

RIFACIMENTO ELETTRODOTTO A 150 kV

“CAMPAGNA - MONTECORVINO”

CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

RELAZIONE TECNICA

ALLEGATO AL PIANO TECNICO DELLE OPERE – Progetto Definitivo



Storia delle revisioni

Rev. 00	del 18/07/11	Prima emissione
---------	--------------	-----------------

Uso Pubblico

Elaborato		Verificato		Approvato	
G. LUCCI MAN-AOT NA-UPRI-Linee		C. MAIO MAN-AOT NA-UPRI-Linee		A. LIMONE MAN-AOT NA-UPRI-Linee	

Questo documento contiene informazioni di proprietà di TERNA Spa e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di TERNA Spa.

1.	Oggetto	3
2.	Motivazione dell'opera	3
3.	Scopo del documento	4
4.	Richiami normativi	5
5.	Normativa di riferimento	7
6.	Campi Elettrici e magnetici	8
7.	Correnti di calcolo	9
8.	Tratta aerea: Configurazione esaminata e risultati	11
9.	Fasce di rispetto tratta aerea	17
10.	Calcolo della distanza di prima approssimazione (DPA) tratta aerea	18
11.	Tratta in cavo sotterraneo	23
12.	Sezione in corrispondenza della buca giunti	29
13.	Conclusioni	34
14.	Appendice - Mitigazione campi magnetici	35

1. Oggetto

La presente relazione tecnica sintetizza lo studio dell'andamento del campo elettrico e del campo magnetico relativi al progetto previsto per il rifacimento dell'elettrodotto a 150 kV Campagna – Montecorvino.

La linea collega la stazione elettrica di Montecorvino, ubicata nel Comune di Montecorvino (SA), con la C.P. di Campagna, ubicata a nel Comune di Campagna (SA). L'elettrodotto interesserà esclusivamente la regione Campania.

Il tracciato dell'elettrodotto sarà formato da 2 tratti collegati in serie:

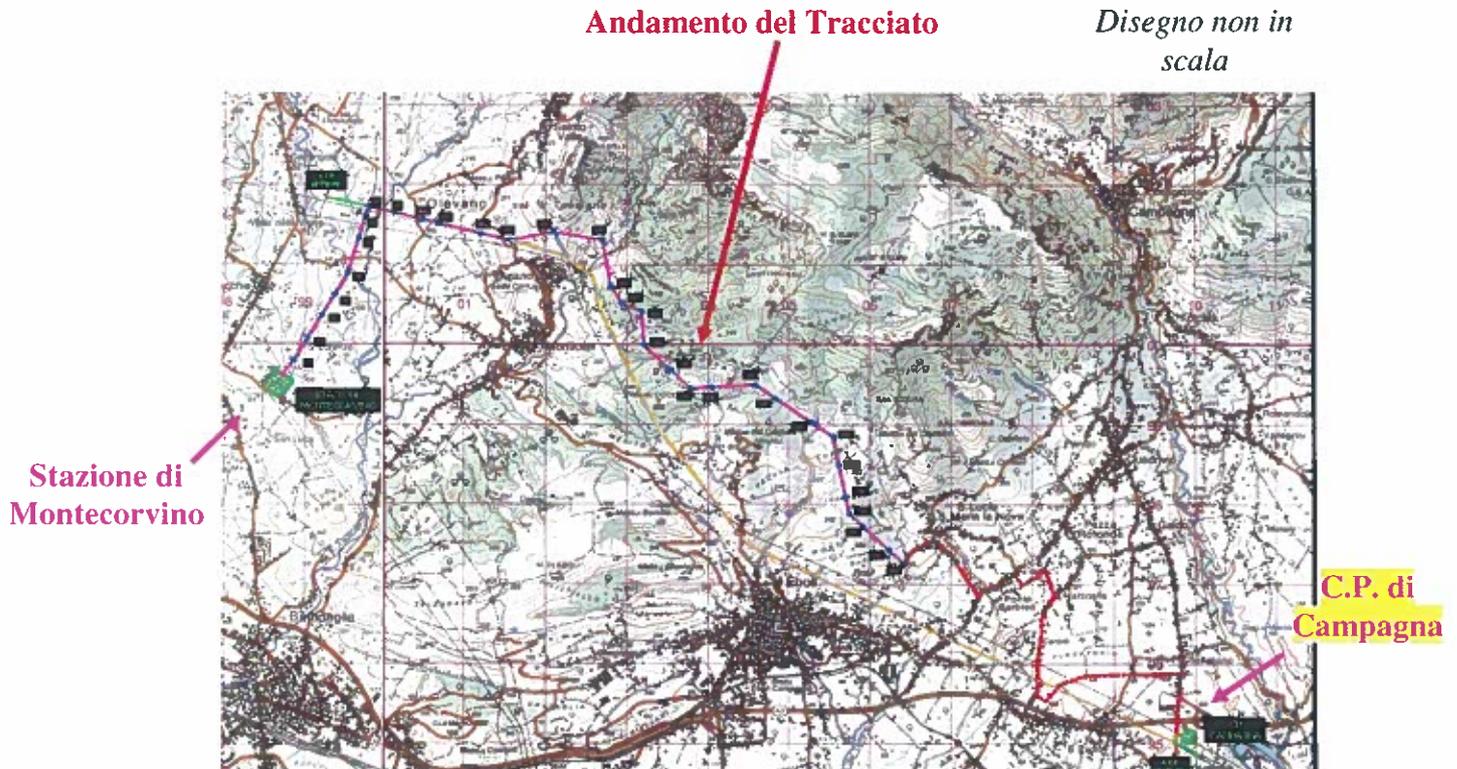
- Tratto aereo per 11,5 km circa
- Tratto in cavo interrato per 6,8 km circa

2. Motivazione dell'opera

L'opera di cui trattasi è inserita nel Piano di Sviluppo della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) elaborato da TERNA S.p.A. ed approvato dal Ministero dello Sviluppo Economico. Le sue motivazioni risiedono principalmente nella necessità di aumentare l'affidabilità della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale e di far fronte alle crescenti richieste di energia connesse all'ampio sviluppo residenziale ed industriale dell'area geografica interessata dall'opera.

Nell'area compresa tra Napoli e Salerno si presenta molto critica la direttrice 150 kV "Fratta – S. Giuseppe – Scafati – Lettere – Montecorvino", interessata da flussi ormai costantemente al limite della capacità di trasporto delle singole tratte. Si verificano delle criticità in termini di affidabilità sicurezza del servizio anche sulle direttrici a 150 kV della Campania meridionale e della Basilicata, in particolare nelle tratte "Montecorvino – Padula" e "Montecorvino – Rotonda".

La progettazione dell'opera oggetto del presente documento è stata sviluppata tenendo in considerazione un sistema di indicatori sociali, ambientali e territoriali, che hanno permesso di valutare gli effetti della pianificazione elettrica nell'ambito territoriale considerato, nel pieno rispetto degli obiettivi della salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente, della protezione della salute umana e dell'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.



3. Scopo del documento

Lo scopo della presente relazione è quello di integrare la documentazione progettuale preliminare (PTO), necessaria per l'espletamento dell'iter autorizzativo ministeriale ai sensi della Legge 239/2004.

E' necessario infatti approfondire lo studio dell'andamento del campo magnetico e del campo elettrico nell'intorno dei tracciati in progetto.

Tale relazione si accompagna inseparabilmente alla documentazione relativa al progetto e in particolare alla Relazione Tecnica "RE23113C1BFX00002", che descrive l'opera nel suo complesso, le scelte tecniche e progettuali che hanno condotto alla scelta dei tracciati illustrati in corografia "DE23113C1BFX00010".

La presente relazione pone in evidenza i valori di emissione dei campi elettrici e magnetici in prossimità dell' elettrodotto ed individua le distanze di prima approssimazione (DPA).

4. Richiami normativi

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

Il 12/07/99 il Consiglio dell'Unione Europea (UE) ha emesso una Raccomandazione agli Stati Membri volta alla creazione di un quadro di protezione della popolazione dai campi elettromagnetici, che si basa sui migliori dati scientifici esistenti; a tale proposito il Consiglio ha avallato proprio le linee guida dell'ICNIRP. Successivamente nel 2001, a seguito di un'ultima analisi condotta sulla letteratura scientifica, un Comitato di esperti della Commissione Europea ha raccomandato alla UE di continuare ad adottare tali linee guida.

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

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

- limite di esposizione il valore di campo elettromagnetico da osservare ai fini della tutela della salute da effetti acuti;
- valore di attenzione, come quel valore del campo elettromagnetico da osservare quale misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine;
- obiettivo di qualità, come criterio localizzativo e standard urbanistico, oltre che come valore di campo elettromagnetico ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione.

Tale legge quadro, emanata nel 2001, comporta la prescrizione e l'osservanza in Italia di misure più restrittive di quelle indicate dagli Organismi internazionali ed adottate da tutti i paesi dell'Unione Europea, che hanno accettato il parere del Consiglio di quest'ultima; infatti, come ricordato dal citato Comitato di esperti della Commissione Europea, le raccomandazioni del Consiglio dell'Unione Europea del 12/07/99 sollecitavano gli Stati membri ad utilizzare le linee guida internazionali stabilite dall'ICNIRP.

In esecuzione della predetta Legge quadro, è stato emanato il D.P.C.M. 08/07/2003 "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.", che ha fissato :

- il limite di esposizione in 100 microtesla (μT) per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico;

- il valore di attenzione di 10 μT , da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore in condizioni normali di esercizio, a titolo di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere;
- il valore di 3 μT , da intendersi come mediana di valori nell'arco delle 24 ore in condizioni normali di esercizio, quale obiettivo di qualità, da osservare nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di ambienti abitativi e scolastici, di aree gioco per l'infanzia, luoghi adibiti a permanenza non inferiore alle quattro ore.

Si segnala come i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità stabiliti dal Legislatore italiano siano rispettivamente 10 e 33 volte più bassi di quelli internazionali.

E' opportuno ricordare che, in relazione ai campi elettromagnetici, la tutela della salute viene attuata – nell'intero territorio nazionale – esclusivamente attraverso il rispetto dei limiti prescritti dal D.P.C.M. 08/07/2003, al quale soltanto può farsi utile riferimento. In tal senso, con sentenza n. 307 del 07/10/2003 la Corte Costituzionale ha dichiarato l'illegittimità di alcune leggi regionali in materia di tutela dai campi elettromagnetici, per violazione dei criteri in tema di ripartizione di competenze fra Stato e Regione stabiliti dal nuovo Titolo V della Costituzione. Come emerge dal testo della sentenza, una volta fissati i valori-soglia di cautela per la salute, a livello nazionale, non è consentito alla legislazione regionale derogarli, neanche in melius.

Successivamente, in esecuzione della Legge 36/2001 e del suddetto il D.P.C.M. 08/07/2003, è stato emanato il D.M. ATTM del 29/05/2008, che ha definito i criteri e la metodologia per la determinazione delle fasce di rispetto, introducendo inoltre il criterio della "distanza di prima approssimazione (DPA)" e delle connesse "aree o corridoi di prima approssimazione".

In particolare si ricorda che con esso sono state date le seguenti definizioni :

- *portata in corrente in servizio normale*: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100%' del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell' invecchiamento
- *portata di corrente in regime permanente*: massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato (secondo CEI 11-17 par. 1.2.05);
- *fascia di rispetto*: è lo spazio circostante un elettrodotto, che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità;
- *distanza di prima approssimazione (DPA)*: per le linee è 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.

Inoltre è stato definito il valore di corrente da utilizzare nel calcolo come la portata in corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata ed in dettaglio:

- per linee aeree con tensione superiore a 100 kV la portata di corrente in servizio normale viene calcolata ai sensi della norma CEI 11-60;
- per le linee in cavo la corrente da utilizzare nel calcolo è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17.

5. Normativa di riferimento

In questo capitolo si riportano i principali riferimenti normativi da prendere in considerazione per la progettazione, la costruzione e l'esercizio dell'intervento oggetto del presente documento.

LEGGI

- Raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 Luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici fino a 300 GHz (n. 1999/519/CE)
- Legge 22 febbraio 2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- DPCM 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";
- DMAATM 29 maggio 2008, "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti";
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" e ss.mm.ii.;
- Legge 28 giugno 1986 n° 339 "Nuove norme per la disciplina della costruzione e dell'esercizio di linee elettriche aeree esterne"
- Decreto Interministeriale 21 marzo 1968 n. 449 "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne";
- Decreto Interministeriale 16 gennaio 1991 n. 1260 "Aggiornamento delle norme tecniche per la disciplina della costruzione e dell'esercizio di linee elettriche aeree esterne";
- Decreto Interministeriale del 05/08/1998 "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, esecuzione ed esercizio delle linee elettriche aeree esterne";

Norme CEI

- CEI 11-17 terza edizione "Linee in Cavo"
- CEI 11-4, "Esecuzione delle linee elettriche esterne", quinta edizione, 1998:09
- CEI 20-21, "Cavi elettrici - Calcolo della portata di corrente" terza edizione, 2007-10
- CEI 211-4, "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche", prima edizione, 1996-07

- CEI 211-6, "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana", prima edizione, 2001-01
- CEI 106-11, "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) - Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo", prima edizione, 2006:02

Norme tecniche TERNA

- Unificazione - "Linee aeree 150 kV semplice terna"
- Unificazione - "Linee in cavo"
- Unificazione - "Conduttori ad elevata capacità di trasporto"

6. Campi Elettrici e magnetici

L'elettrodotto (sia aereo che in cavo) durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico ed un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale alla corrente. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza dalla sorgente (conduttore).

Per il calcolo del campo elettrico e magnetico è stato utilizzato il programma di simulazione "EMF Tools 4.0T" ver. Giugno 2008, mentre per il calcolo della portata del conduttore aereo ad elevata capacità di portata è stato utilizzato il programma di simulazione *CATRALISF*. Entrambi i programmi sono stati sviluppati per Terna dal CESI.

