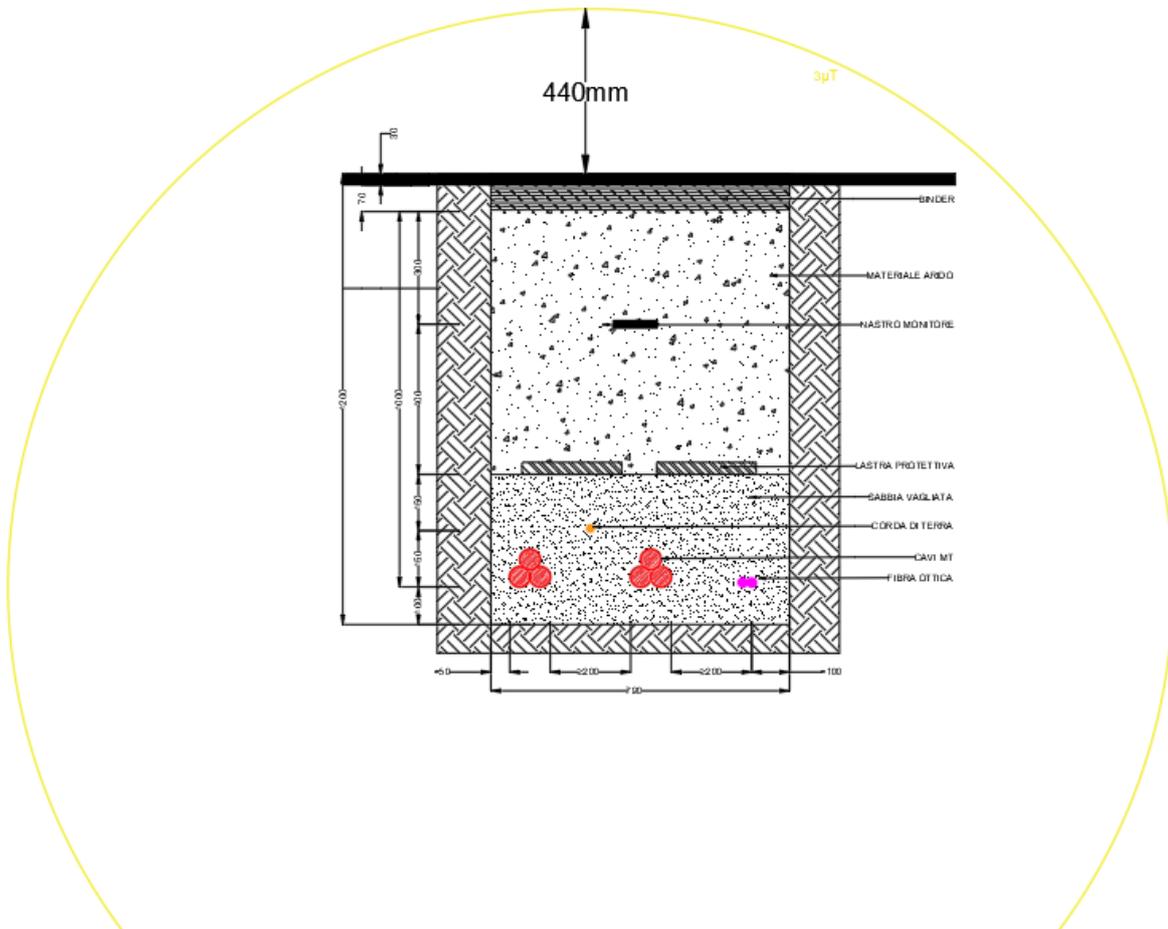


**Figura 11 – Mappa 3D della distribuzione del campo magnetico nello spazio generata da 2 terne MT**



Per quanto riportato sopra, il livello di qualità non viene centrato. Infatti, il valore di induzione magnetica a livello del suolo risulta essere pari a  $4.661\mu\text{T}$ . Tale valore si ottiene grazie ad una simulazione puntuale alle coordinate scelte.

A titolo esemplificativo, si riporta tipico di sezione cavidotto, con curva di isolivello di  $3\mu\text{T}$ :



