AVAILABLE LANGUAGE: IT

Regione Liguria

Provincia di Savona

Comune di Quiliano, Altare e Mallare

"Impianto eolico di potenza nominale pari a 30 MW integrato con un sistema di accumulo di potenza nominale pari a 20 MW da realizzarsi nei Comuni di Quiliano, Altare e Mallare (SV)"

RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Il tecnico

Ing. Leonardo Sblendido



File:C24G&GWLI002A014R00_Relazione sui campi elettromagnetici.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	*03/12/2024*	***Prima emissione***	A. Amendola	D. Morelli	L. Sblendido

INDICE

INTRODUZIONE 3
1. ACRONIMI 4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 5
3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO 6
4. DESCRIZIONE COMPONENTI DELL'IMPIANTO OGGETTO DI ANALISI 7
5. CAMPO ELETTROMAGNETICO 8
6. CAMPO ELETTRICO 10
7. CAMPO MAGNETICO 11
8. DEFINIZIONI: FASCIA DI RISPETTO E DISTANZA PRIMA APPROSSIMAZIOME (DPA) 12
9. DPCM 08/07/2003 E RIFERIMENTI 12
10. DLGS 159/2016 E RIFERIMENTI 15
11. METODOLOGIA DI CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO 17
12. RISULTATI DI CALCOLO 18
12.1. Cavidotto AT 36 kV – Parco Eolico 18
13. IMPATTO ELETTROMAGNETICO-BESS 22
13.1. Batterie 22
13.2. Inverter 22
13.3. Cavidotto AT 36 kV 22
14. IMPATTO ELETTROMAGNETICO – SSE 36 KV 24
15. VERIFICA DELLA PRESENZA DEI RECETTORI DEFINITI DAL DPCM 08/07/2003 ALL'INTERNO DELLA DPA 26
16. CONCLUSIONI 26

INTRODUZIONE

L'impianto eolico in progetto è costituito da 5 aerogeneratori (anche detti WTG) di potenza nominale unitaria pari a 6 MWp, per una potenza nominale complessiva pari a 30 MW. L'impianto è integrato da un sistema di accumulo di potenza nominale pari a 20 MW e corredato dalle opere di connessione e dalle infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dello stesso. Tutte le turbine e le opere di connessione ricadono all'interno dei confini comunali di Quiliano, Altare e Mallare, in provincia di Savona.

Per come riportato nella STMG (cod. pratica: 202402184), la centrale utente verrà *collegata in antenna a 36 kV con la futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Magliano – Vado Ligure".*

L'energia elettrica prodotta dall'impianto concorrerà al raggiungimento dell'obiettivo di incrementare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, coerentemente con gli accordi siglati a livello comunitario dall'Italia.

L'impianto sarà destinato a funzionare in parallelo alla rete elettrica nazionale, in modo da immettere energia da fonte rinnovabile in rete; l'iniziativa, oltre a contribuire al potenziamento della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile su territorio nazionale, sarà a servizio dei futuri fabbisogni energetici comunali.

La presente relazione contiene la verifica dell'impatto elettromagnetico riferita al progetto dell'impianto Eolico ricadente nei comuni di Quiliano, Altare e Mallare, proposto da VSE S.r.l.

Di seguito si riporta la potenza complessiva dell'impianto:

Tabella 1: Sintesi dati di impianto

Dati progetto	
Numero Turbine	5
Potenza Installata	30 MW
Potenza Nominale Turbina	6.0 MW
Tensione sistema MT	36 kV

1. ACRONIMI

Tabella 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 di raccolta
SE	Stazione Elettrica
TV	Trasformatore di tensione
TA	Trasformatore di corrente

2. 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 Parte1-1: 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.

3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'impianto eolico è costituito da 5 aerogeneratori, ciascuno dei quali comprende un generatore (V=720V, P=6000 kW), collegati al rispettivo trasformatore di macchina (36/0.72kV, P=7300kVA). I cinque aerogeneratori sono divisi in due sottogruppi (Clusters). All'interno di ogni cluster gli aerogeneratori sono connessi con collegamento di tipo "entra-esce" mediante cavi interrati di tensione 36 kV. L'energia elettrica sarà convogliata dal parco eolico mediante due terne di cavi interrati di tensione 36 kV (AT) verso la Stazione di raccolta (SSE) 36 kV, per poi essere immessa in rete grazie al collegamento in AT, alla medesima tensione, verso una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132736 kV.

Ogni aerogeneratore è dotato di tutte le apparecchiature e circuiti di potenza nonché di comando, protezione, misura e supervisione. Di seguito vengono mostrati il layout dell'impianto su base ortofoto, una tabella riassuntiva del collegamento delle WTG tra loro per la formazione dei cluster.