La metodologia di calcolo utilizzata per i calcoli dei campi elettromagnetici, è basata sull'algoritmo bidimensionale normalizzato nella CEI 211-4, considerato idoneo per la maggior parte delle situazioni pratiche riscontrabili per le linee aeree e in cavo. In particolare il campo di induzione magnetica viene simulato utilizzando un algoritmo numerico basato sulla legge di Biot - Savart, mentre il campo elettrico viene simulato a mezzo di calcoli basati sul metodo delle cariche immagini. Alla frequenza di rete (50 Hz), il regime elettrico è di tipo quasi stazionario, e ciò permette la trattazione separata degli effetti delle componenti del campo elettrico e del campo magnetico. Questi ultimi in un punto qualsiasi dello spazio in prossimità di un elettrodotto trifase sono le somme vettoriali dei campi originati da ciascuna delle tre fasi e sfasati fra loro di 120°. In particolare, nel caso di un cavo interrato, il terreno di ricopertura ha un effetto schermante che annulla completamente il campo elettrico a livello del suolo, come si può facilmente riscontrare dai risultati delle simulazioni, vedi fig. 16.

I valori restituiti sono illustrati mediante due diverse modalità:

- **I profili laterali** visualizzano le curve del campo elettrico e dell'induzione magnetica calcolati dal programma per la configurazione degli elettrodotti in esame su un piano parallelo al piano di campagna (suolo). I valori delle ascisse, sono espressi in metri ed indicano la distanza dal punto di origine del sistema cartesiano di riferimento, mentre l'ordinata è espressa in μT o kV/m e rappresenta il valore del campo calcolato relativamente a punti situati all'altezza del piano considerato rispetto al piano di campagna.

- **Le mappe verticali** rappresentano, mediante la visualizzazione di aree colorate, l'andamento dei campi calcolati nella sezione verticale perpendicolare all'asse dell'elettrodotto; i valori espressi in metri sull'ascissa indicano la distanza rispetto al punto di origine del sistema cartesiano di riferimento, l'ordinata rappresenta invece, sempre in metri, l'altezza da terra.

Gli andamenti del campo elettrico e dell'induzione magnetica sono riportati secondo le modalità testé illustrate nelle figure seguenti.

Nel caso in esame, il tronco in variante presenta due tratti: uno aereo e l'altro in cavo interrato.

Per ciascuno di essi vengono riportati separatamente i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare la fascia di rispetto in una sezione tipo e le distanze di prima approssimazione che verranno applicate lungo tutto il nuovo tracciato.

7. Correnti di calcolo

La portata in regime permanente del conduttore aereo o del cavo interrato prescelto, varia in relazione alle particolari condizioni di posa, individuabili dettagliatamente solo nel corso della progettazione esecutiva; essa viene determinata, secondo le indicazioni della CEI 20-21 per il cavo e della Prescrizione Tecnica TERNA "UX LC 107" per il tratto aereo.

La portata della tratta aerea in servizio normale è determinata in conformità alla prescrizione tecnica TERNA "UX LC 107" in quanto, per la tratta aerea viene utilizzato un conduttore "ad elevata capacità di trasporto", la cui sezione è di $22,75 \text{ mm}^2$, come indicato nella Relazione Tecnica illustrativa "RE23113C1BFX00002".

Le portate a regime alla temperatura di funzionamento sono state calcolate mediante il programma *CATRALISF*, realizzato dal C.E.S.I., basato sul modello di calcolo di Shurig e Frick.

Per ogni conduttore vengono riportate le curve relative al periodo freddo e al periodo caldo, convenzionalmente caratterizzati dai parametri ambientali indicati in tabella a0.:

	Periodo Freddo	Periodo Caldo
Temperatura ambiente (°C)	10	30
Velocità del vento (m/s)	0,6 (~2 km/h)	
Irraggiamento solare (W/m ²)	1000	
Pressione atmosferica (atm)	1	

Tabella a0 – Condizioni al contorno per il calcolo portata conduttore ad alta capacità di trasporto

Le curve di Fig. 2 sono state calcolate fino alla temperatura massima ammessa per l'esercizio continuativo, che vale 180°C.

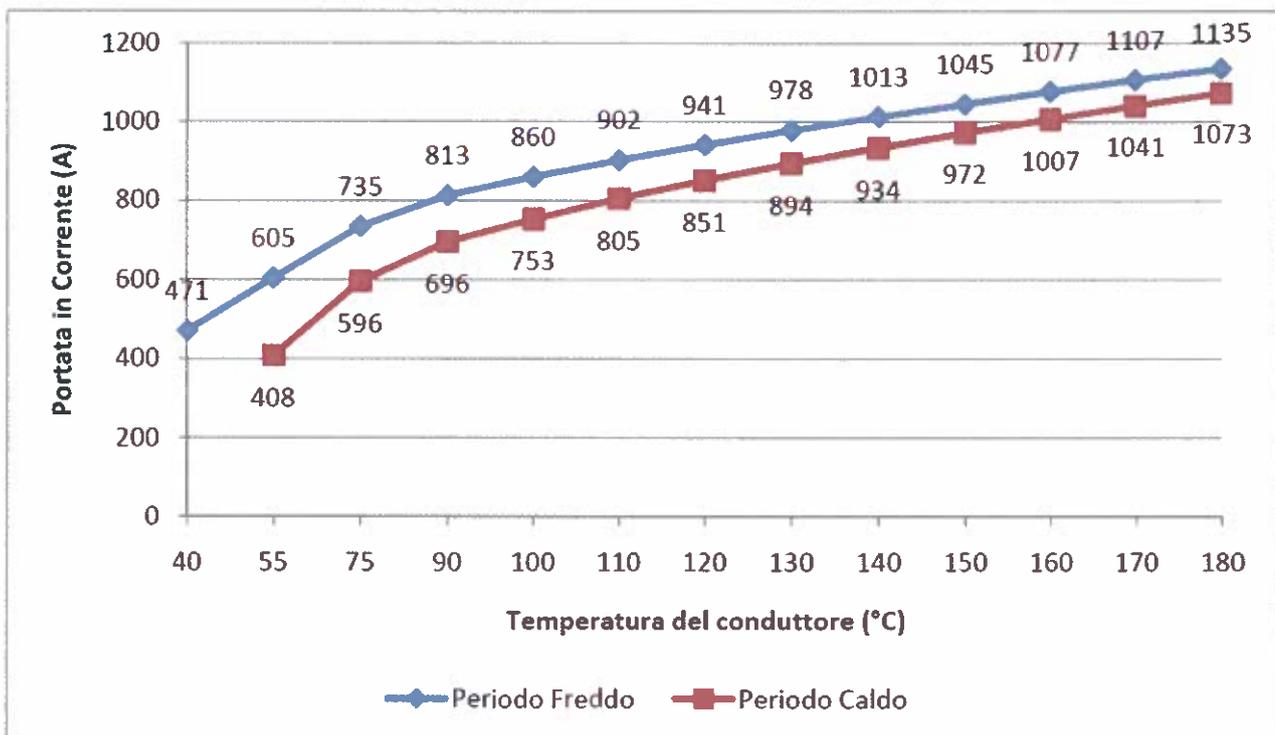


Figura 2 - Variazione della portata in corrente (A) in funzione della temperatura del conduttore (°C) parametrizzata rispetto al periodo climatico: Caldo – Freddo

Nel caso in esame la portata in corrente assunta nelle simulazioni è pari a 1000 A:

Questo valore, tenuto conto del collegamento in serie alla tratta in cavo interrato, viene assunto come valore della portata in regime permanente coincidente con la portata in servizio normale anche per la tratta aerea.

Il fornitore del cavo, fornisce il valore di circa 1000 A per un cavo in alluminio/rame, ipotizzando le seguenti condizioni:

- *terna di cavi posati a trifoglio in piano, temperatura del conduttore non superiore a 90°, profondità di posa 1,50 m, temperatura del terreno 20°C, resistività termica del terreno 1°Cxm/W.*

Risulta evidente come tale valore sia puramente indicativo non essendo costanti le condizioni di posa lungo un tracciato lungo migliaia di metri; per tale motivo risulta chiara l'affermazione precedente che il valore della portata è determinabile con adeguato grado di approssimazione in fase esecutiva.

Volendo comunque procedere alla valutazione dei campi elettrici e magnetici *in via preliminare e cautelativa* si adotta tale valore, trascurando i fattori di de-rating del cavo.

8. Tratta aerea: Configurazione esaminata e risultati

Per il calcolo delle intensità del campo elettrico e del campo magnetico della tratta aerea si è considerata un'altezza dei conduttori dal suolo pari a 7,00 m, corrispondente cioè all'approssimazione per eccesso del valore indicato dal D.M. 1991 per le linee aeree. *Tale ipotesi è conservativa, in quanto la loro altezza è, per scelta progettuale, sempre maggiore di tale valore.* La fig. 3 riporta schematicamente la sezione tipica di posa della tratta aerea come simulata dal programma "EMF Tools"; la disposizione è in piano secondo un traliccio di tipo a "pino" ed il valore assoluto di corrente è 1000 A; i conduttori sono disposti secondo lo schema riportato nel disegno schematico riportato nella figura seguente; ciascuna fase elettrica presenta un conduttore in corda in lega di alluminio (ZTAL) - lega di Fe-Ni rivestita di Alluminio la cui sezione complessiva è di 306,94 mmq, composta da n. 30 fili di ZTAL - acciaio del diametro di 3,25 mm con n. 7 fili di alluminio tipo ACI di diametro di 3,50 mm, con un diametro complessivo di 22,75 mm; la fune di guardia sarà in allumowed con fibre ottiche, del diametro di 11,5 mm "UX LC 25". Di fatto le simulazioni sull'andamento dei campi elettrici e magnetici sono state condotte con valori di tensione pari a 150 kV e per portata in corrente in servizio normale con valore pari a 1000 A efficace per fase, in regime stazionario simmetrico ed equilibrato a frequenza di 50 Hz.

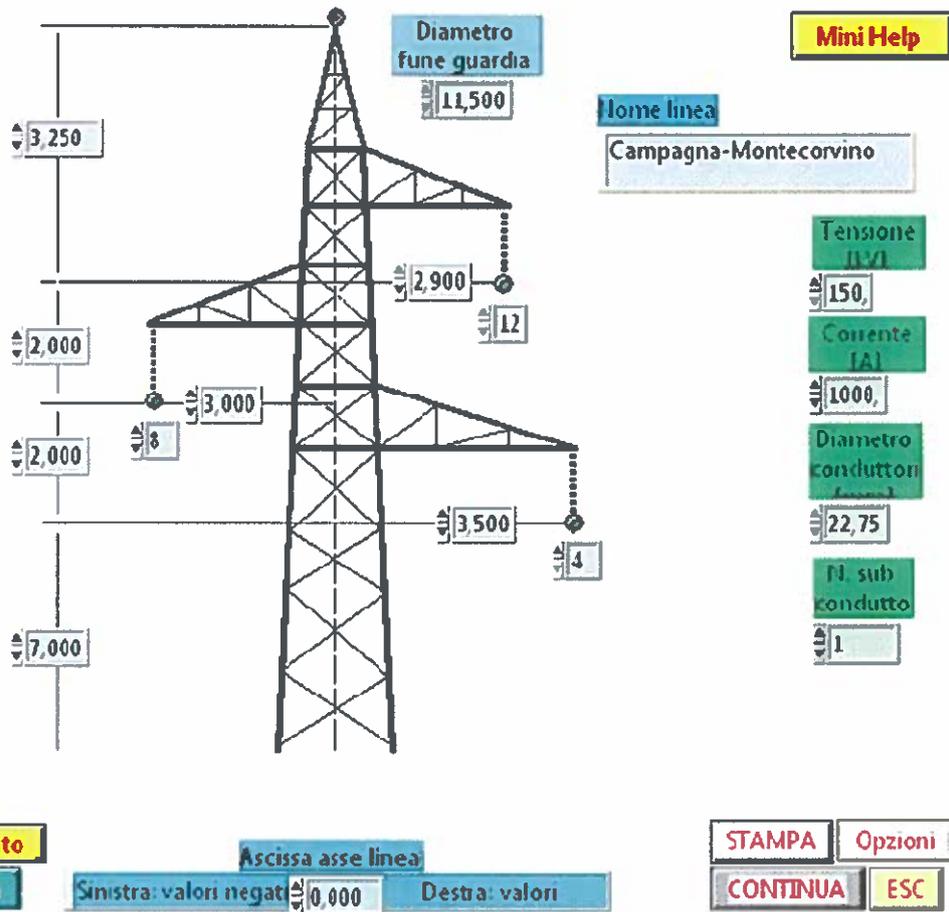


FIGURA 3 – Disposizione attacco dei conduttori al sostegno

Nella figure seguenti sono riportate le rappresentazioni relative al calcolo del campo elettrico e del campo magnetico generato dalla linea 150 kV semplice terna presa in considerazione:

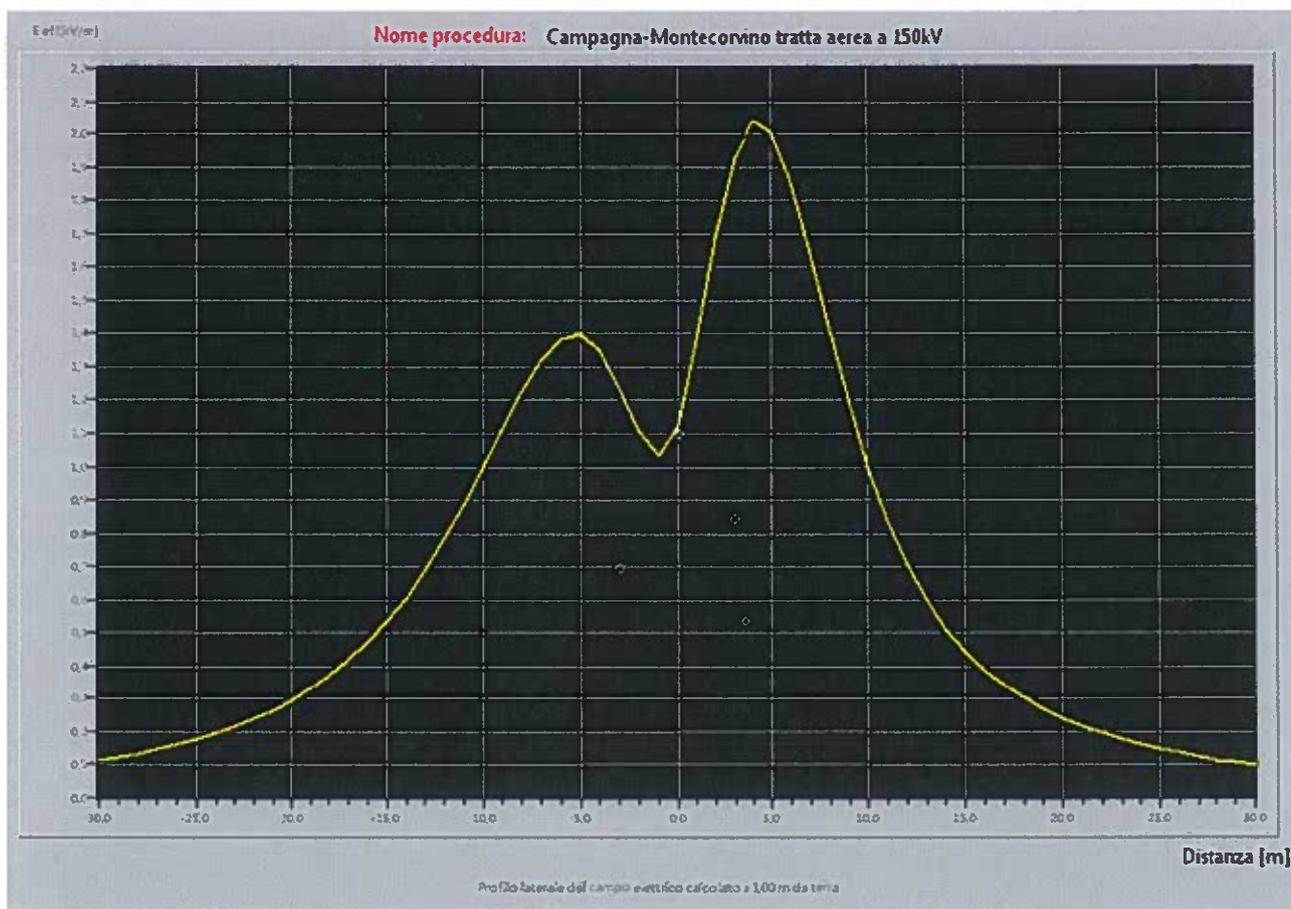


FIGURA 4 – Profilo laterale campo Elettrico (E) per i punti situati ad 1m dal piano di campagna
kV I=1000 A