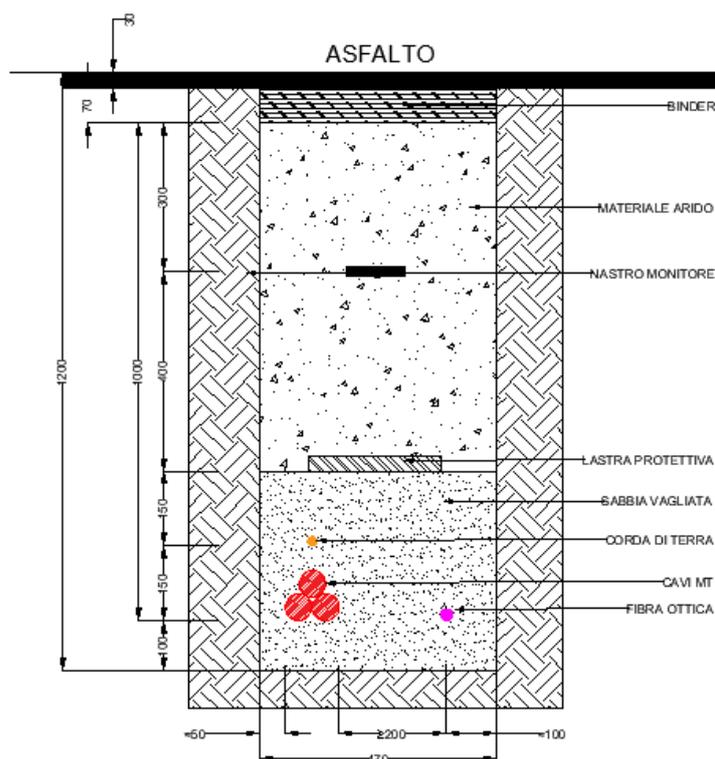
**Figura 7 - Sezione cavidotto e curva di livello a  $3\mu\text{T}$**



### Analisi cavidotto con una terna di cavi MT:

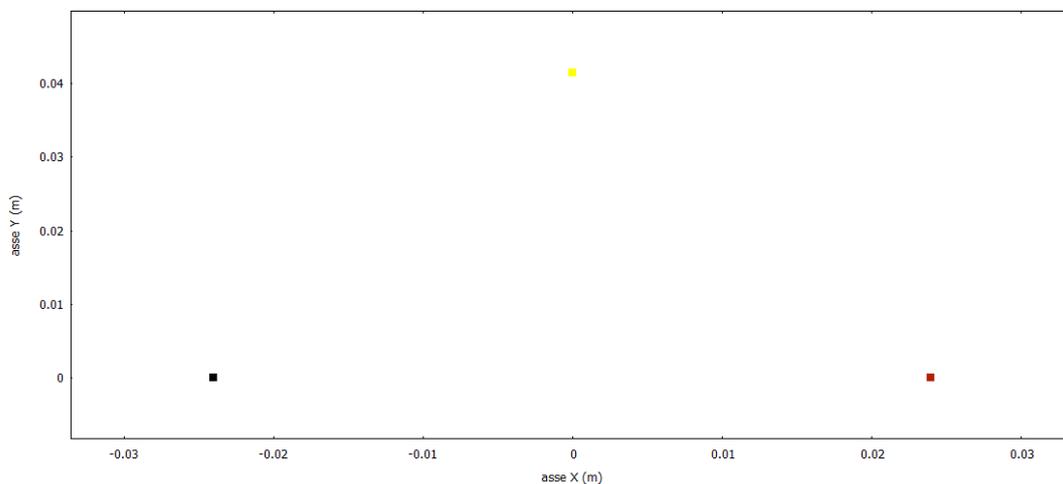
Il tratto di cavidotto relativo al cluster 3 è composto da una terna di cavi del tipo ARE4H5E 18/30 (36) kV di sezione  $400\text{mm}^2$ . La sezione tipo dello scavo viene riportata nella seguente immagine:

### SEZIONE B-B' TRINCEA SU STRADA ASFALTATA - 1 CIRCUITO



*Figura 12 - Tipologico di sezione cavidotto con una terna MT*

La profondità di posa sarà di 1,1m rispetto al piano stradale. Nello scavo in questione si avrà una terna di cavi da  $400\text{mm}^2$  con portata in corrente di 549A.



*Figura 13 - Tipologico di sezione cavidotto con 1 terna MT*



Le curve di isolivello sono le seguenti:

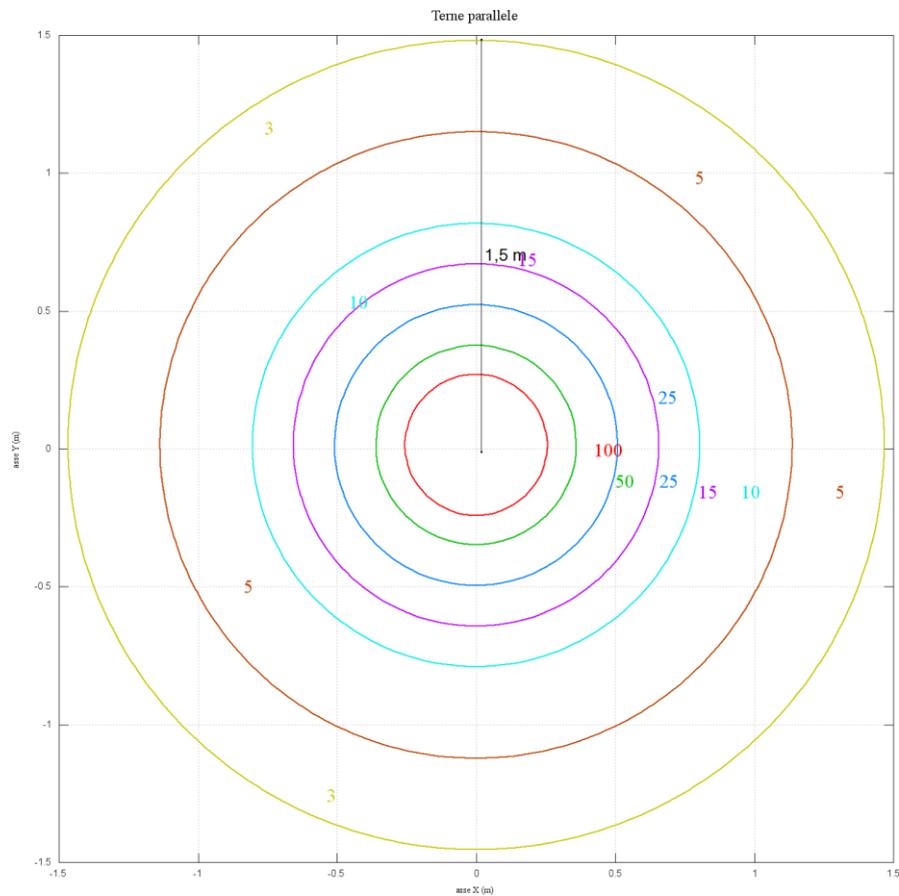
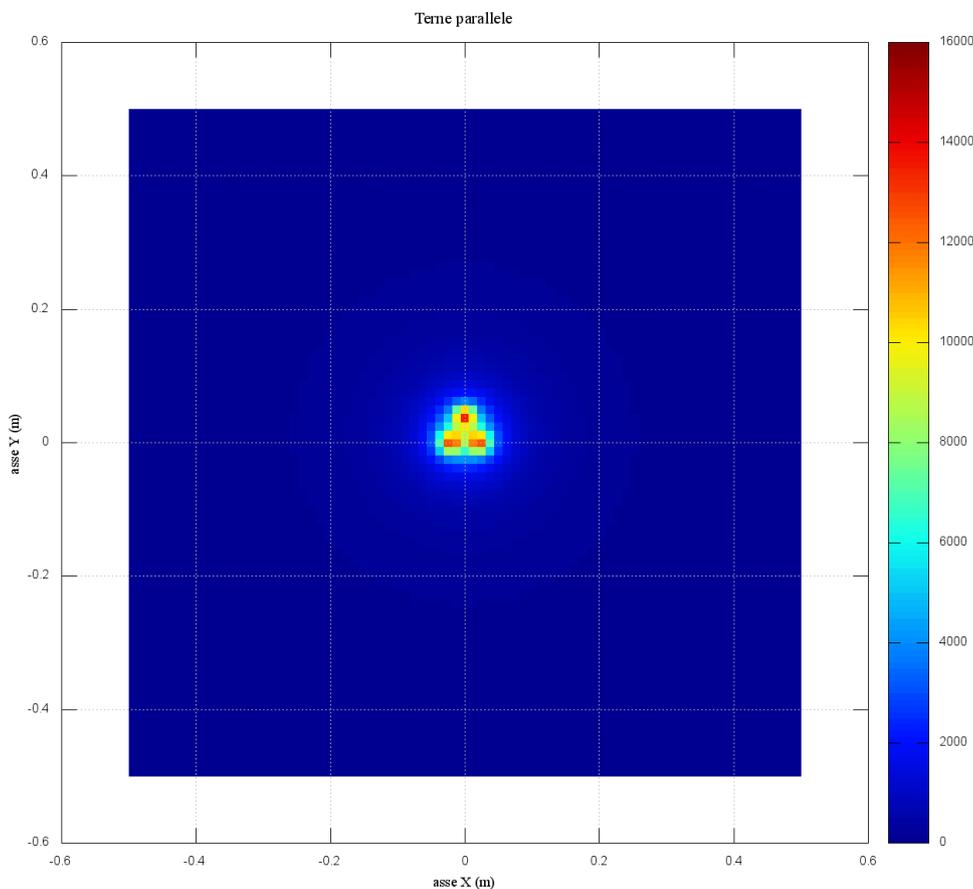