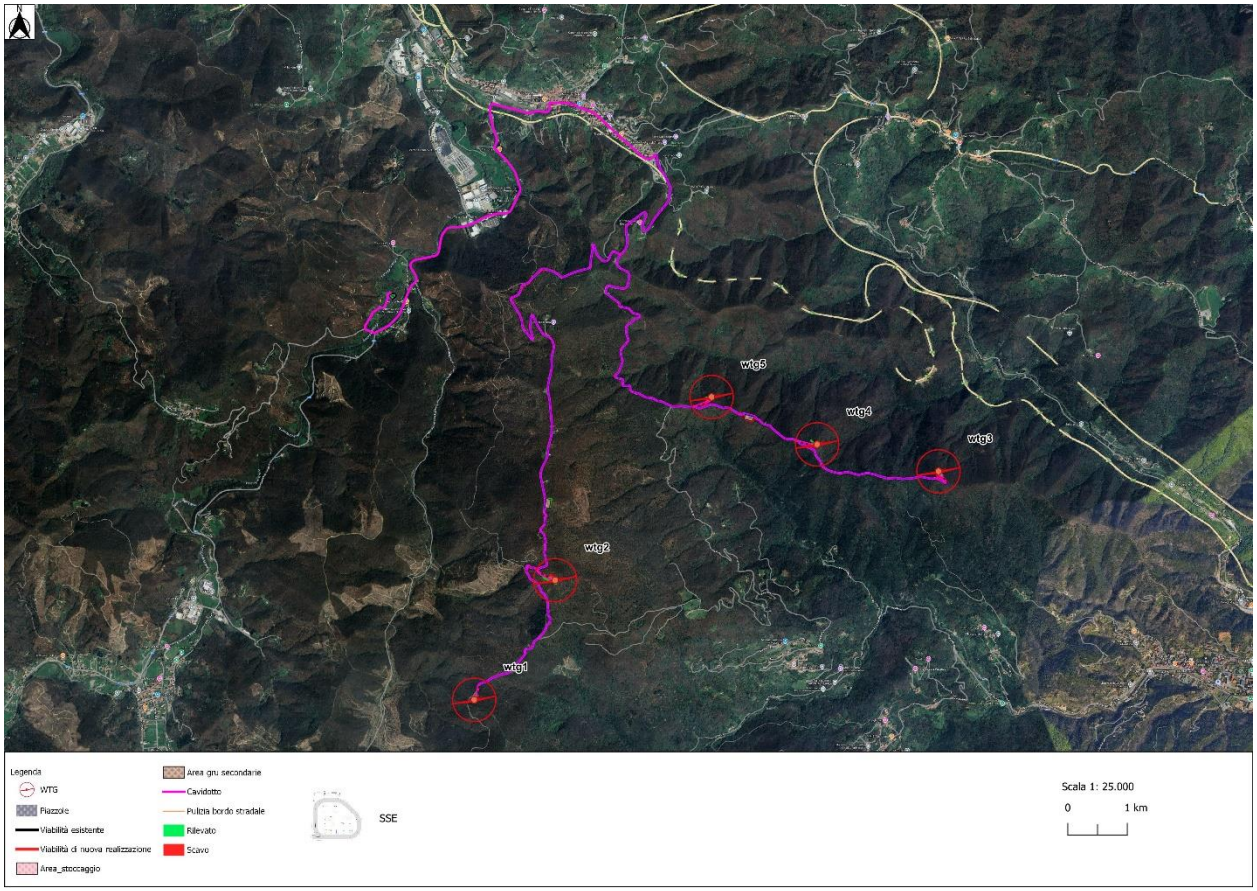


Figura 1: Inquadramento su base ortofoto.

Tabella 2: Collegamento tra le WTG di impianto.

CLUSTER 1 (2 WTG – 12 MW)	
DA WTG 1	*A WTG 2*
DA WTG 2	*A SSE 36 kV*
CLUSTER 2 (3 WTG – 18 MW)	
DA WTG 3	*A WTG 4*
DA WTG 4	*A WTG 5*
DA WTG 5	*A SSE 36 kV*

4. DESCRIZIONE COMPONENTI DELL'IMPIANTO OGGETTO DI ANALISI

L'impianto eolico in oggetto è composto da:

- n° 5 WTG da 6.0 MW;
- Impianto di accumulo (BESS) da 20 MW;
- Cavidotto AT a 36 kV di connessione tra le WTGs (in Cluster) e la Sottostazione Utente di raccolta a 36 kV. I cavi saranno del tipo ARE4H1H5E 20,8/36 kV di sezione variabile. Le terne di cavi sono posate a trifoglio, interrate con due profondità differenti, ovvero a 1.36 m e 1.50 m dalla quota stradale, quest'ultima necessaria per la posa condivisa tra le terne provenienti dal parco eolico e delle terne dirette alla SE, in entrambe le pose le terne risultano distanziate di 30 cm.
- Cavidotto AT a 36kV di connessione tra l'impianto BESS e la Sottostazione Utente di raccolta a 36 kV. I cavi saranno del tipo ARE4H1H5E 20,8/36 kV di sezione variabile con disposizione a trifoglio ed interrati a una profondità di 1.36m dal livello del suolo;
- Sottostazione elettrica utente di raccolta a 36 kV.
- Cavidotto AT a 36 kV di connessione tra la SSE e la Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 380/132/36 kV. I cavi saranno del tipo ARE4H1H5E 20,8/36 kV di sezione pari a 3x2x400mmq. Le terne di cavi sono posate a trifoglio ed interrate con una profondità di 1.50 m dalla quota stradale (condividendo un tratto con le terne di impianto, come già attenzionato).

5. 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 rappresentano 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 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 3: Spettro elettromagnetico.

6. 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 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 AT ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata.

I precedenti accorgimenti consentono il rispetto della normativa, in particolare per i cavidotti AT realizzati con cavi AT 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.

7. 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 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."

8. 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.

9. 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 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- **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 μT, 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 μT 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.

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 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 3μT.