V=150

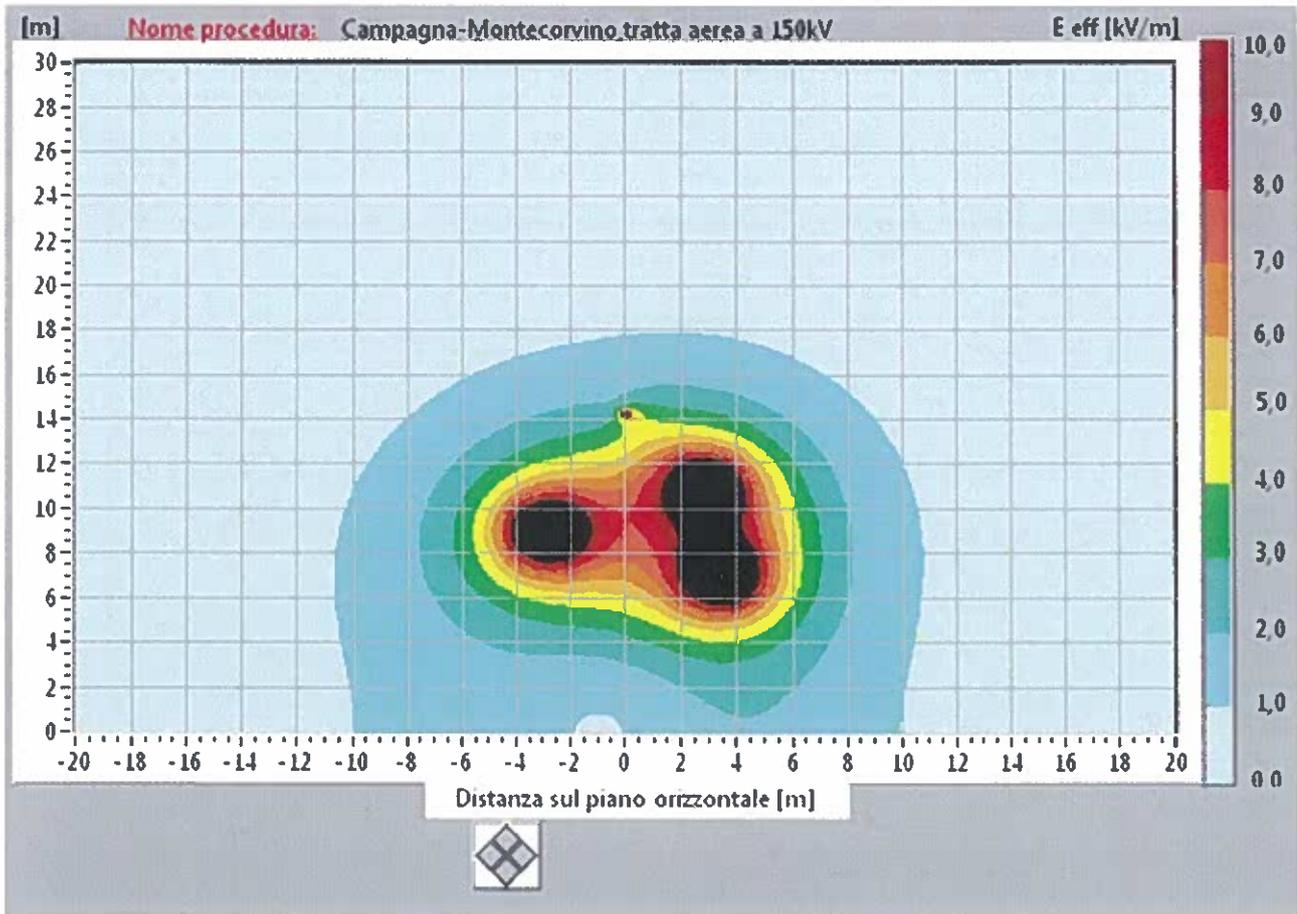


FIGURA 5 – Mappa verticale del campo elettrico (E) V=150 kV I=1000 A

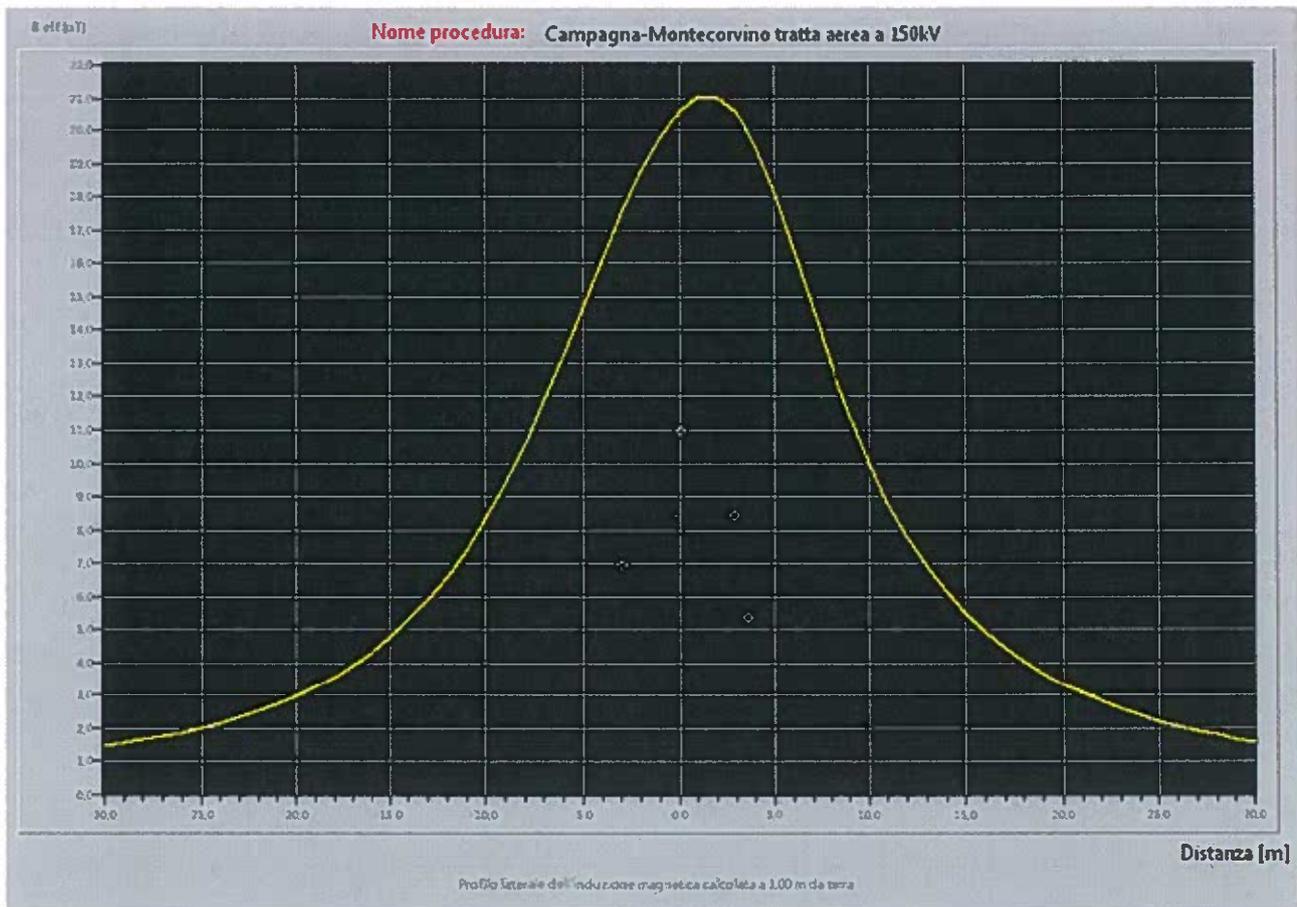


FIGURA 6 – Profilo laterale campo di induzione magnetica (B) per i punti situati ad 1 m dal piano di campagna V =150 kV I=1000 A

Si può osservare quanto segue:

- 1) i valori di campo elettrico sono sempre inferiori al limite di 5 kV/m imposto dalla normativa.
- 2) Il valore massimo di induzione magnetica vale 21,05 μT riscontrabile sulla verticale dell'asse, minore del limite di esposizione, pari a 100 μT .

I risultati numerici della simulazione per il caso specifico illustrato, sono illustrati in tab a1.

TRATTA AEREA

Tab. a1: Profilo laterale del campo elettrico e del campo magnetico per i punti situati ad m 1 dal piano di campagna

Distanza [m]	E orizz.le [kV/m]	E verticale [kV/m]	E risultante [kV/m]	B orizz.le [μ T]	B verticale [μ T]	B risultante [μ T]
-19,000	0,038	0,327	0,329	2,419	2,170	3,249
-18,000	0,044	0,367	0,370	2,720	2,292	3,557
-17,000	0,051	0,414	0,417	3,073	2,413	3,907
-16,000	0,059	0,467	0,471	3,486	2,527	4,306
-15,000	0,068	0,530	0,534	3,972	2,629	4,764
-14,000	0,077	0,601	0,606	4,542	2,710	5,289
-13,000	0,088	0,683	0,688	5,208	2,757	5,892
-12,000	0,098	0,775	0,781	5,980	2,763	6,587
-11,000	0,108	0,878	0,884	6,863	2,730	7,386
-10,000	0,114	0,989	0,996	7,852	2,696	8,302
-9,000	0,115	1,105	1,111	8,916	2,790	9,343
-8,000	0,107	1,217	1,222	9,994	3,263	10,513
-7,000	0,089	1,314	1,317	10,971	4,359	11,805
-6,000	0,071	1,379	1,381	11,674	6,155	13,197
-5,000	0,093	1,392	1,395	11,877	8,573	14,648
-4,000	0,166	1,337	1,347	11,346	11,421	16,099
-3,000	0,262	1,210	1,238	9,924	14,395	17,484
-2,000	0,358	1,043	1,103	7,690	17,082	18,733
-1,000	0,437	0,933	1,030	5,417	19,028	19,784
0,000	0,477	1,017	1,123	5,568	19,805	20,573
1,000	0,463	1,298	1,379	8,772	19,108	21,025
2,000	0,388	1,638	1,684	12,568	16,886	21,050
3,000	0,264	1,908	1,927	15,496	13,524	20,568
4,000	0,151	2,033	2,039	16,856	9,936	19,567
5,000	0,155	1,999	2,005	16,579	7,354	18,137
6,000	0,217	1,843	1,856	15,113	6,487	16,446
7,000	0,250	1,622	1,641	13,091	6,641	14,679
8,000	0,248	1,387	1,409	11,021	6,848	12,975
9,000	0,225	1,167	1,189	9,179	6,788	11,416
10,000	0,193	0,977	0,996	7,656	6,487	10,034
11,000	0,160	0,820	0,835	6,439	6,045	8,832
12,000	0,131	0,692	0,704	5,478	5,548	7,797
13,000	0,106	0,589	0,598	4,715	5,050	6,909
14,000	0,086	0,505	0,513	4,103	4,578	6,147
15,000	0,070	0,438	0,443	3,603	4,147	5,494
16,000	0,058	0,382	0,386	3,189	3,760	4,931
17,000	0,048	0,336	0,340	2,843	3,416	4,444
18,000	0,040	0,298	0,300	2,548	3,112	4,022
19,000	0,033	0,265	0,267	2,295	2,843	3,654
20,000	0,028	0,238	0,239	2,077	2,605	3,332

9. Fasce di rispetto tratta aerea

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

Nel presente paragrafo viene riportato il risultato delle elaborazioni eseguite per la determinazione della fascia di rispetto in una sezione tipica che è quella rappresentata nella fig.7 con la disposizione dei conduttori secondo un traliccio di tipo a "pino".

Si ribadisce che per il calcolo delle intensità del campo magnetico della tratta aerea si è considerata una distanza verticale minima progettuale tra i conduttori ed il suolo pari a 7,00 m, corrispondente cioè all'approssimazione per eccesso del valore indicato dal D.M. 1991 per le linee aeree; tenuto conto che la configurazione della fascia non dipende da tale altezza ma dal valore di corrente e dalla configurazione della terna, tale ipotesi è cautelativa; pertanto la fascia si collocherà a quote non inferiori a quelle riportate nella fig.7 per cui fabbricati e aree destinate alla permanenza delle persone di durata superiore alle quattro ore si troveranno a distanza non minore di quella con i punti della sezione della fascia riportata nella citata figura.