Figura 9 – *Curve di isolivello induzione magnetica generata da 1 terna di cavi*

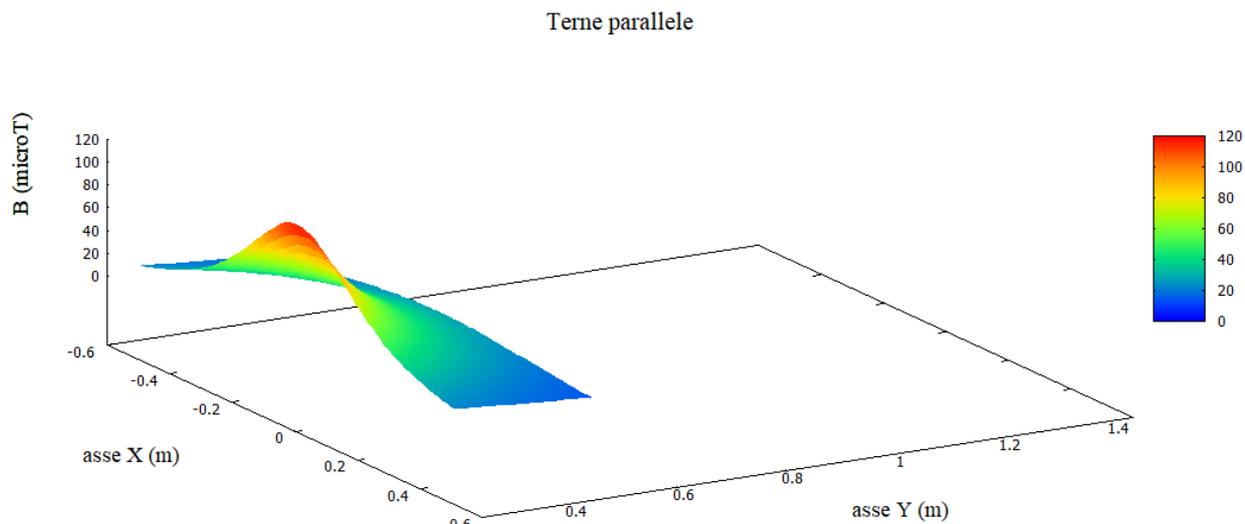
Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  risulta essere a 1.5m dalla posa dei cavi. Considerando che i cavi sono posati a 1.1m dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si centra a distanza di 0.4m dal livello stradale. La soglia di attenzione di  $10\mu\text{T}$ , invece, risulta essere al di sotto della quota stradale.



A seguire, due ulteriori immagini delle simulazioni effettuate.



**Figura 10 – Simulazione una terna MT**



**Figura 11 – Mappa 3D della distribuzione del campo magnetico nello spazio generato da una terna MT**

Per quanto riportato sopra, il livello di qualità di  $3 \mu\text{T}$  non viene centrato. Infatti, il valore di induzione magnetica a livello del suolo risulta essere pari a  $5.471 \mu\text{T}$ . Tale valore si ottiene grazie ad una simulazione puntuale alle coordinate scelte.





GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

27 di/of 33

### 13.2. STALLO TRASFORMATORE 150/33KV E SSE MULTIUTENTE

Lo stallo di trasformazione 150/33kV di nuova realizzazione accoglie i cavi MT provenienti dal parco eolico, ed in uscita dallo stallo trasformatore avremo un collegamento in cavo AT 150kV interrato fino allo stallo 150 kV della sottostazione multiutente. Dalla SSE 150 kV si avrà il collegamento in cavo interrato AT alla Cabina di trasformazione 380/150 kV TERNA, ubicata nelle immediate vicinanze. Sia lo stallo trasformatore che la sottostazione multiutente sono oggetto di studio in merito all'impatto elettromagnetico che possono generare. Lo stallo trasformatore 150/33 kV sarà di dimensioni 36x51.2m. La sottostazione multiutente avrà 2 stalli trasformatore oltre allo stallo di arrivo a 150kV, e uno stallo linea e sarà di dimensioni totali 145.07x51.2m. Lo stallo trasformatore Macomer 1 è equipaggiato con trasformatore elevatore 150/33 kV ONAN/ONAF 85.8/90 MVA  $v_{cc}\% = 12.5\%$ , gruppo YNd11, oltre alla componentistica AT classica. Altrettanto si può dire della SSE multiutente che ospiterà la componentistica AT a 170kV.

Tutte le componenti in gioco si trovano a distanze minime previste dall'allegato A3 al codice di rete TERNA. Da sottolineare, la distanza tra le fasi pari a 2.2m e larghezza minima degli stalli pari a 11m come richiesto per le sezioni a 150kV. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico "GRE.EEC.D.74.IT.W.15066.00.001.02 Sezioni elettromeccaniche sottostazione 150\_33 kV".

Nell'allegato al Decreto Ministeriale 29/05/2008 a firma APAT "Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti", al cap. 5 par. 2.2 Stazioni Primarie, viene detto quanto segue "per questa tipologia di impianti, la DPA, e quindi la fascia di rispetto rientrano generalmente, nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso".

A conferma di quanto definito dal D.M. 29/05/2008, è disponibile la "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" di ENEL allegato A.16 per Cabine Primarie isolate in aria.