Soglia	Valore limite del campo magnetico
Limite di esposizione	100 μT (da intendersi come valore efficace)
Valore di attenzione (misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere)	10 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)
Obiettivo di qualità (nella progettazione di nuovi elettrodotti in aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio)	3 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)

Tabella 4: Tabella riassuntiva valori di soglia.

10. DLGS 159/2016 E RIFERIMENTI

Il D.Lgs. 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, 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 tra gli altri parametri:

- "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 termini 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. […]".

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).

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 tecnico 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).

Nello specifico si rileva che:

1. Il dipartimento dell'organizzazione della Proponente - 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 maggiore 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.

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.

11. METODOLOGIA DI CALCOLO E SOFTWARE UTILIZZATO

Coerentemente con quanto sopra riportato, la metodologia di calcolo prevede che per il calcolo 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 cavi interrati e loro disposizione relativa rispetto all'asse di riferimento;
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.

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

- Cavidotto in alta tensione AT (36kV);
- Sottostazione Elettrica di raccolta 36 kV;

Le simulazioni avverranno attraverso il software di BE Shielding MAGIC - Magnetic Induction Calculation il quale è uno strumento per l'analisi di impatto ambientale dei campi magnetici e per la determinazione delle fasce di rispetto per linee elettriche 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). Il software è in grado di restituire valori puntuali di induzione elettromagnetica, oltre che grafici di andamenti nello spazio dell'induzione magnetica.

12. RISULTATI DI CALCOLO

12.1. Cavidotto AT 36 kV – Parco Eolico

Il cavidotto AT relativo al progetto del parco eolico interessa la connessione tra:

- le WTGs e la Sottostazione Elettrica di raccolta a 36 kV.

Relativamente all'impianto eolico localizzato nei comuni di Quiliano, Altare e Mallare (SV), il caso più impattante ai fini dell'analisi elettromagnetica risulta essere il percorso di cavidotto che realizza la connessione tra le WTGs e la SSE a 36kV, il quale sarà realizzato mediante due terne di cavi provenienti dal parco eolico più altre due terne adibite al trasporto di energia tra la SSE utente e la SE, i cavidotti sono del tipo ARE4H1H5E 20,8/36 kV con formazione:

- Terna 1: 3x1x400mm^2
- Terna 2: 3x1x400mm^2
- Terna 3: 3x1x185mm^2
- Terna 4: 3x1x240mm^2