Pertanto, in conformità alle indicazioni del richiamato DMATTM, utilizzando le metodologie dello stesso con l'ausilio del programma "EMF Vers 4.0", sviluppato per TERNA da CESI, è stato ricavata il diagramma di fig.7 che riporta i punti della fascia nella sezione tipica esaminata, tutti collocati all'interno della linea chiusa che divide le zone colorate in verde e in celeste.

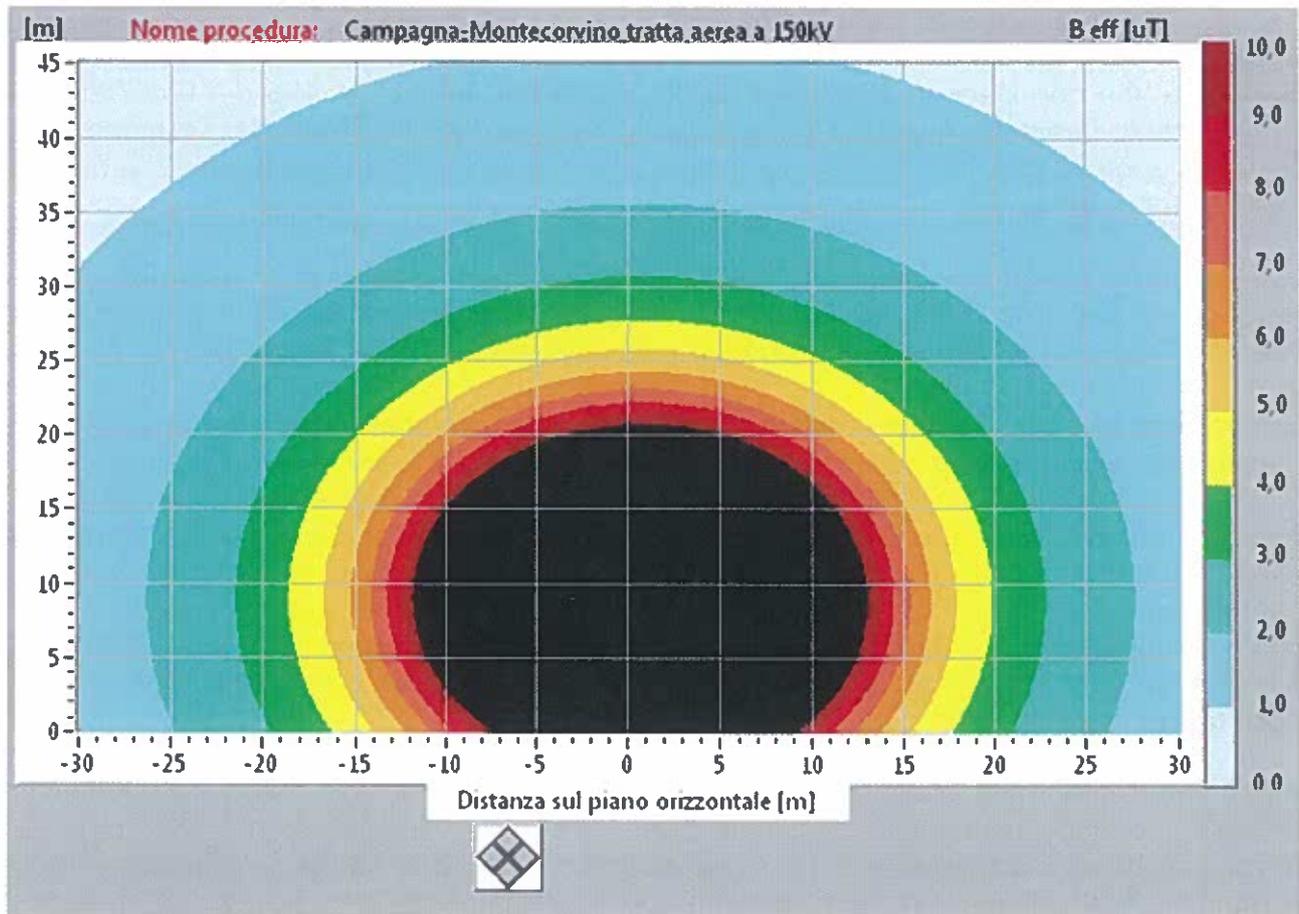


FIGURA 7 – Mapa verticale Induzione Magnetica (B) V=150 kV I=1000 A – Art. 6 DPCM 8 Luglio 2003

10. Calcolo della distanza di prima approssimazione (DPA) tratta aerea

Si ricorda che, al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, il Decreto .M.ATTM. 29 maggio 2009 prevede che il gestore debba calcolare la distanza di prima approssimazione, definita come *“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”*.

Ipotizzando l'assenza di parallelismi, derivazioni, cambi di direzione e incroci con altre tra linee elettriche e seguendo le indicazioni del § 5.1.3 del suddetto decreto (in particolare si è combinato la configurazione dei conduttori, geometria e di fase, e la portata in corrente in servizio normale illustrate nella più volte richiamata fig.3 si è utilizzato il modello bidimensionale semplificato previsto dalla norma CEI 106-11. L'elaborazione ha prodotto il diagramma di fig.8 che non corrisponde a nessuna campata reale della tratta aerea, risultando solo rappresentativa ma comunque cautelativa, per i motivi descritti nei paragrafi precedenti; nella stessa figura è rappresentata la proiezione verticale al suolo della fascia e la determinazione della distanza di prima approssimazione (DPA).

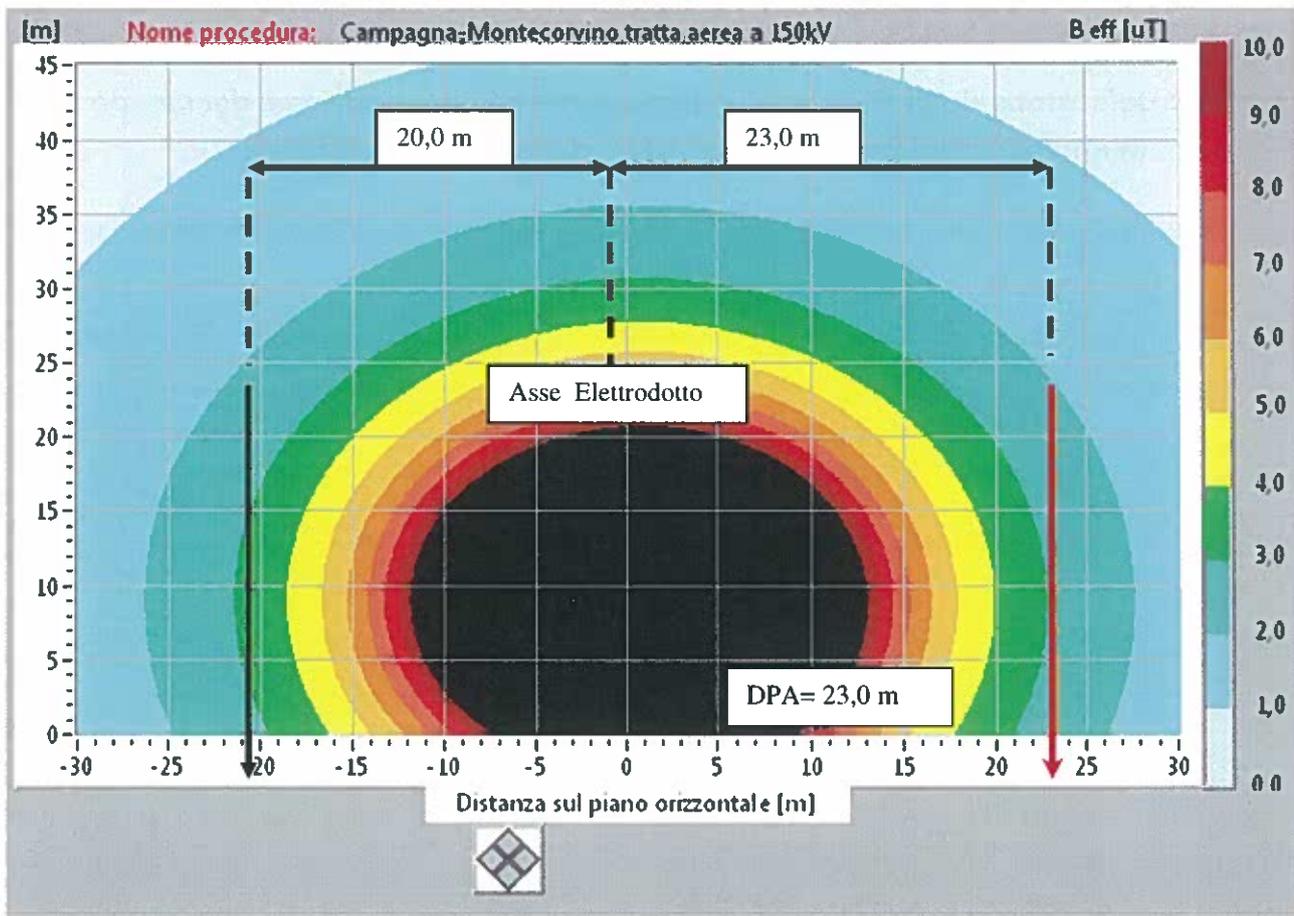


FIGURA 8 – Mapa verticale Induzione Magnetica (B) con DPA - V=150 kV I=1000 A - (Distanza di prima approssimazione) – DMATTM 29 Maggio 2009

Si può osservare che:

I valori di Distanza di prima approssimazione (DPA) ottenuti sono pari a 23 m rispetto all'asse dell'elettrodotto aereo.

I valori numerici dei campi elettrici magnetici sono indicati nella tabella a2, dove risulta evidenziato il valore, della distanza espressa in m, che determina la DPA.

TRATTA AEREA

Tab. a2: Definizione della DPA, profilo laterale del campo elettrico e del campo magnetico per i punti situati a 10 m dal piano di campagna.

Distanza [m]	E orizz.le [kV/m]	E verticale [kV/m]	E risultante [kV/m]	B orizz.le [μT]	B verticale [μT]	B risultante [μT]
-20,000	0,223	0,117	0,252	1,302	3,192	3,448
-19,000	0,254	0,121	0,281	1,427	3,543	3,820
-18,000	0,290	0,125	0,316	1,572	3,955	4,256
-17,000	0,332	0,129	0,356	1,742	4,444	4,773
-16,000	0,382	0,131	0,404	1,943	5,029	5,392
-15,000	0,442	0,133	0,462	2,185	5,740	6,141
-14,000	0,515	0,134	0,532	2,480	6,612	7,062
-13,000	0,604	0,134	0,618	2,848	7,702	8,211
-12,000	0,714	0,136	0,727	3,320	9,087	9,674
-11,000	0,855	0,145	0,867	3,948	10,886	11,579
-10,000	1,037	0,173	1,052	4,822	13,283	14,131
0,000	7,240	2,994	7,835	45,929	110,129	119,323
10,000	0,812	0,804	1,142	13,781	11,368	17,865
11,000	0,680	0,601	0,907	10,767	9,512	14,366
12,000	0,575	0,461	0,738	8,614	8,074	11,807
13,000	0,490	0,364	0,611	7,033	6,937	9,879
14,000	0,421	0,296	0,514	5,842	6,022	8,390
15,000	0,363	0,247	0,439	4,924	5,274	7,216
16,000	0,314	0,210	0,378	4,204	4,657	6,273
17,000	0,274	0,183	0,329	3,629	4,140	5,506
18,000	0,239	0,163	0,289	3,163	3,705	4,871
19,000	0,210	0,147	0,256	2,780	3,334	4,341
20,000	0,185	0,134	0,228	2,463	3,016	3,894
21,000	0,164	0,123	0,205	2,196	2,741	3,512
22,000	0,145	0,114	0,184	1,970	2,502	3,185
23,000	0,129	0,106	0,167	1,777	2,293	2,901
24,000	0,115	0,099	0,152	1,611	2,109	2,654
25,000	0,103	0,092	0,139	1,467	1,946	2,437
26,000	0,093	0,087	0,127	1,342	1,801	2,246
27,000	0,084	0,081	0,117	1,232	1,672	2,077
28,000	0,075	0,077	0,108	1,134	1,556	1,926
29,000	0,068	0,072	0,100	1,048	1,452	1,791
30,000	0,062	0,068	0,092	0,971	1,358	1,669

In corrispondenza di incroci e parallelismi con altri elettrodotti, le aree di prima approssimazione sono state calcolate applicando i procedimenti semplificati riportati nella metodologia di calcolo di cui al. § 5.1.4 dell'allegato al Decreto 29 Maggio 2008.:

LINEE A SINGOLA TERNA A 132/150 kV

Area di prima approssimazione per linee ad AT con cambi di direzione

Ministero Ambiente: Decreto 29 Maggio 2008

Angolo [°]		DPA [m]
da	a	
5	14,2	25
14,3	28,4	26
28,5	35,6	27
35,7	42,8	28
42,9	50	29
50,1	57	30
57,1	64,2	31
64,3	71,4	32
71,5	78,4	33
78,5	85,6	34
85,7	92,8	35
92,9	99,8	36
99,9	107	37
107,1	114,2	38
114,3	121,4	39
121,5	128,4	40
128,5	135,6	41
135,7	142,8	42
142,9	149,8	43
149,9	157	44
157,1	164,2	45

Utilizzo della Tabella:

Per ogni variazione di direzione dell'asse dell'elettrodotto, la DPA a ridosso di ogni singolo sostegno assume un'ampiezza pari a quella indicata in tabella. Per angoli inferiori a 5°, la DPA all'altezza del sostegno rimane invariata.

La rappresentazione di tali distanze (Dpa) e l'area di prima approssimazione sono riportate nell'elaborato "Planimetria con Dpa" in scala 1: 2 000 n° DE23113C1BFX00013 rev. 00.

Come si può osservare dalla stessa, all'interno dell'area di prima approssimazione non ricadono edifici esistenti o luoghi esistenti destinati a permanenza non inferiore alle 4 ore.

Pertanto, risultando inoltre idoneo il modello bidimensionale adottato, non risulta necessario effettuare il calcolo del campo magnetico e determinare la fascia in sezioni particolari, come illustrato nello schema di cui alla fig 1 del § 5.1.3 del Decreto 29 Maggio 2008.

Si conferma che il tracciato della nuova tratta aerea è stato studiato in modo che il valore di induzione magnetica, in corrispondenza dei punti sensibili attualmente esistenti (abitazioni, aree in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) sia sempre inferiore a 3 μ T, in ottemperanza alla normativa vigente.