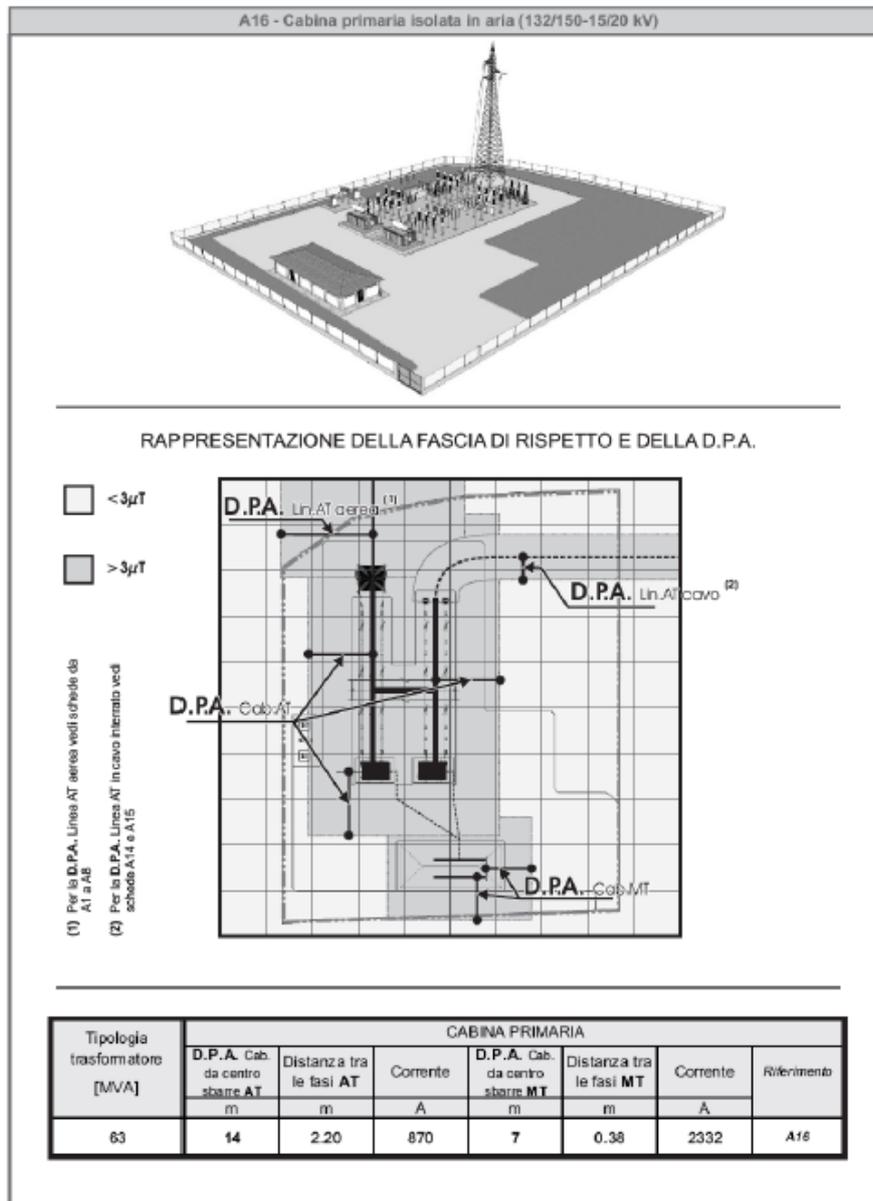


Figura 9 - Allegato A.16 ENEL

Come mostrato dall'allegato ENEL, a conferma di quanto detto nel D.M., la DPA risulta essere all'interno dell'area di sottostazione.

### 13.3. CAVIDOTTO AT

Per il progetto oggetto di studio, avremo due cavidotti AT a 150kV. Il primo connetterà lo stallo trasformatore allo stallo AT in SSE multiutente. Il secondo cavidotto, invece, collegherà la SSE multiutente alla Cabina di trasformazione 380/150kV TERNA di nuova realizzazione.

Il primo cavidotto AT di connessione prevede la posa di cavi a 150kV di sezione 400mm<sup>2</sup> in alluminio e sarà utilizzato per il trasporto della potenza generata dal parco eolico (78MW).



GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

29 di/of 33

Il secondo cavidotto AT di connessione prevede la posa di cavi a 150kV di sezione 1200mm<sup>2</sup> in rame e sarà utilizzato per il trasporto della potenza massima che lo stallo in cabina di trasformazione può ospitare (200/220MW).