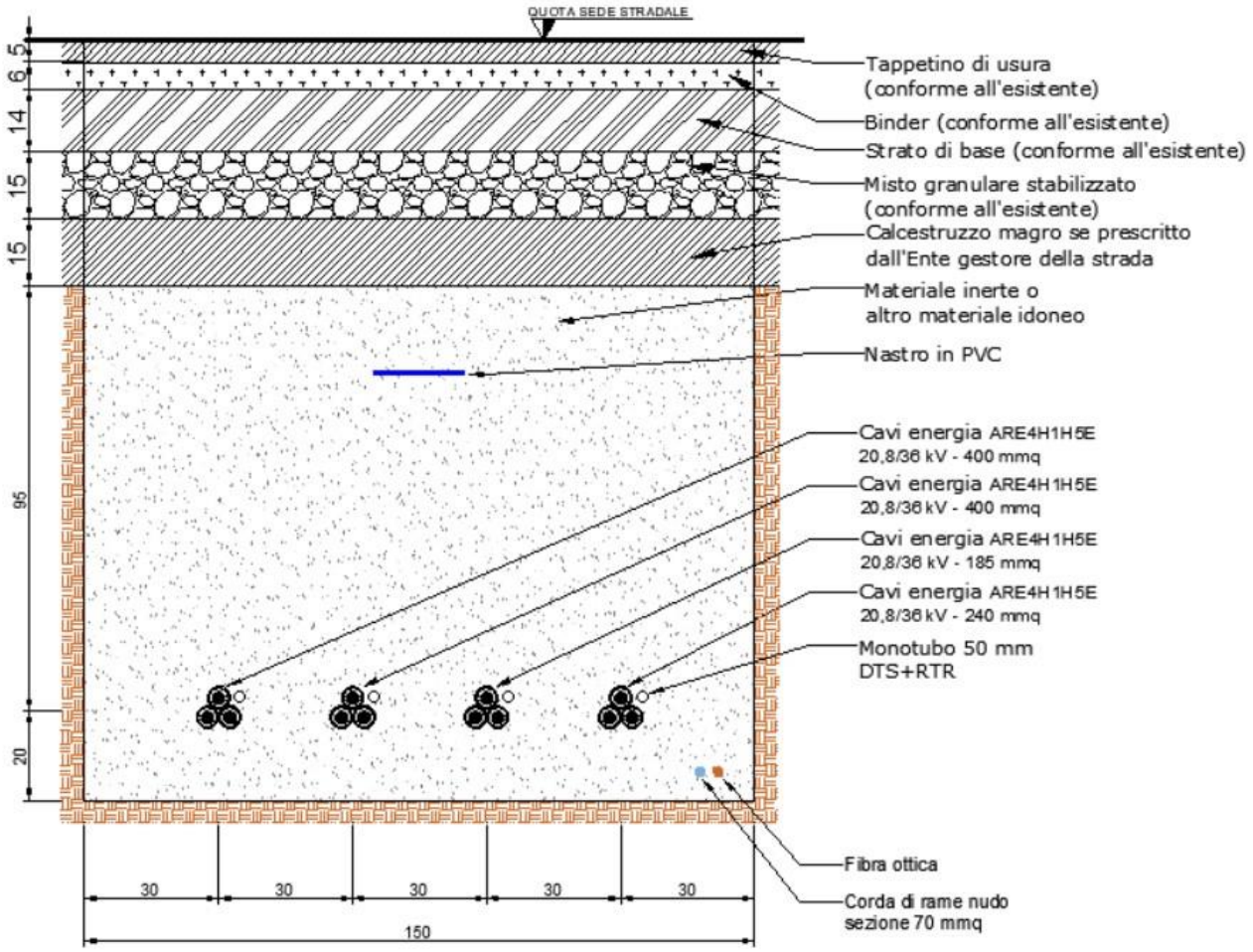


Figura 2: Sezione cavidotto AT composto da quattro terne di cavi a 36 kV su strada asfaltata.

Considerando come assi di riferimento l'asse y=0 (livello stradale) e l'asse x=0 (asse passante per il punto medio della distanza tra le quattro terne di cavi), le quattro terne di cavi, posate a trifoglio, interrate ad una profondità di 1.50 m dal livello del suolo, sono disposte nello spazio rispettando le seguenti coordinate:

- Terna 1: (x = -0.45 m; y = -1.50 m);
- Terna 2: (x = -0.15 m; y = -1.50 m);
- Terna 3: (x = +0.15 m; y = -1.50 m);
- Terna 4: (x = +0.45 m; y = -1.50 m).

La corrente che attraversa i cavi sarà la corrente di impiego pari a:

- Terna 1: 445.49 A
- Terna 2: 445.49 A
- Terna 3: 213.83 A
- Terna 4: 320.75 A

Le curve di isolivello generate dal cavidotto in oggetto sono riportate in *Figura **3***.

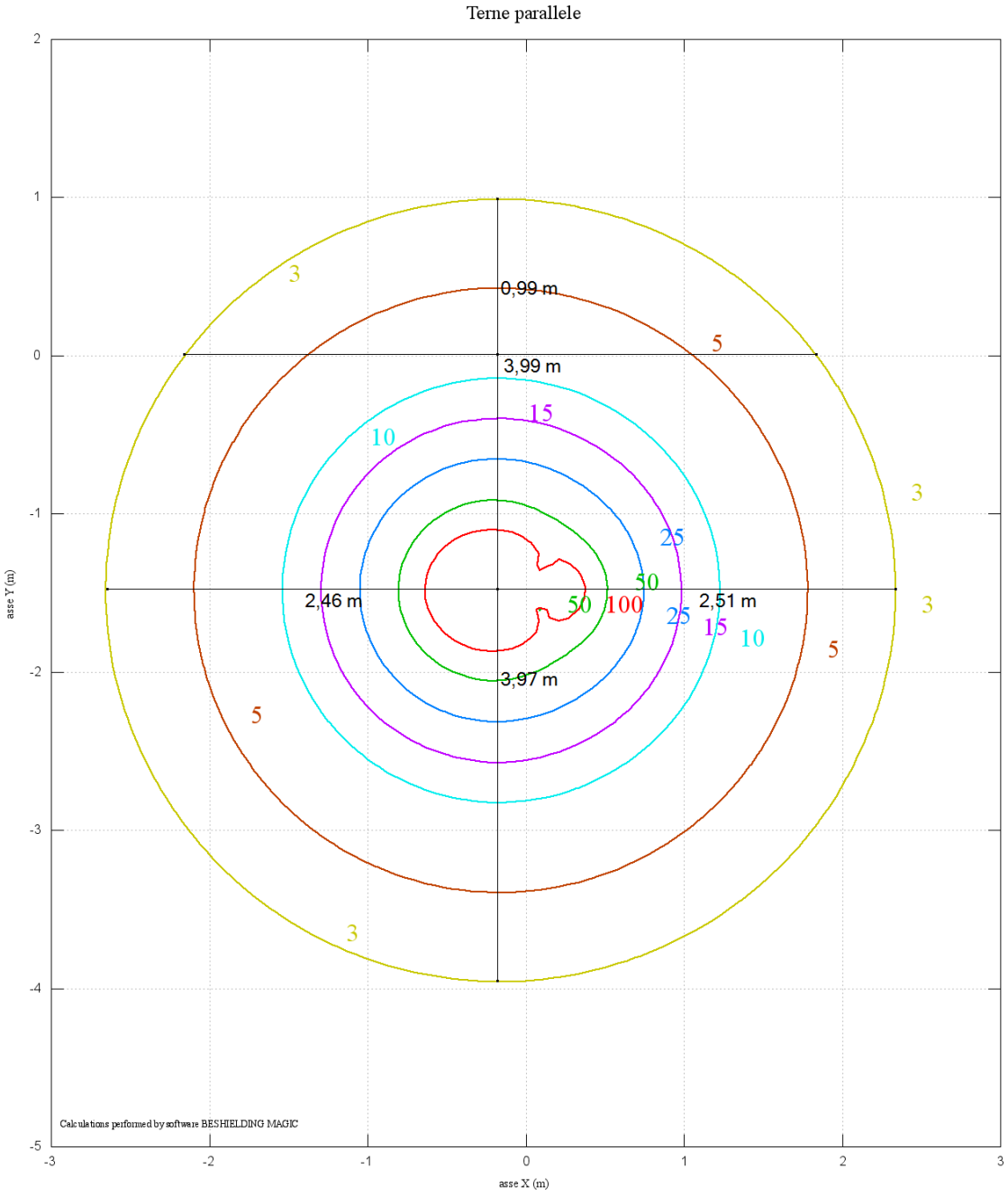


Figura 3: Curve di isolivello – Simulazione cavidotto AT formato da quattro terne di cavi a 36 kV.

Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di 3μT risulta essere, lungo l'asse y, a 2.49 m dalla posa del cavo AT. Considerando che i cavi sono posati alla profondità di 1.50 m dalla quota stradale, l'obiettivo di qualità si raggiunge a 0.99 m al di sopra della soglia stradale. Il valore della DPA risulta pari a 2.46 m sulla sinistra e di 2.51 sulla destra, entrambe misurate a partire dall'asse x=0.

La fascia di rispetto al suolo, invece, risulta pari a 3.99 m.

La soglia di attenzione di 10μT risulta essere al di sotto della quota stradale.

A seguire, si riporta il grafico che mostra i valori dell'induzione magnetica sul livello del suolo in funzione della distanza dall'asse x=0.

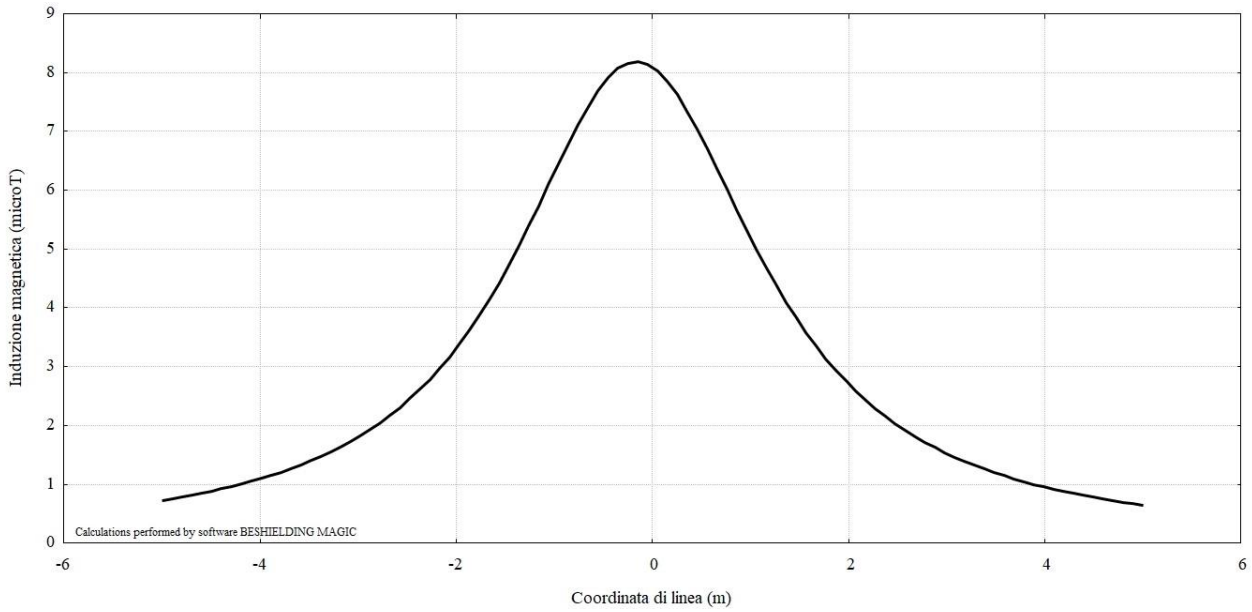


Figura 4: Valori di induzione magnetica sul livello stradale del cavidotto AT formato da quattro terne di cavi a 36kV.

13. IMPATTO ELETTROMAGNETICO-BESS

13.1. Batterie

Le batterie lavorano in corrente e tensioni continue, la generazione di campi variabili è limitata ai transitori di corrente i quali, essendo di breve durata, non comportano impatti rilevanti.

13.2. Inverter

Gli inverter sono dotati di filtri in grado di filtrare le interferenze elettromagnetiche all'interno dell'inverter, per garantire che siano soddisfatti gli standard e i requisiti delle norme di compatibilità elettromagnetica.

13.3. Cavidotto AT 36 kV

Il tratto di cavidotto interrato in cui persistono le condizioni elettromagnetiche meno gravose è quello relativo al tratto di collegamento tra l'impianto BESS e la Sottostazione Elettrica Utente di raccolta a 36 kV.