In conclusione si evidenzia che lungo il tracciato della nuova tratta aerea, nell'attuale assetto del territorio preso a base del progetto, i collegamenti elettrici progettati sono ampiamente conformi alla normativa vigente in materia di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

11. Tratta in cavo sotterraneo

Configurazioni esaminate e risultati

Le simulazioni sull'andamento dei campi elettrici e magnetici sono state condotte con valori di tensione pari a 150 kV e per valori di corrente pari a 1000 A efficaci per fase, in regime stazionario simmetrico ed equilibrato a frequenza di 50 Hz.

Il cavo ha sezione di 1000 mmq, isolamento in polietene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, guaina in alluminio saldata e rivestimento in polietilene, con un diametro esterno di 106,4 mm, posato in configurazione di terna a trifoglio con cavi a contatto, con schermi collegati con il sistema "cross bonding", temperatura del conduttore non superiore a 90°, profondità di posa 1,50 m, temperatura del terreno 20°C, resistività termica del terreno 1°Cxm/W; per quest'ultimo aspetto si rinvia all'apposito § di questa relazione dedicato alle correnti di calcolo

Vista la lunghezza di circa 6.800 metri della nuova tratta, e con riferimento alla relazione tecnica "RE23113C1BFX00002" presente nel Piano tecnico delle opere relativo all'infrastruttura indicata, saranno collocate circa 11 buche giunti per collegare le pezzature di cavo. I giunti unipolari saranno posizionati lungo il percorso del cavo, a circa 550 m l'uno dall'altro, ed ubicati all'interno di opportune buche giunti che avranno una configurazione come descritto nell'elaborato "EE23113C1BFX00003" schema tipici componenti.

Ciò permette la trasposizione incrociata delle guaine metalliche e l'esecuzione di un cross-bonding completo, che consente di annullare le correnti di circolazione negli schermi dei cavi dovute all'induzione elettromagnetica.

Il posizionamento di dettaglio dei giunti sarà determinato in sede di progetto esecutivo in funzione delle interferenze sotto il piano di campagna e della possibilità di trasporto delle bobine, delle condizioni di viabilità, ecc, ecc.

L'intero tracciato del cavo presenterà pertanto solo due sezioni tipiche: le fig. 9 e 10 riportano schematicamente le sezione tipica di posa come simulate dal programma "EMF Tools" per il valore assoluto di corrente di 1000 A e la profondità di posa di 1,5 m: la fig. 9 per la terna interrata con disposizione a trifoglio e cavi a contatto, la fig. 10 per la terna interrata con disposizione in piano, cavi distanziati a 0,7 m.

Mini Help

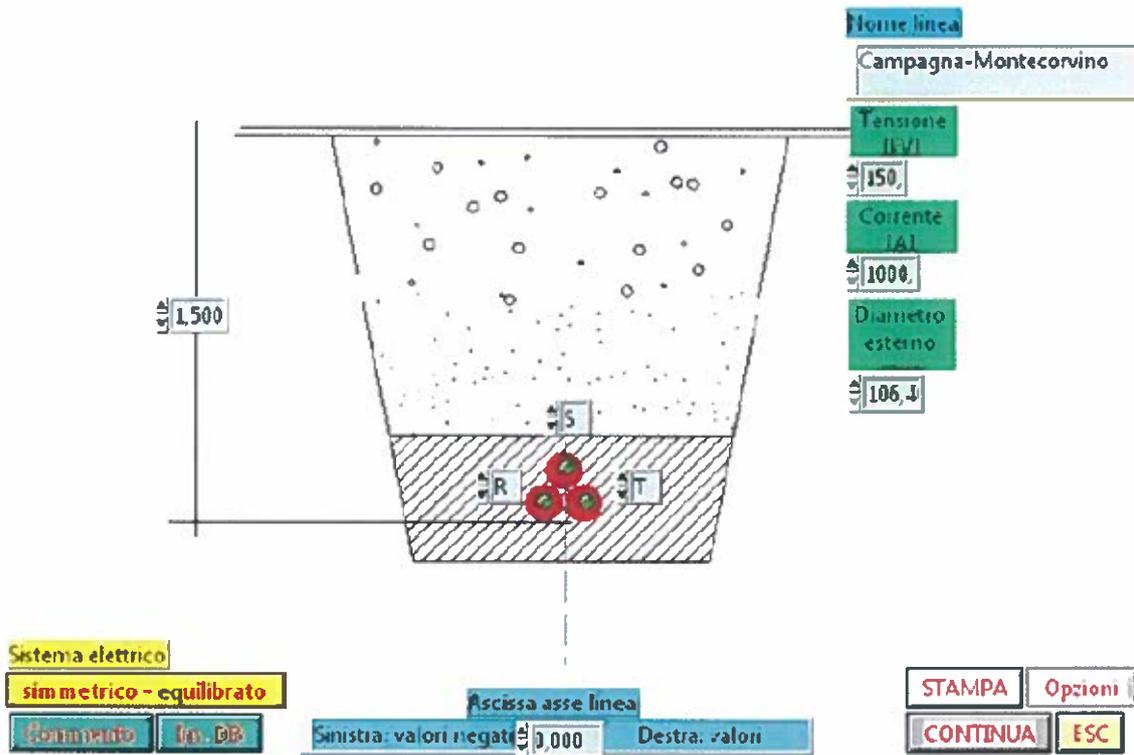


FIGURA 9 – Sezione tipica della posa disposizione a trifoglio

Mini Help

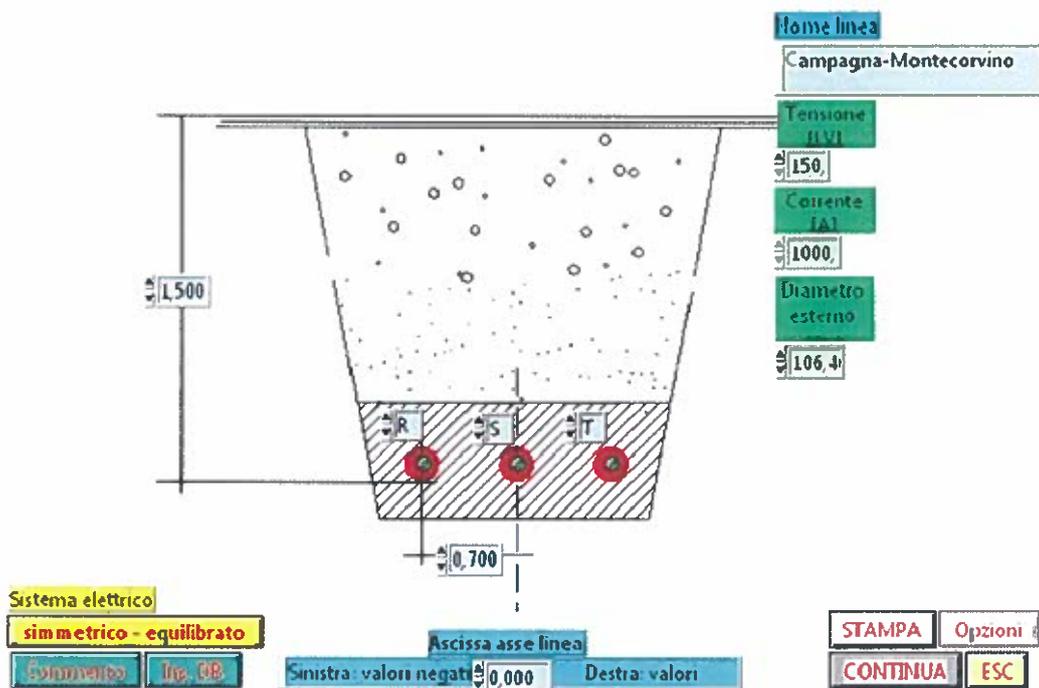


FIGURA 10 – Sezione tipica della posa disposizione in piano

Nelle figure seguenti sono riportate le rappresentazioni relative al calcolo del campo elettrico (E) e del campo magnetico (B) generato dalla linea 150 kV presa in considerazione:

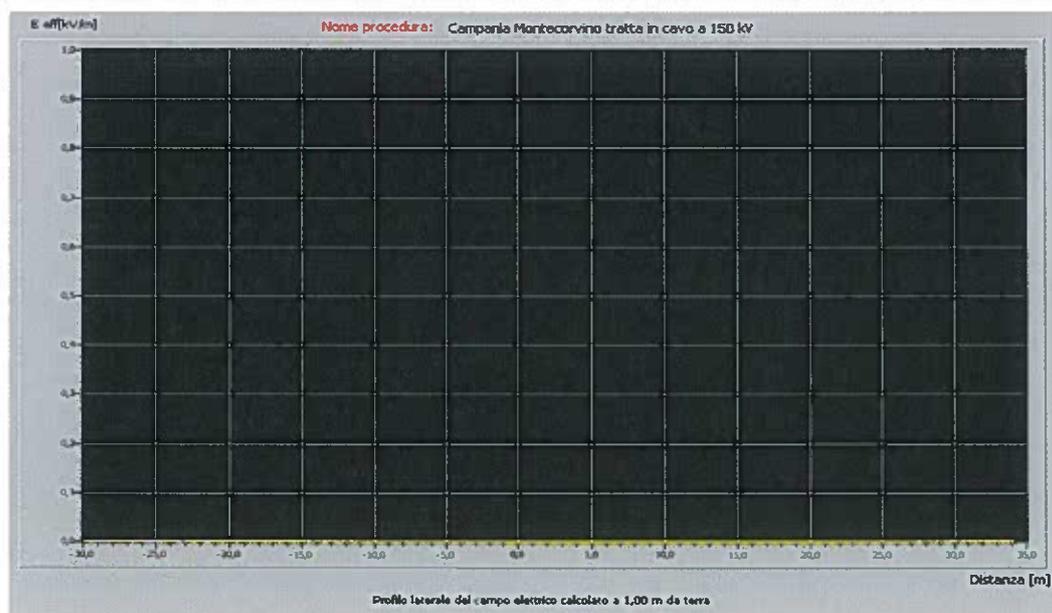


FIGURA 11 – Profilo Laterale CAMPO ELETTRICO (piatto a valore zero) per i punti situati a m 1 dal piano di campagna $V=150$ kV $I=1000$ A

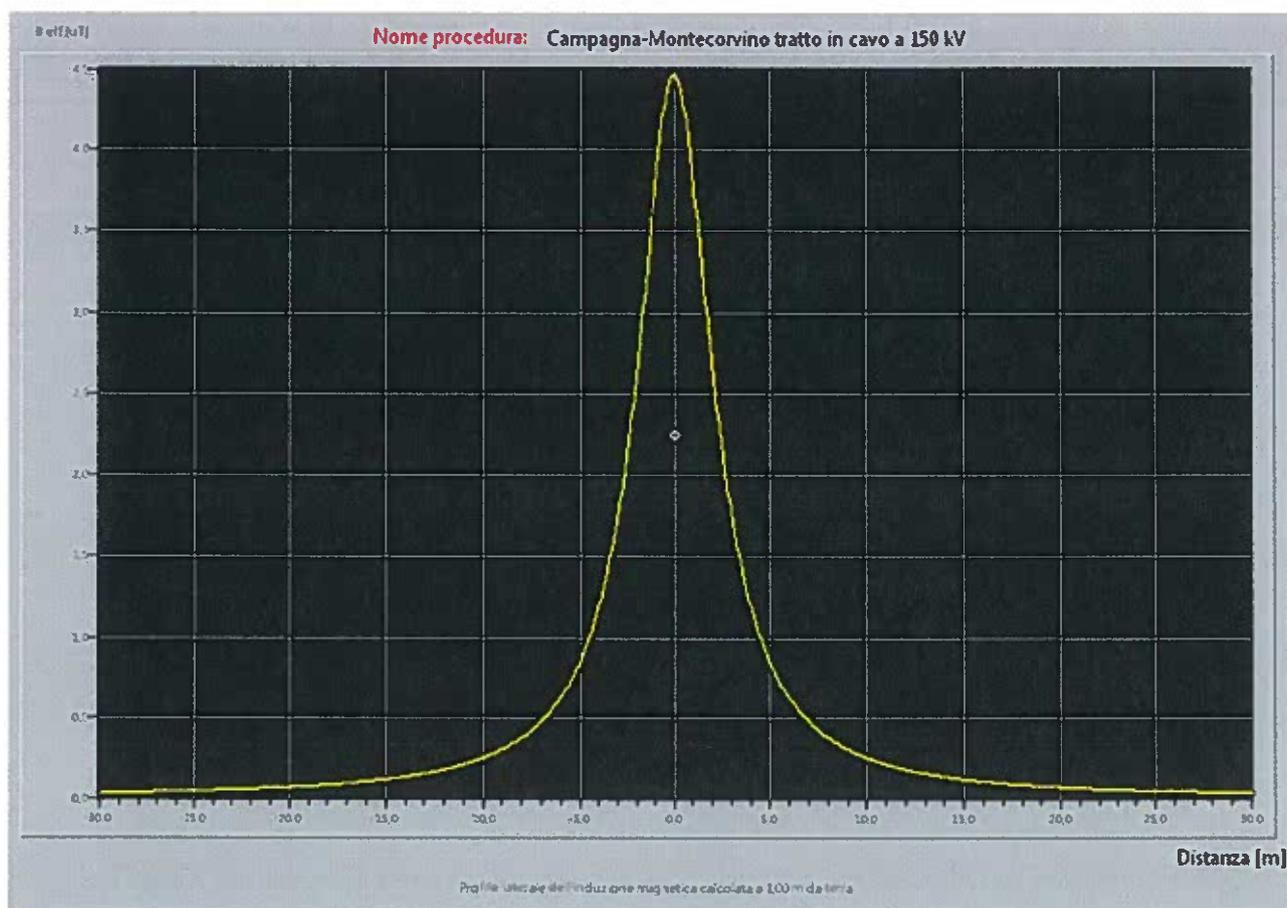


FIGURA 12 – Profilo Laterale CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA (B) per i punti situati a m 1 dal piano di campagna - V=150 kV I=1000 A

Nella fig. 12 è riportato il profilo laterale dell'induzione magnetica ad 1 m da terra, come prescritto dalle norme vigenti ai fini della misurazione dei campi elettromagnetici.

Si può osservare quanto segue:

- 1) I valori di campo elettrico sono sempre inferiori al limite di 5 kV/m imposto dalla normativa, fig. 11.
- 2) Il valore massimo di induzione magnetica vale 4,47 μT riscontrabile sulla verticale dell'asse dell'elettrodotto è minore del valore del livello di attenzione, pari a 10 μT , e minore del limite di esposizione, pari a 100 μT , fig.12.
- 3) I valori di induzione magnetica più elevati di 3 μT si possono rilevare solo entro la distanza di 2,25 m a sinistra e a destra da tale asse.