La tensione del cavo sarà 87/150 (170) kV e avrà le caratteristiche riportate dall'allegato A.3:

1. Anima: conduttore a corda rigida rotonda, compatta e tamponata di rame ricotto non stagnato o alluminio. Le sezioni normalizzate dovranno essere conformi alle prescrizioni IEC 60228.
2. Isolante e strati semiconduttivi: isolante costituito da uno strato di polietilene reticolato estruso insieme ai due strati semiconduttivi (tripla estrusione).
3. Schermo: lo schermo metallico, in piombo o alluminio, o a fili di rame ricotto o fili di alluminio non stagnati opportunamente tamponati, o in una loro combinazione deve:
  - contribuire ad assicurare la protezione meccanica del cavo
  - assicurare la tenuta ermetica radiale
  - consentire il passaggio delle correnti corto circuito
4. Guaina esterna: il rivestimento protettivo esterno sarà costituito da una guaina di PE e grafitata, ovvero, quando per installazioni in aria si ritiene opportuno evitare il propagarsi della fiamma, guaina in PVC non propagante la fiamma o PE opportunamente addizionata oppure con microguaina aggiuntiva in PE opportunamente addizionata.

La profondità di posa è pari a 1.5m dall'estradosso stradale, con sezione tipica riportata a seguire.

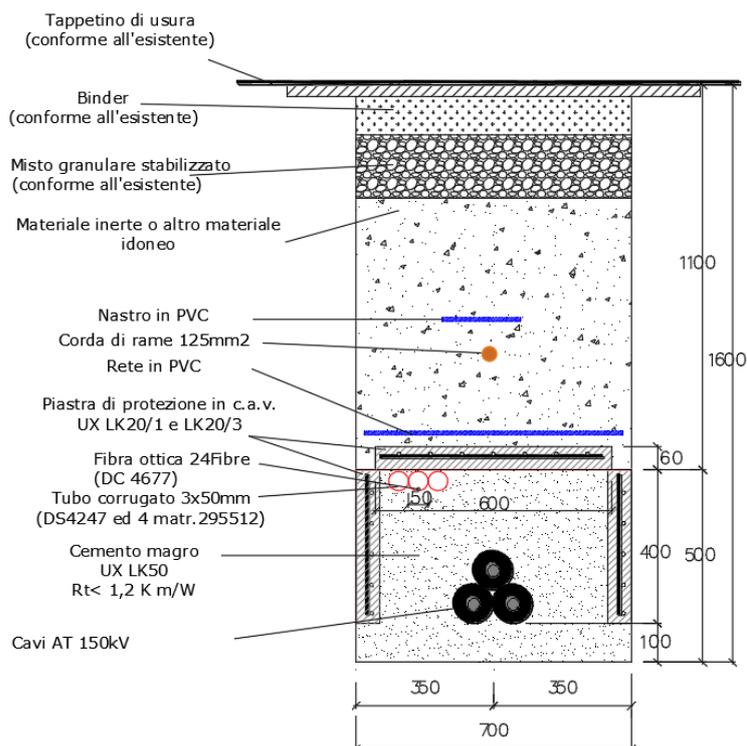


Figura 10 - Tipico di sezione cavidotto AT



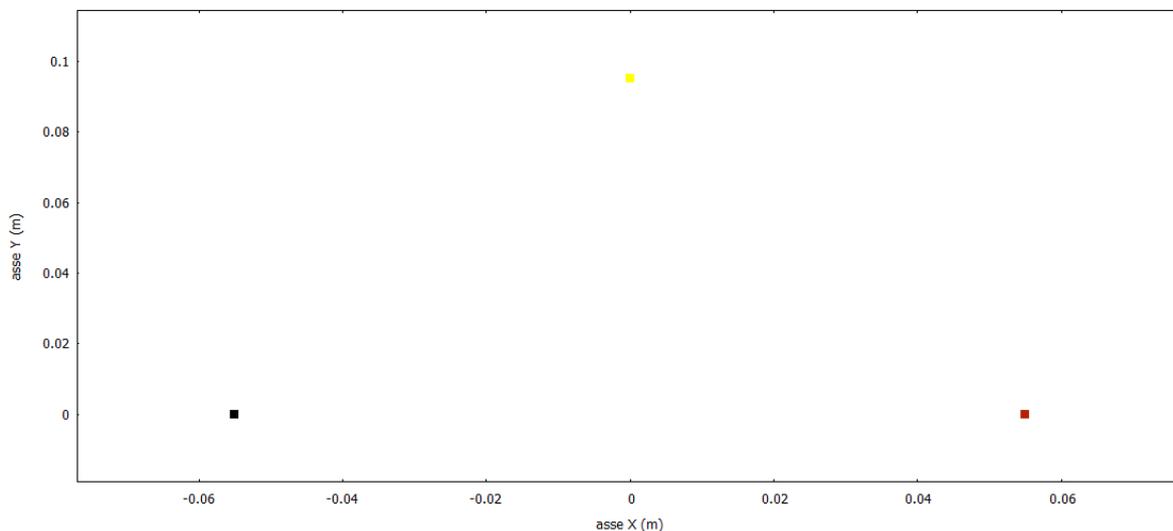
GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