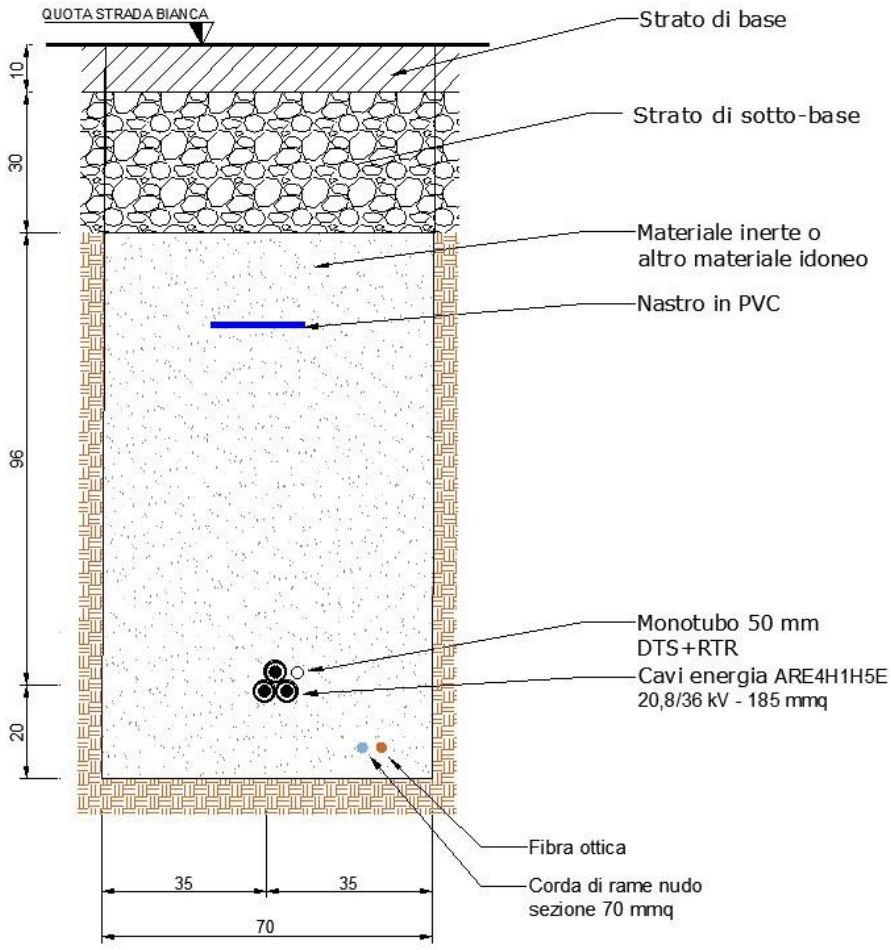


Figura 5: Sezione cavidotto AT dell'impianto BESS composto da una terna di cavo a 36 kV su strada bianca.

Il cavidotto in immagine è composto da una terna di cavi avente una sezione pari a 185 mm^2, disposte a trifoglio ed interrate ad una profondità di 1.36 m dal livello del suolo. Considerando come assi di riferimento l'asse y=0 (livello stradale) e l'asse x=0 (asse passante per il punto medio della distanza tra le due terne di cavi), le due terne di cavi sono disposte nello spazio rispettando le seguenti coordinate:

- Terna 1: (x = 0 m; y = -1.36 m);

La corrente che attraversa i cavi sarà la corrente di impiego pari a:

- Terna 1: 356.39 A

Le curve di isolivello generate dal cavidotto in oggetto sono riportate di seguito:

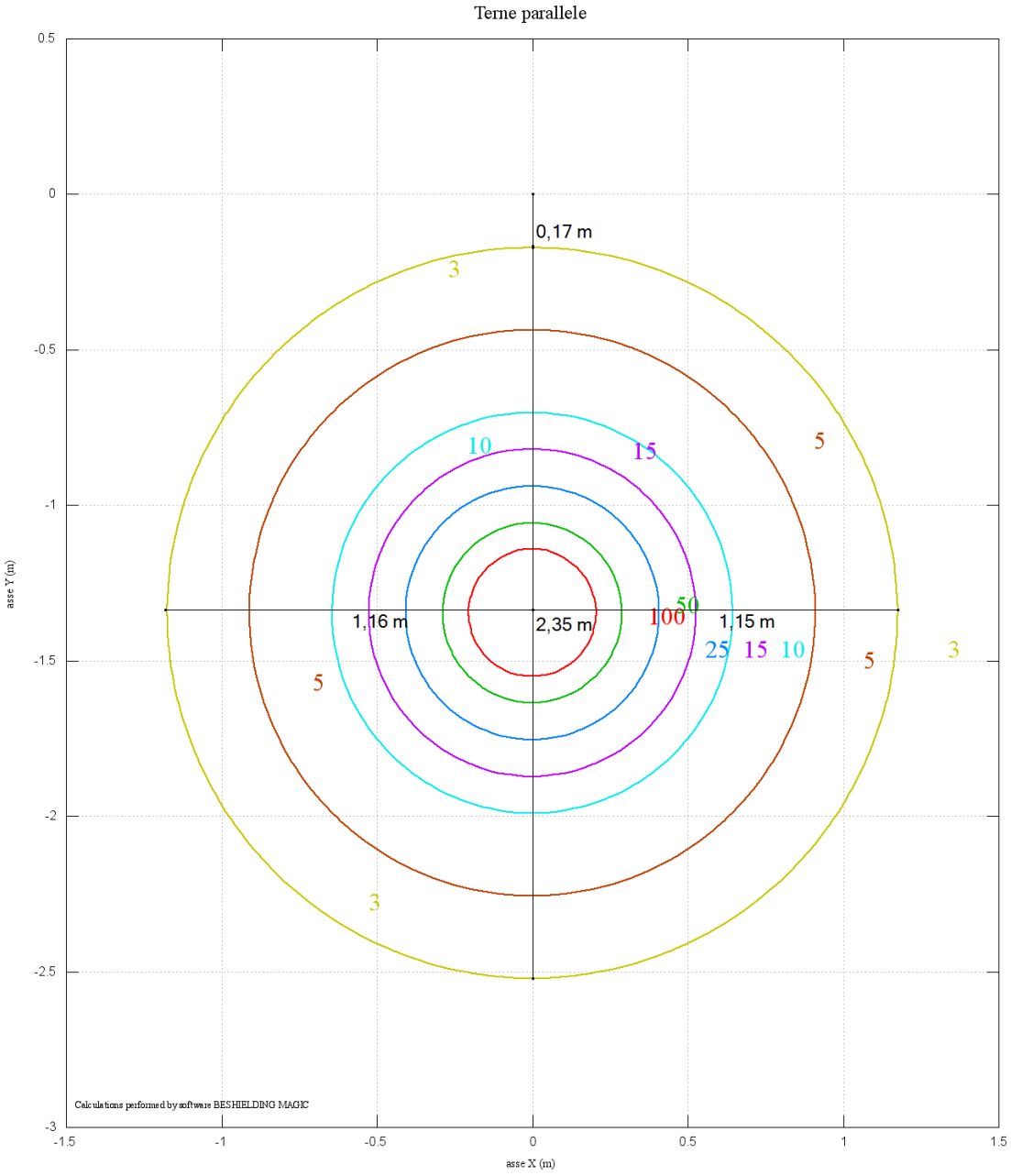


Figura 6: Curve di isolivello – simulazione cavidotto AT dell'impianto BESS.

Le curve di isolivello mostrano che il valore di qualità di 3μT risulta essere, lungo l'asse y, a 1.175m dalla posa del cavo AT. Considerando che i cavi sono posati alla profondità di 1.36 m dal livello del suolo, l'obiettivo di qualità risulta rispettato. Il valore della DPA risulta pari a 1.16 m per il lato sinistro e 1.15 m per il lato destro, misurato a partire dall'asse x=0.