Come già evidenziato, tutto questo vale per valori di corrente efficace molto superiori a quelli effettivamente transitanti.

Nella figura 13, si evidenzia il campo di "induzione magnetica", generato in corrispondenza di una sezione tipo del tronco a trifoglio raffigurata in fig. 9. I valori che eccedono l'obiettivo di qualità si trovano, a livello del suolo, non oltre i 3,00 m a sinistra e a destra dall'asse del cavo dell'elettrodotto "Campagna-Montecorvino".

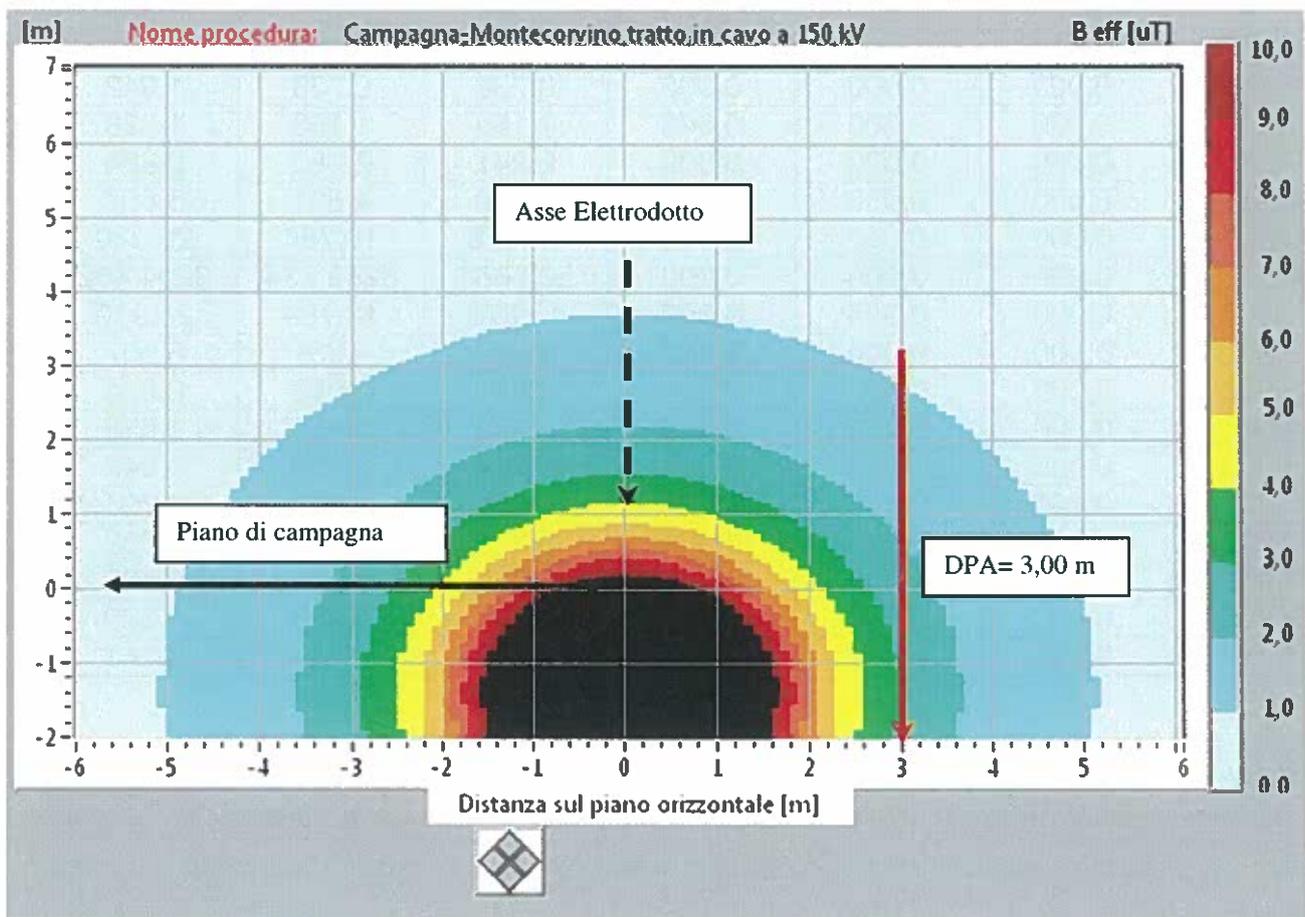


FIGURA 13 – Mappa verticale induzione magnetica (B) sezione tipo con indicazione della DPA - V=150 kV I=1000 A

Si riporta di seguito la tabella a3, che indica i valori del profilo laterale calcolato alla profondità di posa, in modo da permettere l'individuazione, in maniera univoca, della Distanza di prima approssimazione (DPA) dalla fig. 13 sopra riportata.

TRATTA CAVO A TRIFGLIO

Tab. a3: Definizione della DPA, profilo laterale del campo elettrico e del campo magnetico per i punti situati a -1,5 m dal piano di campagna.

Distanza [m]	E orizz.le [kV/m]	E verticale [kV/m]	E risultante [kV/m]	B orizz.le [μ T]	B verticale [μ T]	B risultante [μ T]
-10,000	0,000	0,000	0,000	0,184	0,184	0,261
-9,000	0,000	0,000	0,000	0,227	0,228	0,322
-8,000	0,000	0,000	0,000	0,288	0,288	0,407
-7,000	0,000	0,000	0,000	0,376	0,376	0,532
-6,000	0,000	0,000	0,000	0,511	0,512	0,724
-5,000	0,000	0,000	0,000	0,736	0,738	1,042
-4,000	0,000	0,000	0,000	1,150	1,153	1,628
-3,000	0,000	0,000	0,000	2,041	2,052	2,894
-2,000	0,000	0,000	0,000	4,572	4,631	6,507
-1,000	0,000	0,000	0,000	17,876	18,784	25,930
0,000	0,000	0,000	0,000	503,664	3255,734	3294,462
1,000	0,000	0,000	0,000	17,876	18,784	25,930
2,000	0,000	0,000	0,000	4,572	4,631	6,507
3,000	0,000	0,000	0,000	2,041	2,052	2,894
4,000	0,000	0,000	0,000	1,150	1,153	1,628
5,000	0,000	0,000	0,000	0,736	0,738	1,042
6,000	0,000	0,000	0,000	0,511	0,512	0,724
7,000	0,000	0,000	0,000	0,376	0,376	0,532
8,000	0,000	0,000	0,000	0,288	0,288	0,407
9,000	0,000	0,000	0,000	0,227	0,228	0,322
10,000	0,000	0,000	0,000	0,184	0,184	0,261

Nella fig.11 è riportato il profilo laterale del campo elettrico, ad 1 m dal piano di campagna; esso conferma quanto affermato in precedenza sul campo elettrico: la presenza del terreno, debolmente conduttore, scherma completamente quest'ultimo, come del resto si evince osservando tali valori in tabella a3.

12. Sezione in corrispondenza della buca giunti

Vista la lunghezza di circa 6.800 metri del nuovo tronco di elettodotto, e con riferimento alla relazione tecnica "RE23113C1BFX00002" presente nel PTO relativo all'infrastruttura indicata, saranno collocate 11 buche giunti circa per collegare le pezzature di cavo di lunghezza di circa 550 m (tale lunghezza sarà funzione delle esigenze di trasporto della bobina). Ciò permette la trasposizione incrociata delle guaine metalliche e l'esecuzione di un cross-bonding completo, che consente di annullare le correnti di circolazione negli schermi dei cavi dovute all'induzione elettromagnetica.

Nella figura 14 si evidenzia la disposizione spaziale dei cavi in questa situazione, ove si suppone per il giunto una disposizione in piano dei conduttori ed una distanza fra le fasi di 0,7 m.

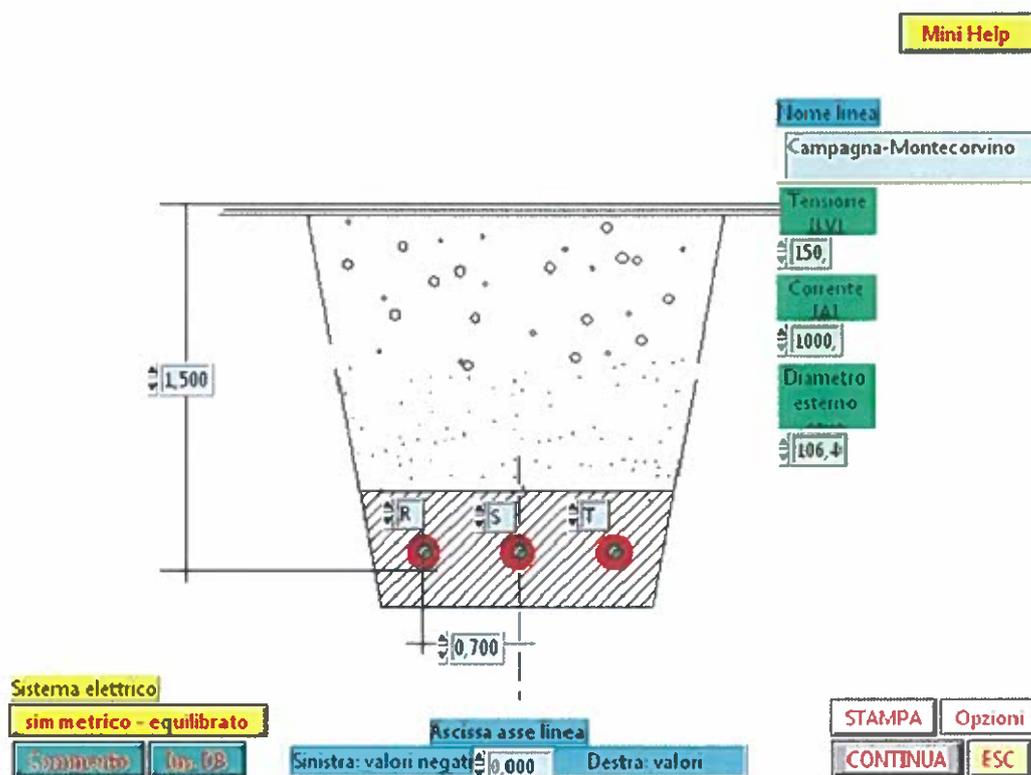


FIGURA 14 – Sezione tipica con disposizione delle fasi della buca giunti

La differente disposizione dei cavi consiglia di eseguire un nuovo calcolo del campo magnetico e del campo elettrico prodotti. I risultati di tale elaborazioni sono illustrati nelle fig. 15 e fig.16 di seguito riportate; si evidenziano valori di induzione magnetica superiori a quelli precedenti, in quanto i

contributi dovuti alle tre fasi non si compensano come nel caso della posa a trifoglio. Di fatto, ad 1 metro di altezza dal suolo, l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ viene superato in una distanza di circa 9,0 m per ciascun lato, rispetto all'asse del cavo. In corrispondenza della verticale alla buca giunti si raggiunge ad un metro di altezza da terra un valore di induzione magnetica pari a $39,00 \mu\text{T}$.

Come già evidenziato, tutto questo vale per valori di corrente efficace molto superiori a quelli attesi mediamente transitanti.

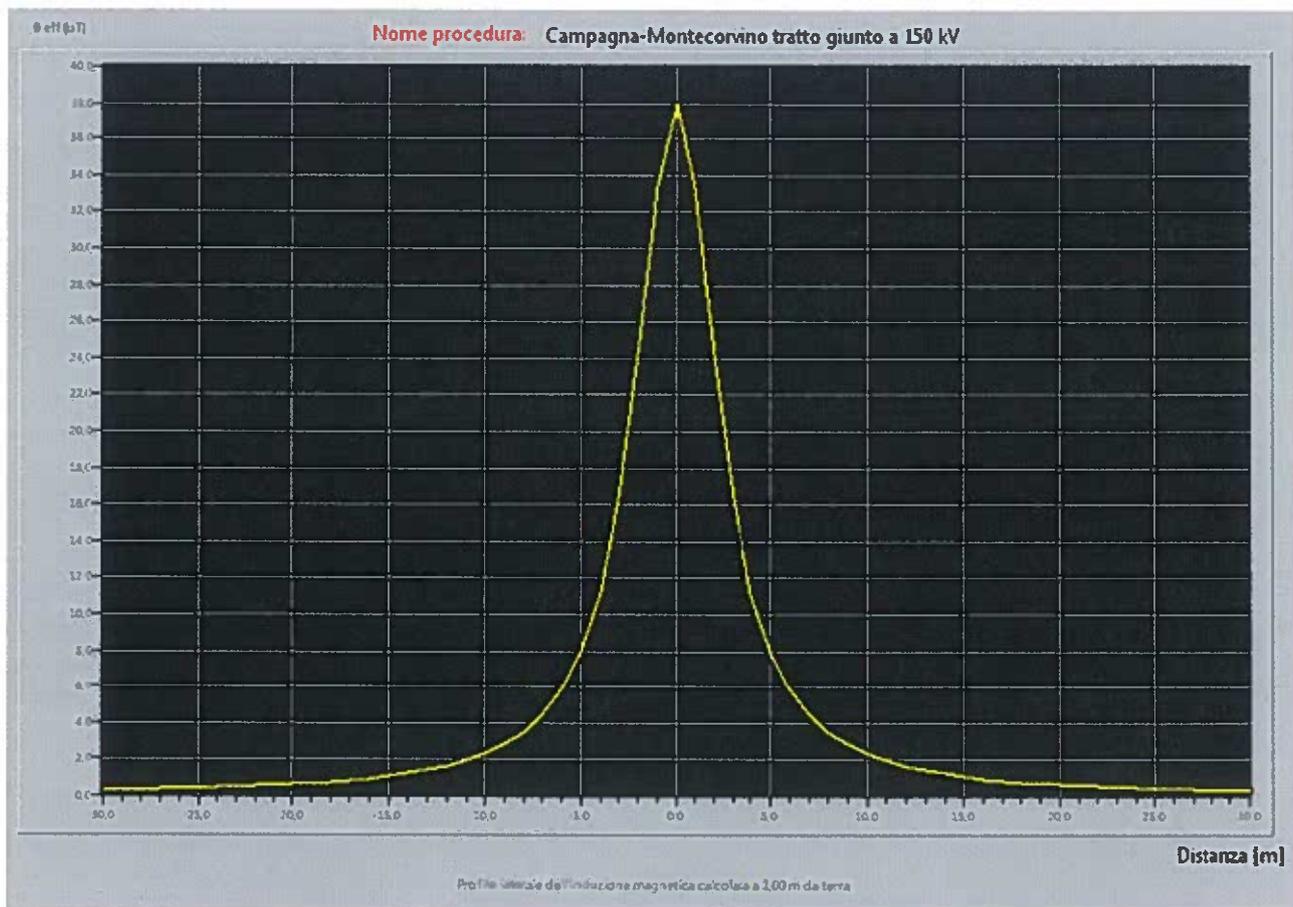


FIGURA 15 – Profilo Laterale dell'induzione magnetica a 1 m dal suolo presso le buche giunti - V=150 kV I=1000 A

Il campo Elettrico, a 1 m dal piano di campagna, risulta nullo, fig. 16.