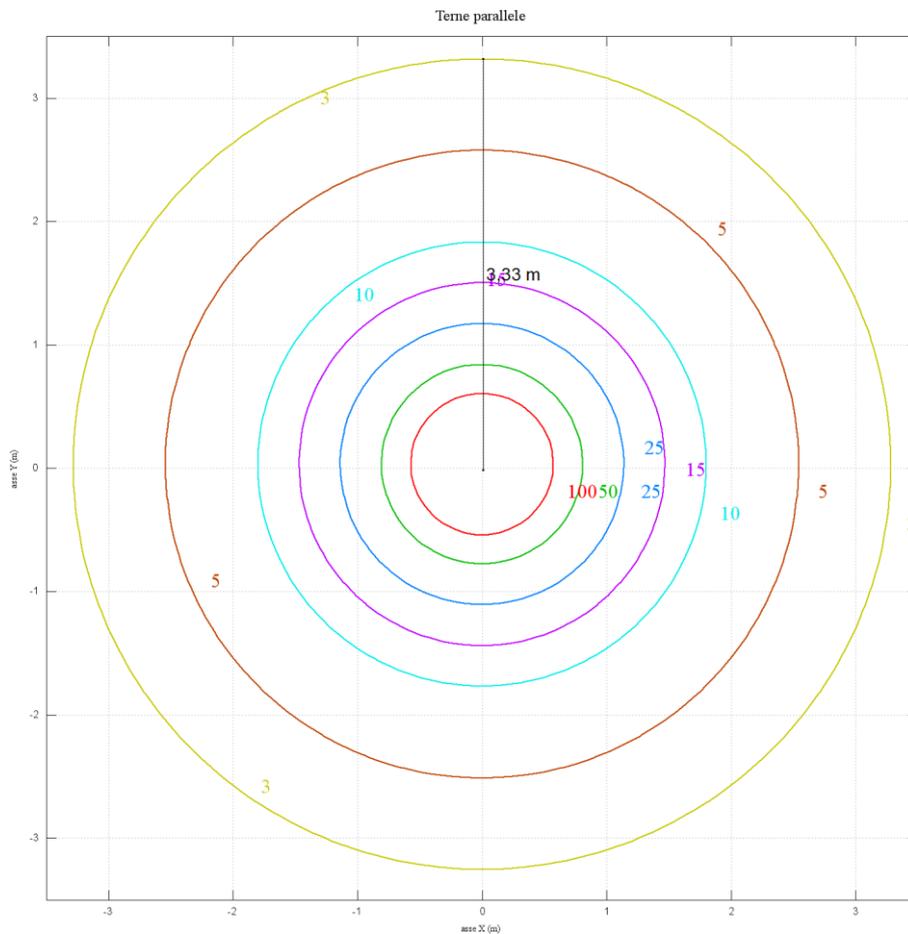
30 di/of 33

Si valuterà il caso peggiore, ossia il cavo da 1200mm<sup>2</sup> che come da allegato A3 al codice di rete TERNA risulta avere una portata in corrente pari a 1200A.



**Figura 11 - Tipologico di sezione cavidotto con 1 terna AT**

A seguire, le curve di isolivello:



**Figura 12 - curve di isolivello AT**



GRE CODE

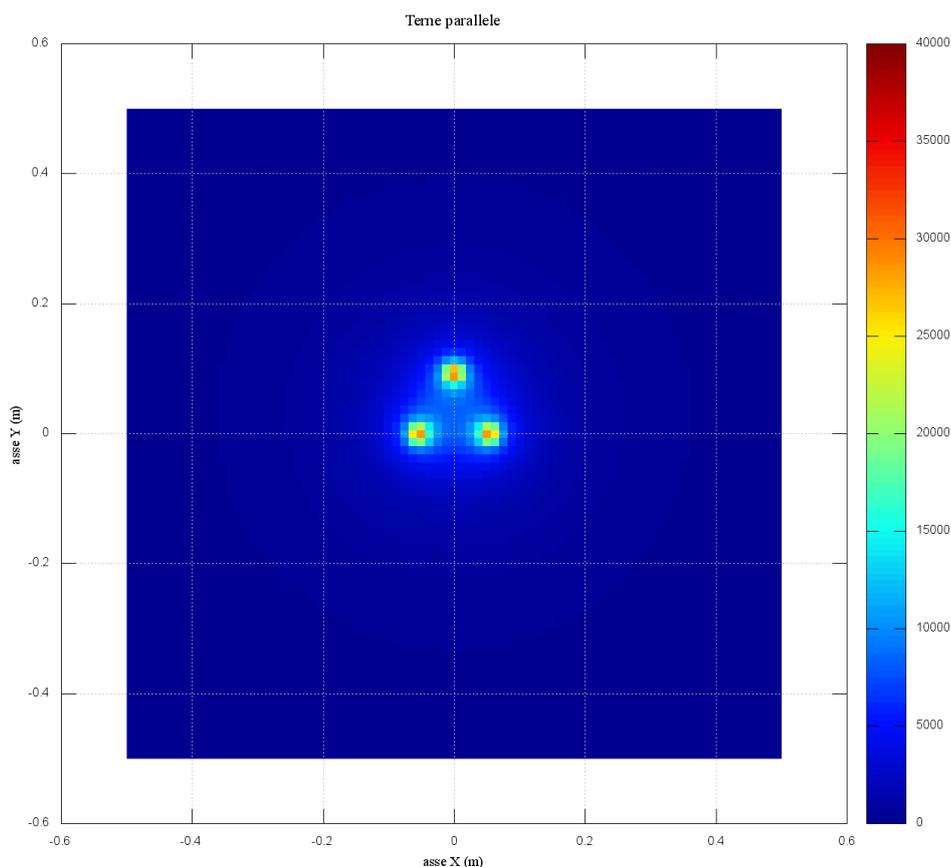
GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