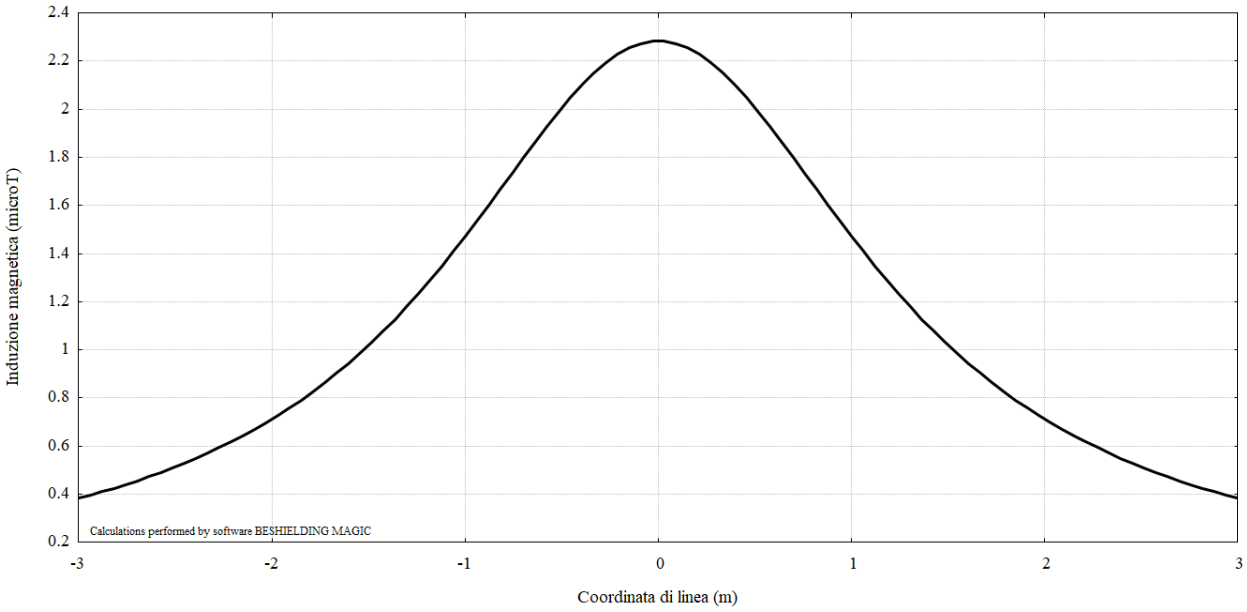


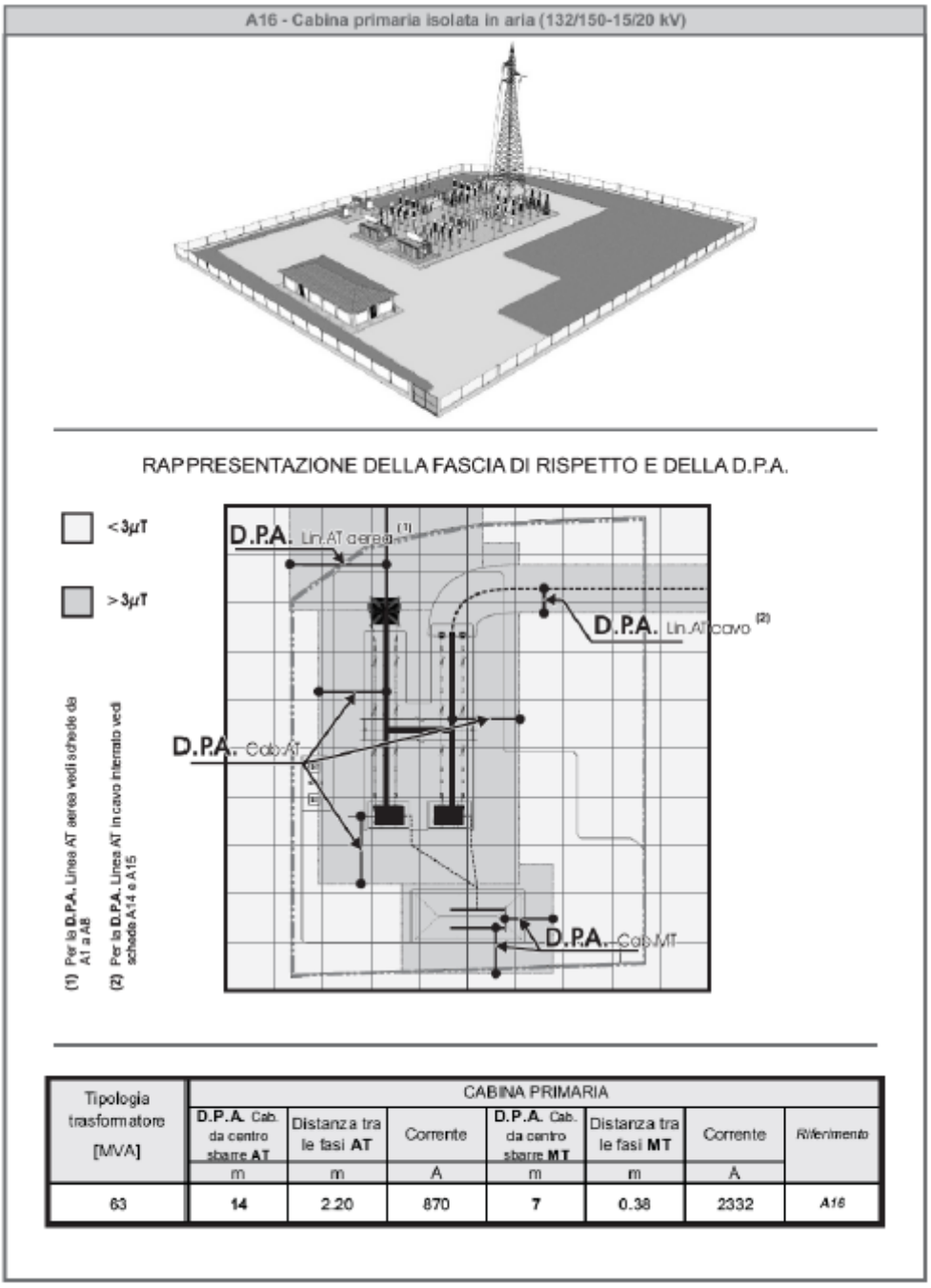
Figura 7: Valori di induzione magnetica sul livello stradale del cavidotto AT dell'impianto BESS.

14. IMPATTO ELETTROMAGNETICO – SSE 36 KV

La Sottostazione Utente di raccolta (SSE) 36 kV di nuova realizzazione, da connettere alla nuova Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN a 380/132/36 kV mediante cavidotto AT 36 kV, è anch'essa oggetto di studio in merito all'impatto elettromagnetico che può generare.

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.



Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre **AT**	Distanza tra le fasi **AT**	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre **MT**	Distanza tra le fasi **MT**	Corrente	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	*A16*

Figura 8: 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. Per maggiori informazioni si consiglia di consultare il documento tecnico seguente: *C24G&GWLI002P029T00_SSE – Pianta prospetti e sezioni edificio*.

15. VERIFICA DELLA PRESENZA DEI RECETTORI DEFINITI DAL DPCM 08/07/2003 ALL'INTERNO DELLA DPA

Mediante un'analisi cartografica su base catastale e su base ortofoto, è stata indagata la presenza di fabbricati compresi all'interno delle DPA, al fine di verificare che questi ultimi non rientrino all'interno delle categorie citate all'interno dell'art.4 comma1 del DPCM 08/07/2003. Per tali fabbricati è stata accertata la loro categoria tramite visure catastali.

Dall'analisi effettuata, non sono state riscontrate interferenze di fabbricati appartenenti alle categorie citate all'interno dell'art.4 comma1 del DPCM 08/07/2003 con le DPA del cavidotto AT.

16. CONCLUSIONI

L'obiettivo di qualità di 3 μT non è stato centrato nei casi analizzati di seguito elencati:

- Percorso di cavidotto AT che condivide le quattro terne, due per la connessione tra le WTGs e la Sottostazione Elettrica Utente di raccolta 36 kV, e due per il collegamento con la SE.

È bene riportare quanto definito dalle norme vigenti in materia: "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 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio." Art. 4 comma 1 D.P.C.M. 08/07/2003. Non ricadendo in nessuno dei casi sopra riportati, l'articolo di riferimento sarà **l'Art. 3 comma 1** D.P.C.M. 08/07/2003 che cita testualmente: "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 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci."

La soglia limite da rispettare per il progetto in esame, pertanto, è pari a 100μT, valore dal quale siamo abbondantemente lontani, considerando che i valori di induzione magnetica sulla quota stradale identificata dall'asse y=0 e riportati nei grafici d*i Figura 4* e *Figura 7* non superano 5 μT.

Il Tecnico
Ing. Leonardo Sblendido