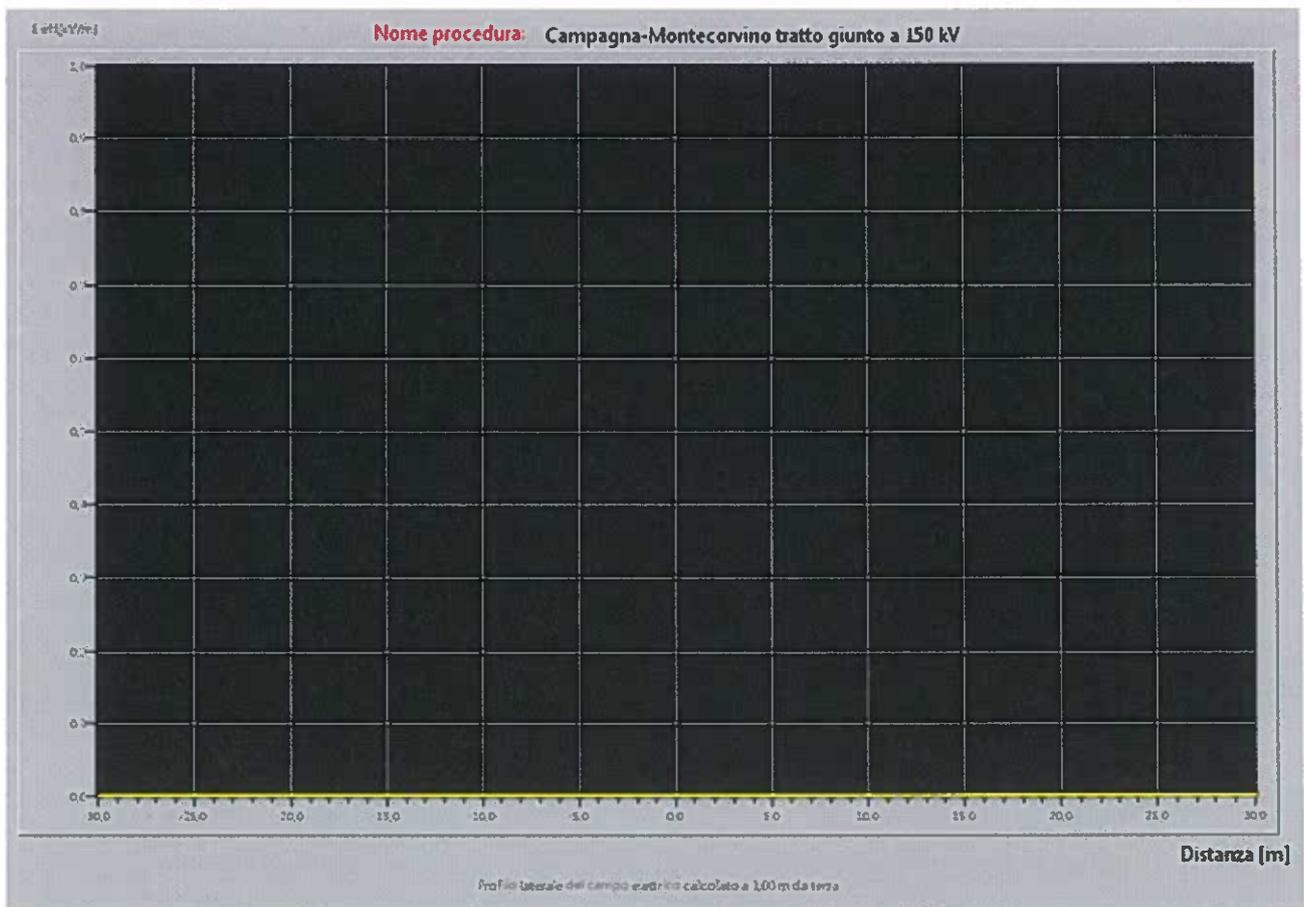


FIGURA 16 – Profilo Laterale del campo elettrico in corrispondenza della buca giunti - V=150 kV I=1000 A

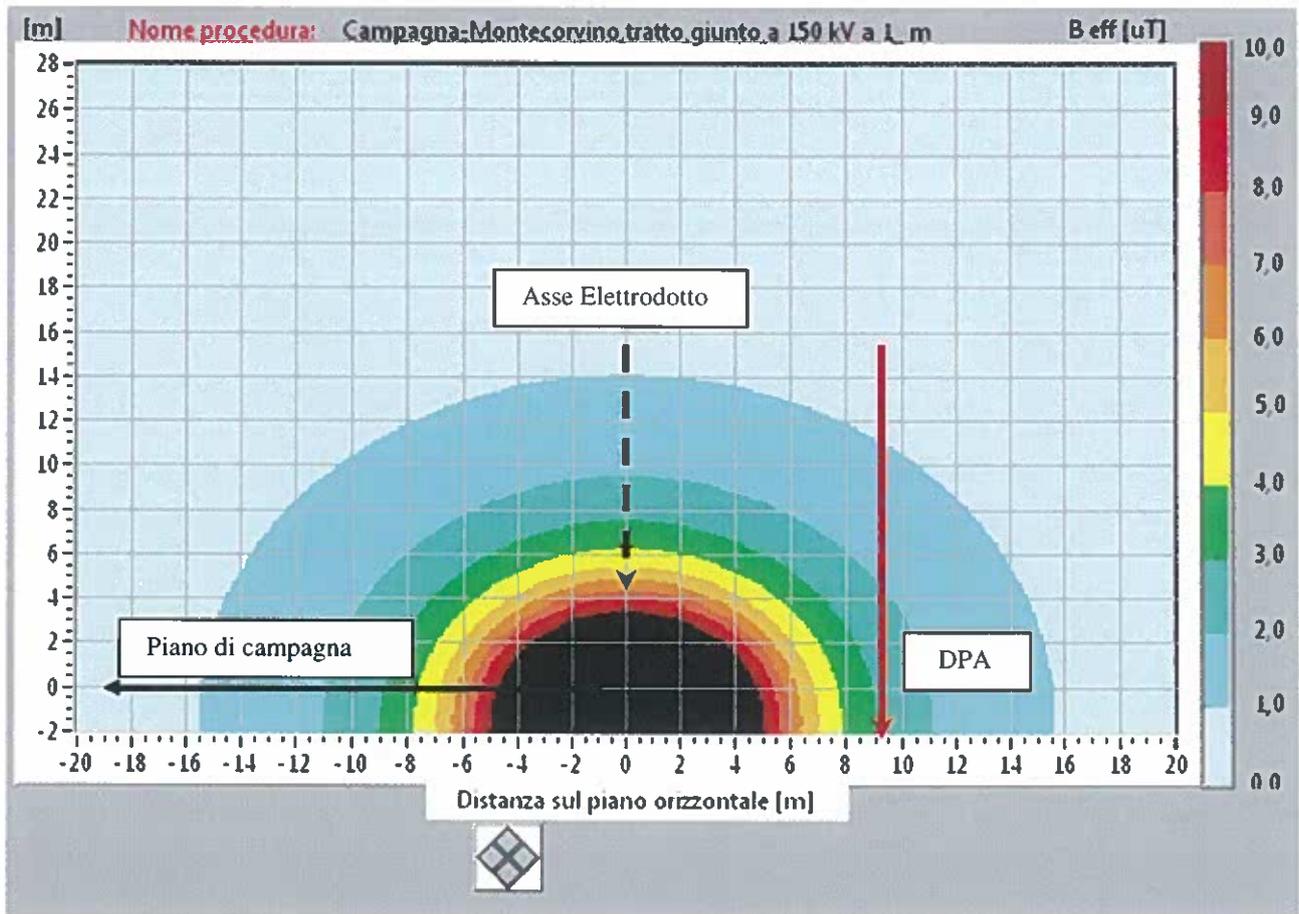


FIGURA 17 - Mappa Verticale induzione magnetica in corrispondenza della buca giunti V=150 kV I=1000 A

Per quanto concerne la DPA in prossimità del giunto, dalla fig. 17 si evince che questa sarà più ampia di quella del tratto in cui il cavo è posato a trifoglio, ovvero 9 m rispetto all'asse del conduttore centrale (fase S della fig. 14). I valori numerici sono evidenziati un tab.a4:

Tab. a4: Definizione della DPA, profilo laterale del campo elettrico e del campo magnetico per i punti situati a -1,5 m dal piano di campagna.

Distanza [m]	E orizz.le [kV/m]	E verticale [kV/m]	E risultante [kV/m]	B orizz.le [μ T]	B verticale [μ T]	B risultante [μ T]
-20,000	0,000	0,000	0,000	0,144	0,580	0,598
-19,000	0,000	0,000	0,000	0,168	0,640	0,662
-18,000	0,000	0,000	0,000	0,197	0,709	0,736
-17,000	0,000	0,000	0,000	0,233	0,790	0,824
-16,000	0,000	0,000	0,000	0,278	0,885	0,928
-15,000	0,000	0,000	0,000	0,335	0,997	1,052
-14,000	0,000	0,000	0,000	0,409	1,132	1,204
-13,000	0,000	0,000	0,000	0,507	1,294	1,390
-12,000	0,000	0,000	0,000	0,638	1,492	1,622
-11,000	0,000	0,000	0,000	0,816	1,735	1,917
-10,000	0,000	0,000	0,000	1,067	2,037	2,299
-9,000	0,000	0,000	0,000	1,428	2,413	2,804
-8,000	0,000	0,000	0,000	1,965	2,883	3,489
-7,000	0,000	0,000	0,000	2,793	3,461	4,447
-6,000	0,000	0,000	0,000	4,120	4,132	5,835
-5,000	0,000	0,000	0,000	6,325	4,771	7,922
-4,000	0,000	0,000	0,000	10,062	4,874	11,181
-3,000	0,000	0,000	0,000	16,111	2,881	16,367
-2,000	0,000	0,000	0,000	23,321	6,517	24,214
-1,000	0,000	0,000	0,000	22,109	25,034	33,399
0,000	0,000	0,000	0,000	6,184	37,439	37,946
1,000	0,000	0,000	0,000	22,109	25,034	33,399
2,000	0,000	0,000	0,000	23,321	6,517	24,214
3,000	0,000	0,000	0,000	16,111	2,881	16,367
4,000	0,000	0,000	0,000	10,062	4,874	11,181
5,000	0,000	0,000	0,000	6,325	4,771	7,922
6,000	0,000	0,000	0,000	4,120	4,132	5,835
7,000	0,000	0,000	0,000	2,793	3,461	4,447
8,000	0,000	0,000	0,000	1,965	2,883	3,489
9,000	0,000	0,000	0,000	1,428	2,413	2,804
10,000	0,000	0,000	0,000	1,067	2,037	2,299
11,000	0,000	0,000	0,000	0,816	1,735	1,917
12,000	0,000	0,000	0,000	0,638	1,492	1,622
13,000	0,000	0,000	0,000	0,507	1,294	1,390
14,000	0,000	0,000	0,000	0,409	1,132	1,204
15,000	0,000	0,000	0,000	0,335	0,997	1,052
16,000	0,000	0,000	0,000	0,278	0,885	0,928
17,000	0,000	0,000	0,000	0,233	0,790	0,824
18,000	0,000	0,000	0,000	0,197	0,709	0,736
19,000	0,000	0,000	0,000	0,168	0,640	0,662
20,000	0,000	0,000	0,000	0,144	0,580	0,598

13. Conclusioni

In relazione alle considerazioni esposte, ed a quanto riportato in appendice, con riferimento alle simulazioni ai calcoli effettuati, alla collocazione sulla sede stradale del futuro elettrodotto e all'adozione di sistemi di mitigazione; si può affermare quanto segue:

I valori "dpa" individuati assumono un ordine di grandezza compatibile con la larghezza delle strade interessate dal tracciato così come rappresentato nella planimetria con D.p.A, in scala 1:2.000, allegata al PTO, dis. n° DE23113C1BFX00012 - DE23113C1BFX00013 (1-2).

Pertanto si può concludere che i valori di campo elettrico e di induzione magnetica sono compatibili con i vincoli previsti dalla normativa vigente; infatti le strisce o corridoi di prima approssimazione, riportati nel suddetto elaborato, non includono in nessun punto luoghi con permanenza abituale superiore a 4 ore, e quindi né civili abitazioni, né locali pubblici con permanenza di persone, né luoghi di divertimento o svago. Inoltre, nelle condizioni di corrente in regime permanente considerato, pari a 1000 A, all'interno delle suddette superfici il limite massimo di campo magnetico è inferiore al limite di attenzione di $10\mu\text{T}$;

Dal punto di vista della compatibilità elettromagnetica il collegamento elettrico progettato, come illustrato nel piano tecnico delle opere di cui fa parte la presente relazione, è conforme alla normativa vigente.

Tuttavia è bene chiarire che in fase di progettazione preliminare non è possibile definire la posizione esatta delle buche giunti ed dell'asse del futuro cavidotto, all'interno della sezione stradale attraversata, a causa delle interferenze con altre opere esistenti. Pertanto resta inteso che qualora in fase di progettazione esecutiva, la presunta collocazione dell'asse e/o delle buche giunti dovesse essere modificata, comportando l'intersezione tra i corridoi di prima approssimazione e eventuali fabbricati e/o luoghi, in cui è prevista la permanenza abituale delle persone superiore a 4 ore, si procederà a determinare puntualmente le fasce ed eventualmente ad adeguare i sistemi di mitigazione del campo magnetico affinché il valore dell'induzione magnetica sia sempre rispettato (nella presente relazione sono stati forniti validi esempio applicativi). In tale prospettiva non si esclude il ricorso ad altri sistemi come le canalette schermanti di materiale ferromagnetico, riempite con cemento a resistività termica stabilizzata, di cui per brevità di esposizione si è omesso la simulazione dimostrativa.

14. Appendice - Mitigazione campi magnetici

a) POSA A TRIFOGLIO

Tra i sistemi di mitigazione sviluppati vi è la schermatura mediante l'impiego di anelli con cavi passivi, che si basa sulla considerazione fisica secondo la quale in un anello chiuso di elementi conduttori, disposti in prossimità di un circuito (trifase) in cui circola corrente alternata, si genera una corrente, anch'essa alternata, che produce un flusso magnetico che si oppone a quello che lo ha generato e dunque può essere utilizzato per schermare il campo magnetico; se la geometria con cui viene disposto il circuito passivo è opportuna, si riesce a ridurre il campo magnetico nella zona d'interesse.

Il circuito passivo deve essere vicino al circuito da schermare, e lontano dalla zona che deve essere schermata, dunque saranno disposti all'interno della trincea di posa del cavo.

La figure successive rappresentano tre disposizioni preferenziali per la collocazione dei cavi passivi

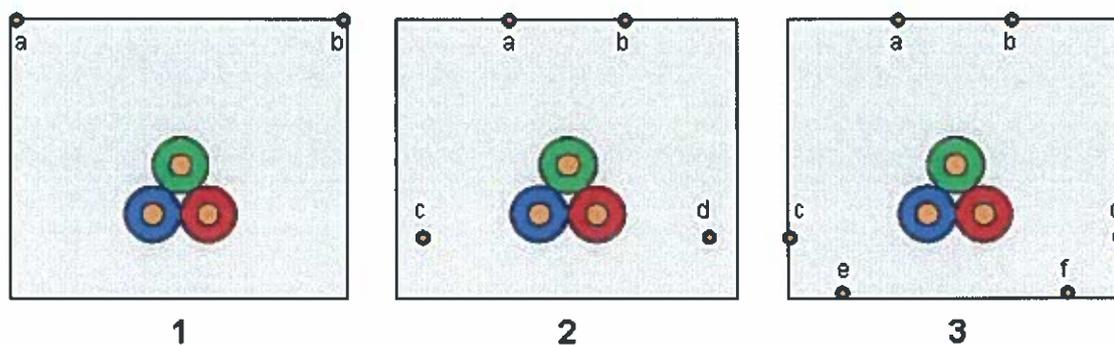


FIGURA 18 – Esempi di possibili configurazioni cavi di mitigazione

Occorre evidenziare che nella schermatura ad anelli, i cavi passivi sono tutti cortocircuitati alle due estremità del tratto schermato, con l'utilizzo di una o più morsettiere per ciascuna estremità. In questo modo si ottiene un numero di anelli superiore rispetto a quello ottenuto con singoli anelli isolati tra loro. Le stesse considerazioni descritte per la schermatura di una trincea, possono ritenersi valide anche per quanto attiene la schermatura delle buche giunti.

Nelle figure seguenti è riportata, a titolo di esempio, la simulazione del caso in cui lungo il tracciato del cavo, siano installati dei circuiti di mitigazione passivi per ridurre i valori del campo magnetico e riportarlo entro il limite imposto. L'esempio prevede l'installazione di quattro circuiti, posizionati ad opportuna distanza (0,22 m e 0,15 m) e profondità (-1,45 e -1,1m), nella trincea di posa intorno alla terna di cavi.

Nella figura seguente è riportato l'andamento dell'induzione magnetica ad un metro dal suolo, nel caso di una linea priva di circuiti di mitigazione e di una linea in presenza dei circuiti di mitigazione; si evince come sia possibile ridurre, facilmente, l'intensità del campo magnetico .

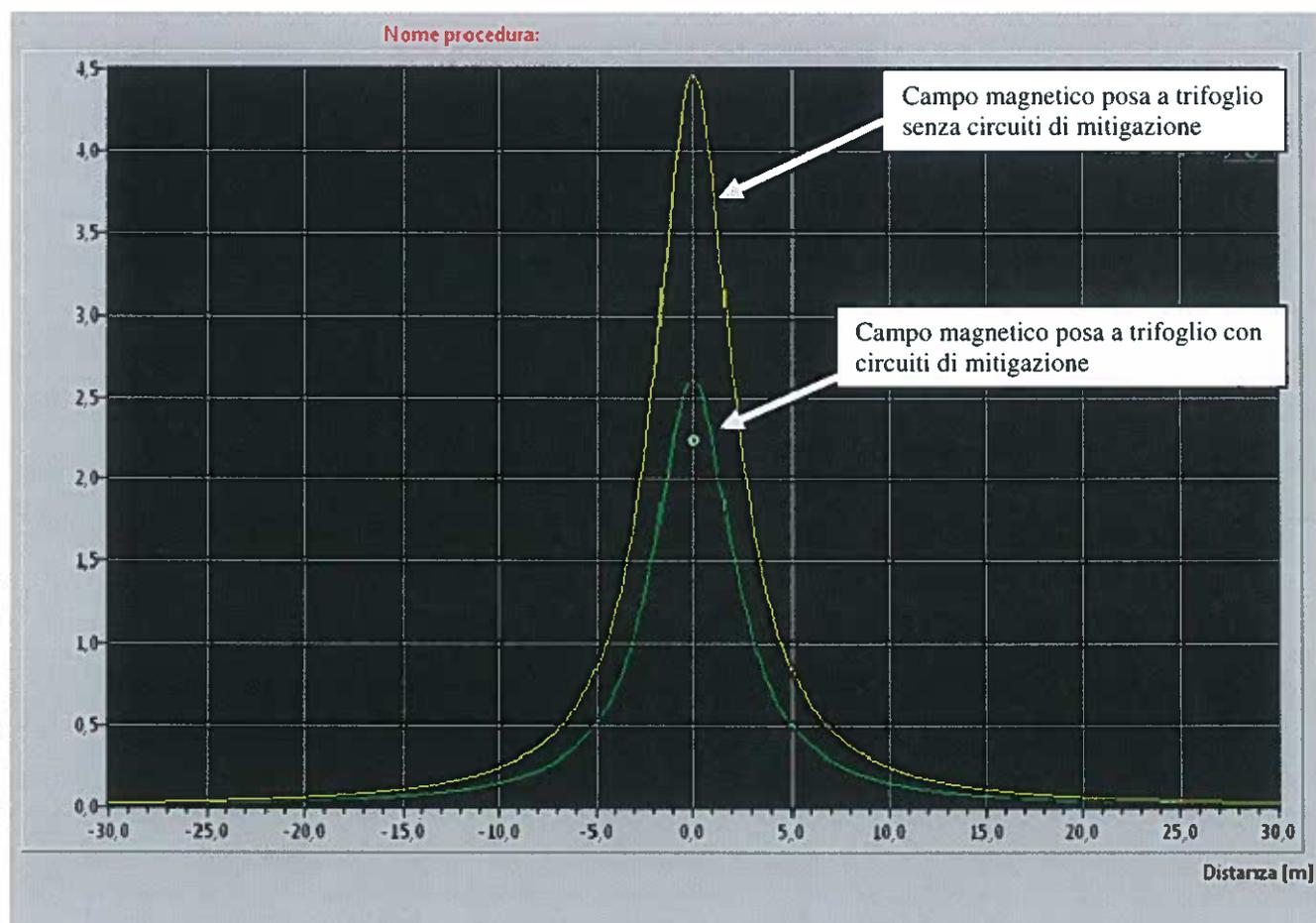


FIGURA 19 – Riduzione del campo magnetico con Loop Passivo

- **Agendo opportunamente sulla posizione dei circuiti e sul numero degli stessi si riesce a far rientrare il valori di induzione entro i limiti desiderati.**

b) Esempio mitigazione campo

Si riporta, a titolo dimostrativo in fig. 20, un esempio pratico di mitigazione. In questo caso, sono state utilizzate 4 coppie di cavi FG7, con sezione di 400 mm^2 . Come evidenziato dalle simulazioni seguenti, la DPA è stata ridotta del 30% circa, passando quindi da 3 m a 2 m circa.

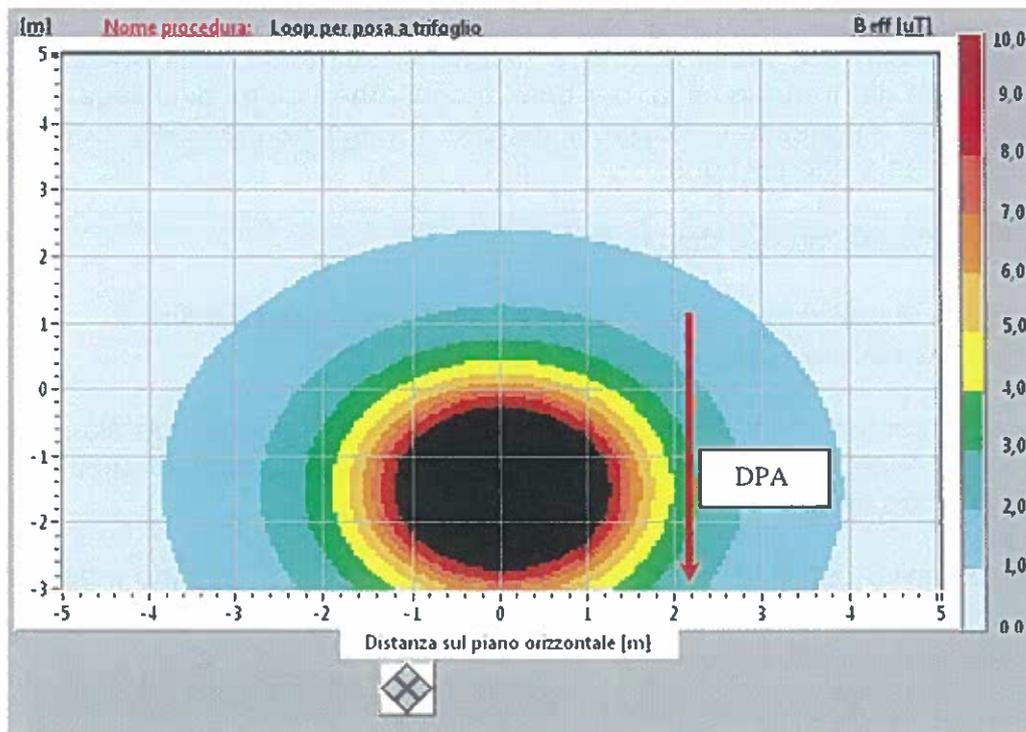


FIGURA 20 – Riduzione del campo magnetico con Loop Passivo

Dall'analisi dell'intensità dei campi elettrici e magnetici effettuata nella presente relazione, appare evidente che nel tratto in cavo, per quanto concerne i giunti di collegamento, fig. 10, l'intensità del campo magnetico è maggiore rispetto al resto del percorso, dove i cavi sono posati con formazione a trifoglio fig. 9.

La necessità di effettuare giunti è dovuta a:

- Impossibilità di realizzare e trasportare un cavo unico lungo 6,8 km
- Necessità di realizzare la trasposizione delle fasi

Nel caso in cui, il campo magnetico generato nei pressi del giunto, non sia conforma agli obiettivi di qualità, rispetto ad un eventuale fabbricato, saranno adottati specifici sistemi di mitigazione del campo magnetico, come di seguito indicato.

Si riporta, con obiettivo esplicativo, un esempio di mitigazione del campo magnetico per un giunto:

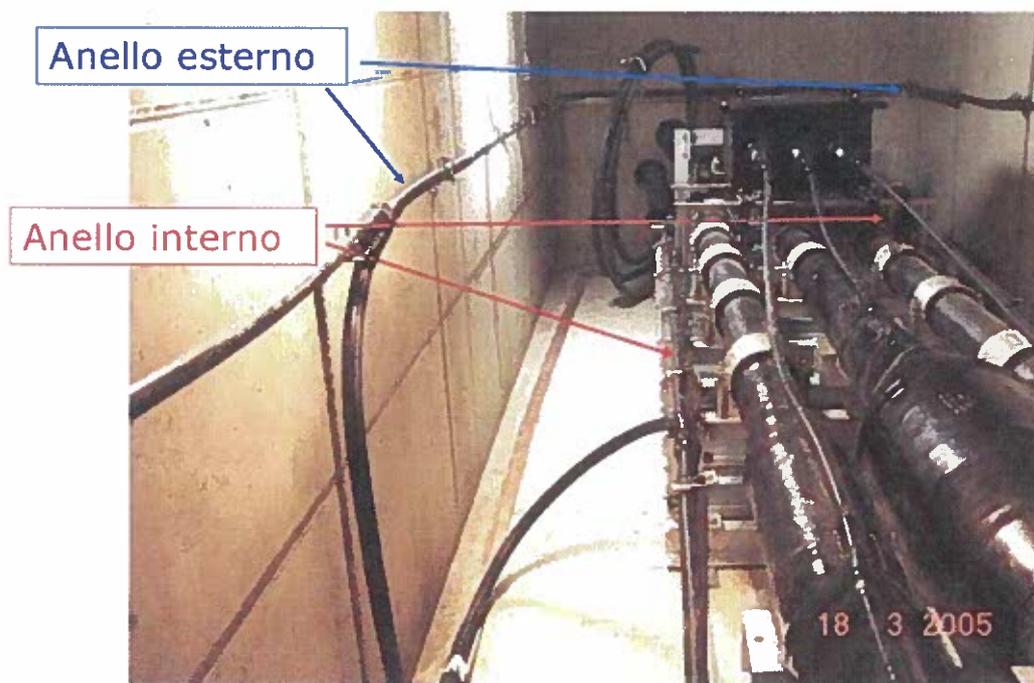


Figura 21 – Giunto con sistema di compensazione passivo ad anello

Nella fig. 21 è riportata una foto di un giunto con sistema di compensazione passivo ad anello, il quale, in base al principio fisico della forza elettromotrice indotta, genera un campo magnetico che si oppone a quello generato dal cavo. L'effetto nello spazio circostante, è quindi quello di una riduzione del campo magnetico risultante.

Poiché la posizione esatta dei giunti sarà definita solo in fase di progettazione esecutiva, nel caso di difformità dall'obiettivo di qualità, definito dal DPCM dell' 8 Luglio 2003 sarà adottata un azione di mitigazione ad hoc in accordo con quanto descritto in questa Appendice.