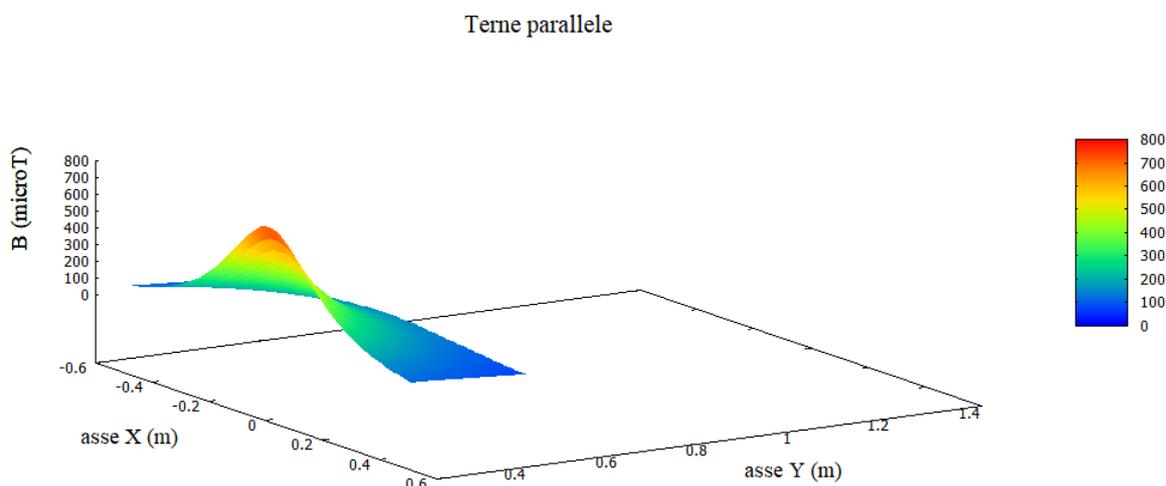
31 di/of 33

Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di  $3\mu\text{T}$  risulta essere a 3.33m dalla posa del cavo AT. Considerando che i cavi sono posati a 1.5m dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità di centra a distanza di 1.82m dal livello stradale. La soglia di attenzione di  $10\mu\text{T}$ , invece, risulta essere poco al di sopra della quota stradale. Infatti, effettuando un'analisi puntuale alla quota stradale, il valore di induzione magnetica risulta essere pari a  $14.996\mu\text{T}$ .

A seguire, due ulteriori immagini delle simulazioni effettuate.



**Figura 13 - Simulazione terna AT**



**Figura 14 - Ulteriore simulazione terna AT**





GRE CODE

GRE.EEC.R.73.IT.W.15066.00.033.00

PAGE

33 di/of 33

A seguire, tabella riassuntiva della Distanza di Prima Approssimazione (in m) calcolata come da definizione riportata al capitolo 9 della presente relazione e approssimata per eccesso all'intero superiore.

Casi	DPA [m]
5 cavi MT	2
2 cavi MT	2
1 cavi MT	2
1 cavi AT	4
SSE multiutente	All'interno dell'area di sottostazione

**Tabella 5 - Tabella riassuntiva DPA**

#### 14. CONCLUSIONI

Le conclusioni alle simulazioni sono state già esplicitate alla fine di ogni paragrafo di verifica. Ricapitolando, per il cavidotto MT ed AT non si rispetta la soglia di qualità, ma si è ben al di sotto del valore limite di legge pari a  $100\mu\text{T}$ . Per la sottostazione elettrica, invece, il valore di induzione magnetica non è stata verificata, ma sia a livello normativo che da estratti di ENEL sull'argomento, la soglia di qualità è sempre rispettata all'interno della sottostazione stessa.

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido