



Proponente:

**PARCO SOLARE MANFREDONIA SRL**

Via Vittor Pisani, 20 - 20124 MILANO

P.Iva 11389800969

Pec: parcisolaremanfredonia@cert.studiopirola.com

Titolo del Progetto:

Realizzazione di un Parco Fotovoltaico di potenza di picco 77 MWp in Loc.tà Monachelle

Documento:

**PROGETTO DEFINITIVO**

**24**

ID PROGETTO:

XK1J275

FORMATO:

A4

Elaborato:

Studio di impatto elettromagnetico

FOGLIO:

1

SCALA:

/

Nome file:

XK1J275\_24.Studio di impatto elettromagnetico

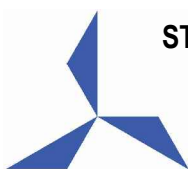
**Coordinamento Progetto:**



Via Santa Croce, 66  
Erchie (BR) 72020  
P.Iva 02415290747  
Pec: ekoteksrl@pec.it

**Tecnici:**

Arch. Alfredo Masillo  
Ing. Antonio Mezzina  
Geol. Giuseppe Masillo



**STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA**

MEZZINA dott. ing. Antonio

Via T. Solis 128 | 71016 San Severo (FG)

Tel. 0882.228072 | Fax 0882.243541

e-mail: info@studiomezzina.net



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Giugno 2021	PRIMA EMISSIONE	Ing. Merlino	Ing. Mezzina	WIRKON
01	Agosto 2021	Incremento potenza	Ing. Merlino	Ing. Mezzina	WIRKON
02	Ottobre 2021	Variazione elettrodotto dorsale	Ing. Merlino	Ing. Mezzina	WIRKON



PROPONENTE:

**PARCO SOLARE MANFREDONIA SRL**

Sede Legale: Via Vittor Pisani, 20 - 20124 MILANO

PEC: [parcosolaremanfredonia@cert.studiopirola.com](mailto:parcosolaremanfredonia@cert.studiopirola.com)

C.F. e P.IVA 11389800969

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO FOTOVOLTAICO DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 77,052 MWP E POTENZA AI FINI DELLA CONNESSIONE PARI A 63 MW SITO NEL COMUNE DI MANFREDONIA, ALLA LOCALITÀ "MONACHELLE" NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.**

## **RELAZIONE TECNICA**

### **VALUTAZIONE PREVISIONALE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI**

Codice Progetto Regionale: XK1J275

Codice Pratica TERNA: 20200076



## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA E OGGETTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PARCO FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. MODALITÀ DI CONNESSIONE ALLA RTN E UBICAZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE. 6</b>	<b>6</b>
<b>4. STRUTTURA E SCHEMA DELLE LINEE ELETTRICHE MT. ....</b>	<b>7</b>
Struttura e schema delle linee elettriche MT.....	7
Caratteristiche delle linee elettriche MT.....	7
<b>5. QUADRO NORMATIVO. ....</b>	<b>10</b>
<b>6. GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI. ....</b>	<b>12</b>
<b>7. CAMPO ELETTRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>8. CAMPO MAGNETICO .....</b>	<b>13</b>
<b>9. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI MAGNETICI.....</b>	<b>13</b>
<b>10. CONFIGURAZIONI IMPIANTISTICHE DA ANALIZZARE.....</b>	<b>15</b>
<b>11. TIPOLOGIE DI POSA.....</b>	<b>15</b>
<b>12. MODALITÀ DI INDAGINE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PREVISIONALE 16</b>	<b>16</b>
<b>13. CASI DI ANALISI PREVISIONALE MT.....</b>	<b>17</b>
CASO 1 .....	19
<b>14. CASI DI ANALISI PREVISIONALE AT .....</b>	<b>20</b>
Caso 2: linee aeree in alta tensione .....	20
Caso 3: LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA IN ALTA TENSIONE.....	22
<b>15. CONCLUSIONI.....</b>	<b>25</b>



## 1. PREMESSA E OGGETTO

La presente relazione tecnica è stata redatta al fine di esporre lo studio di impatto elettromagnetico previsionale generato dalle opere elettriche di utenza per la produzione e per la connessione alla RTN, che la società **PARCO SOLARE MANFREDONIA S.R.L** intende realizzare alla località "**MONACHELLE**", Comune di **MANFREDONIA** (FG), e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto, ricadenti nel Comune di Manfredonia, alla località "**POSTA MACCHIA ROTONDA**", con potenza teorica di picco del generatore fotovoltaico pari a circa **77,051 MWp**, regolata in modo tale che, anche tenendo conto dei rendimenti e perdite di conversione, la potenza attiva disponibile (Pnd) non superi mai la potenza attiva di immissione, pari a **63,00MW**.

Le opere da realizzarsi sono finalizzate a consentire la produzione di energia elettrica da sorgente fotovoltaica, nel rispetto delle condizioni per la sicurezza delle apparecchiature e delle persone.

Lo studio di impatto elettromagnetico si rende necessario al fine di una valutazione del campo elettrico e magnetico nei riguardi della popolazione.

In particolare "la fascia di rispetto" di cui al DM 29/05/2008 viene calcolata tenendo conto dell'elettrodotto interrato e della Sottostazione Elettrica MT/AT.

Al calcolo della fascia di rispetto segue la verifica dell'assenza di ricettori sensibili all'interno di tale fascia: aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore giornaliere.

Poiché le linee di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti), hanno in Europa una frequenza di 50 Hz i campi elettrici e magnetici rientrano nella banda ELF (30 – 300 Hz, bassa frequenza) e quindi regolati dal D.P.C.M. 8 luglio 2003 per la determinazione delle fasce di rispetto.

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PARCO FOTOVOLTAICO.

In questo paragrafo riportiamo una descrizione generale e sintetica dell'impianto fotovoltaico allo scopo di inquadrare da subito le sue linee e le caratteristiche generali. Nel seguito di questa relazione si approfondiranno in dettaglio tutti gli aspetti tecnici dell'impianto fotovoltaico.

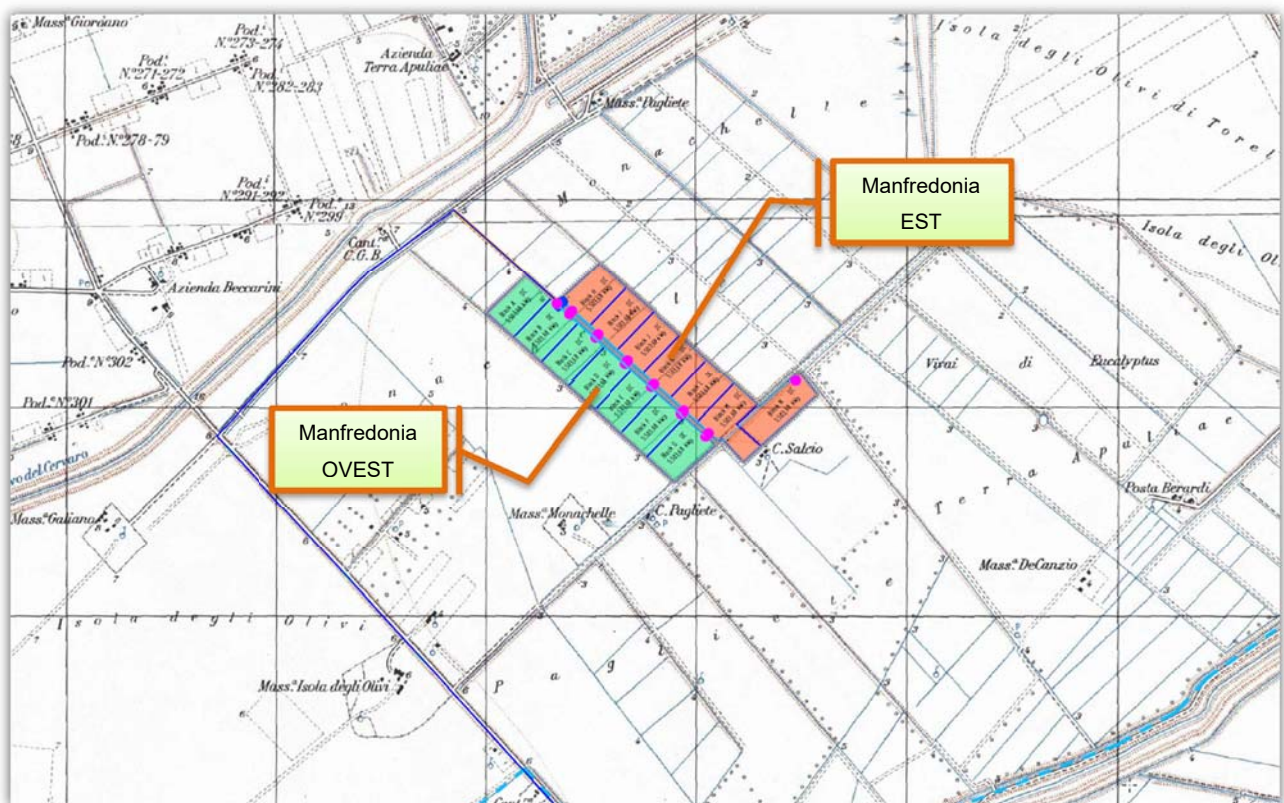


Fig. 1. Layout impianto e tratto iniziale dell'elettrodotto dorsale (in blu) su I.G.M.

La centrale fotovoltaica si svilupperà su un'area complessiva lorda di circa **68ha 80a**, corrispondenti alla superficie dei fondi acquisiti.

La superficie effettivamente impegnata dal parco fotovoltaico, inclusa nel perimetro dei soli inseguitori ed interna alla viabilità di servizio, è invece di circa **64ha 70a** a cui corrisponde una densità di potenza pari a:

$$D = P / S = 77 / 64,70 = 1,19 \text{ MWp/Ha}$$

L'impianto Fotovoltaico sarà strutturato in **14** subcampi elettricamente indipendenti, raggruppati in due **Sottoimpianti** planimetricamente distinti (EST ed Ovest), e separati da una strada sterrata:

1. Il sottoimpianto EST (nel seguito **M\_E**), della potenza di circa **38,526 MWp**;
2. Il sottoimpianto OVEST (nel seguito **M\_O**), della potenza di circa **38,526 MWp**;



I vari subcampi dei due Sottolimpianti sono strutturati, mediante elettrodotti interrati in MT, in gruppi (sottocampi) collegati in serie che fanno capo alla Cabina di Raccolta di ciascun Sottolimpianto (rispettivamente **CdR\_O** e **CdR\_E**). Dalle due cabine di raccolta si diparte l'elettrodotto dorsale, costituito da 4 terne di cavi unipolari, che conferisce l'energia prodotta alla SSE.

Il sottolimpianto fotovoltaico "**M\_O**", della potenza di **38,526 MWp**, sarà a sua volta costituito da 7 subcampi fotovoltaici, direttamente afferenti alla Cabina di Raccolta CdR\_Ovest, situata nella zona nord del sottolimpianto, da cui si dipartirà un elettrodotto esterno che sarà collegato alle sbarre MT della SSE.

Il sottolimpianto fotovoltaico "**M\_E**", della potenza di **38,526 MWp**, sarà a sua volta costituito da 7 subcampi fotovoltaici, come identificati nell'immagine seguente mediante un identificativo alfabet

ico, direttamente afferenti alla Cabina di Raccolta CdR\_OVEST, situata nella zona nord del sottolimpianto, da cui si dipartirà un elettrodotto esterno che sarà collegato alle sbarre MT della SSE.

In definitiva l'impianto fotovoltaico, costituito dall'insieme dei due Sottolimpianti EST e OVEST, sarà caratterizzato da:

- 1) **137.592** moduli fotovoltaici della potenza di **560Wp** cadauno;
- 2) **252** quadri di stringa;
- 3) **5.292** stringhe da **26** moduli cadauna;
- 4) **14** cabine di conversione DC/AC e trasformazione bT/MT 0,690/30kV, con somma delle potenze nominali degli inverter pari a **64,400 MVA**, e somma delle potenze disponibili pari a **63,000MVA**;
- 5) **2** Cabine di Raccolta;
- 6) **14** sottocampi di potenza unitaria pari a 5.504 MWp per una potenza di picco complessiva del generatore fotovoltaico pari a **77,052MWp**: l'impianto sarà regolato in modo tale che la potenza nel punto di immissione **NON SIA MAI SUPERIORE A 63,000 MVA**.
- 7) **1 elettrodotto** dorsale esterno, costituito da 4 terne MT30kV, per la connessione alla SSE, di lunghezza pari a circa **14.300m**.

IMPIANTO	N. Cabine	N. String Monitor	N. Stringhe	N. Moduli	Potenza nominale di picco generatore [MWp]	Pot. nominale Inverter [MVA]	Potenza regolata in immissione [MW]	Pot. Inv. / Pot. Immissione
Tot. "MANFREDON"	14	252	5.292	137.592	77,052	64,400	63,000	102,22%



### 3. MODALITÀ DI CONNESSIONE ALLA RTN E UBICAZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE

Il punto di connessione alla RTN del nuovo parco fotovoltaico è stato assegnato da TERNA S.p.A. alla **WIRCON GMBH S.r.l.**, società dalla quale la Proponente **PARCO SOLARE MANFREDONIA SRL**, mediante una voltura della connessione, ha in corso l'acquisizione del relativo preventivo di connessione.

Secondo la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) comunicata alla WIRCON GMBH S.r.l. con lettera pec del 22.05.2020, codice Pratica **202000076**, è prevista la connessione "*... in antenna a 150kV su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 380/150kV di Manfredonia.*", stabilendo altresì la necessità di condivisione dello Stallo in Stazione con altri realizzandi impianti di produzione.

La WIRCON GMBH S.r.l. accettava il preventivo in data 08.09.2020. Successivamente, ai fini della condivisione dello stallo, tentava di raggiungere accordi con altre società che già si collegano o è previsto si colleghino ad uno stallo della predetta SE-RTN, senza tuttavia giungere ad un esito positivo, poiché trattasi di impianti già in esercizio o situazioni in cui lo stallo assegnato della SE è già saturo alla potenza massima.

Per queste ragioni, in data 12.04.2021, la Società WIRCON GMBH S.r.l. chiedeva a TERNA la convocazione di un urgente tavolo tecnico, assieme ad altre iniziative imprenditoriali che necessitano di assegnazione di stallo, al fine di definire la progettazione dell'ampliamento della SE-RTN di Manfredonia e l'individuazione dello Stallo al quale collegare il progettato impianto; al momento in cui si scrive questa relazione, tuttavia, TERNA non ha ancora dato riscontro a tale richiesta.

Nelle more, tuttavia, si è proceduto ad individuare l'area per la collocazione della Sottostazione Produttore, progettata nelle immediate vicinanze della ridetta SET "Macchiarotonda" in modo da minimizzare la lunghezza dell'elettrodotto di connessione AT, a ridosso di altre Sotto Stazioni già esistenti e/o in corso di autorizzazione.

Il layout previsto della Sottostazione è stato definito previo accordo con i proprietari dei fondi interessati, secondo la rappresentazione planimetrica in appresso riportata, nella quale si indica anche la possibile posizione dello stallo di RTN su cui attestare il cavidotto AT opera di utenza, ovvero il primo utile dell'ampliamento della SET TERNA:

**La presente relazione di valutazione delle emissioni di campo elettrico e magnetico si riferisce unicamente alle opere elettriche di utenza.**



#### 4. STRUTTURA E SCHEMA DELLE LINEE ELETTRICHE MT.

##### Struttura e schema delle linee elettriche MT.

Come si evince dagli elaborati grafici di progetto, le linee elettriche MT interne al parco fotovoltaico seguiranno in massima parte il tracciato delle strade di accesso, sia esistenti che di nuova realizzazione, o, laddove necessario, seguiranno le corsie libere tra le file di tracker. In alcuni casi, al fine di evitare alcune aree vincolate, sia di pertinenza che buffer, gli elettrodotti seguono un percorso indipendente fuori da strade e piste esistenti o di nuova realizzazione.

Inoltre laddove necessario la posa dei cavi sarà eseguita con la tecnica non invasiva TOC al fine di evitare scavi a trincea che andrebbero a modificare la morfologia superficiale nonché la consistenza del terreno con conseguente impatto sui vincoli e le prescrizioni ambientali e idrauliche del territorio.

##### Caratteristiche delle linee elettriche MT.

Come sopra accennato il collegamento tra il parco fotovoltaico e la sottostazione produttore avverrà attraverso elettrodotti interrati costituiti da plurime terne di cavi MT che trasportano l'intera potenza complessiva dell'impianto.

I cavi MT utilizzati saranno della tipologia ARE4H5E 18/30kV in accordo alla norma IEC 60502/CEI 20-13: conduttore unipolare, in corda rigida compatta a fili di alluminio, in accordo alla norma CEI 20-29, classe 2, con strato semiconduttore in mescola estrusa termoindurente, isolante XLPE, semiconduttore estruso saldato, nastro semiconduttivo antiumidità, schermo a nastro di alluminio laminato, guaina esterna in MDPE, colore rosso.

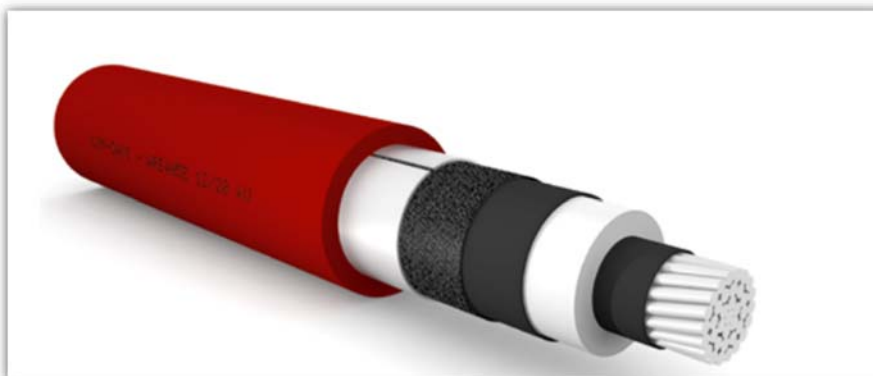


Fig. 2. Particolare degli strati costitutivi di un cavo MT ARE4H5E

Per la distribuzione in media tensione sono impiegate le seguenti formazioni di cavo per gli undici subcampi:



SOTTOIMPIANTO						CARATTERISTICHE SETTORI			CARATTERISTICHE DEL CAVO	CADUTA DI TENSIONE max	PLOSS		
	Subcampo	Denom. TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA A	SEZIONE	NUMERO TERNE	Pot. Nominale [kWp]	Pot. Reale massima [kWp]	CORRENTE Linea (max)	PORTATA			ΔU% (max)	PLOSS
								l <sub>L</sub>	l <sub>Z</sub>	[%]	[kW]		
								[A]	[A]				
OVEST	A	A-CdR_OVEST	15	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0082%	0,46		
	B	B-CdR_OVEST	60	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0230%	1,28		
	C	C-CdR_OVEST	230	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0790%	4,38		
	D	D-CdR_OVEST	420	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1415%	7,84		
	E	E-CdR_OVEST	590	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1974%	10,94		
	F	F-CdR_OVEST	780	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,2599%	14,41		
	G	G-CdR_OVEST	940	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,3126%	17,32		
<b>CADUTA DI TENSIONE MASSIMA</b>										<b>0,3126%</b>	<b>56,6</b>		
EST	H	H-CdR_EST	60	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0230%	1,28		
	I	I-CdR_EST	230	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0790%	4,38		
	J	J-CdR_EST	420	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1415%	7,84		
	K	K-CdR_EST	590	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1974%	10,94		
	L	L-CdR_EST	780	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,2599%	14,41		
	M	M-CdR_EST	940	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,3126%	17,32		
	N	N-CdR_EST	1465	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,4853%	26,90		
<b>CADUTA DI TENSIONE MASSIMA</b>										<b>0,4853%</b>	<b>81,8</b>		

– **Linea Dorsale:**

Per la realizzazione dell'elettrodotto tra le Cabina di Raccolta EST ed Ovest, e la Cabina di Media Tensione in SottoStazione Produttore, e verrà utilizzato un cavo ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, di sezione nominale pari a 630mm<sup>2</sup> in formazione 4x (3x1x630 mm<sup>2</sup>); ciascuna delle 4 terne sarà attestata su uno scomparto di protezione linea dedicato, con le denominazioni **Arrivo Dorsale-E1, Arrivo Dorsale-E2, Arrivo Dorsale-O1, Arrivo Dorsale-O2.**

SOTTOIMPIANTO						CARATTERISTICHE SETTORI			CARATTERISTICHE DEL CAVO	CADUTA DI TENSIONE max	PLOSS			
	Subcampo	Denom. TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	SEZIONE	NUMERO TERNE	Pot. Nominale [kWp]	Pot. Reale massima [kWp]	CORRENTE Reale Massima	CORRENTE Linea (max)			PORTATA	ΔU% (max)	PLOSS
								l <sub>SI</sub>	l <sub>L</sub>	l <sub>Z</sub>	[%]	[kW]		
								[A]	[A]	[A]				
<b>DORSALE est</b>		CdR_EST-SSE	14300	630	2	38528	36.079	724,13	362,07	490,90	1,97%	358,5		
<b>DORSALE Ovest</b>		CdR_Ovest-SSE	14300	630	2	38528	36.079	724,13	362,07	490,90	1,97%	358,5		
					<b>Tot</b>	<b>77056</b>	<b>72.158</b>	<b>perdite totali massime</b>				<b>855,3</b>		
<b>TOTALI max</b>										<b>2,45%</b>	<b>855,3</b>			

Le correnti **massime** caricate sulle singole linee sono quelle indicate nelle tabelle che precedono.



Per ciò che concerne la linea dorsale, si terrà conto della corrente di esercizio in condizioni di funzionamento standard, e pertanto con limitazione di potenza in immissione pari a 63MVA.

In tali condizioni le correnti caricate sulla linea dorsale diventano:

SOTTOIMPIANTO	Subcampo	Denom. TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA [m]	SEZIONE [mm²]	NUMERO TERNE	CARATTERISTICHE SETTORI			CARATTERISTICHE DEL CAVO	CADUTA DI TENSIONE max	PLOSS [kW]
						Pot. Reale massima [kWp]	CORRENTE Reale Massima I <sub>SI</sub> [A]	CORRENTE Linea (max) I <sub>L</sub> [A]	PORTATA I <sub>Z</sub> [A]		
<b>DORSALE est</b>		CdR_EST-SSE	14300	630	2	31.533	632,89	316,45	490,90	1,72%	273,8
<b>DORSALE Ovest</b>		CdR_Ovest-SSE	14300	630	2	31.533	632,89	316,45	490,90	1,72%	273,8
					<b>Tot</b>	<b>63.066</b>			<b>perdite totali massime</b>		<b>686,0</b>
									<b>TOTALI max</b>	<b>2,21%</b>	<b>686,0</b>



## 5. QUADRO NORMATIVO.

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici fa riferimento alla legge n°36 del 22 Febbraio 2001 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003.

Nel DPCM 8 Luglio 2003, pubblicato su G.U. n. 200 del 29/08/2003, "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", vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

- i. "Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di **100  $\mu\text{T}$**  per l'induzione magnetica e **5kV/m** per il campo elettrico intesi come valori efficaci" [art. 3, comma 1];
- ii. "A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di **10  $\mu\text{T}$** , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio." [art. 3, comma 2];
- iii. "Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di **3  $\mu\text{T}$**  per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio". [art. 4].

Le disposizioni del DPCM sono sintetizzate nella tabella che segue.

Limiti previsti	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO E (kV/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO B ( $\mu\text{T}$ )
Limite di esposizione	5	100
Valore di attenzione (24 ore di esposizione)	-	10
Obiettivo di qualità (progettazione nuovi elettrodotti)	-	3

**Tabella 1** Limiti di esposizione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003.



Con il Decreto del 29 maggio 2008 (G.U. n. 153 del 2 Luglio 2008 e Supplemento Ordinario n. 160 alla G.U. 5 Luglio n. 156) *“Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell’induzione magnetica”*, si stabilivano le metodologie di misura dell’induzione magnetica secondo la norma CEI 211-6 del 2001-01 e s.m.i., in particolare prevedendo che *“Nel caso di campo magnetico uniforme nello spazio, tipicamente quello generato da linee elettriche aeree, per una accurata caratterizzazione possono essere sufficienti rilievi ad un’altezza compresa tra 100 e 150cm dal piano di calpestio; nel caso di campo fortemente non omogeneo, tipicamente quello generato dalle cabine elettriche, dovrà essere eseguita una serie di rilievi anche a quote differenti”*.

Per quanto riguarda le metodologie di progettazione delle linee elettriche si fa riferimento alla Norma CEI 11-17; V1 Fascicolo 11559 - Anno 2011 **“Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”**.

Poiché la relazione si riferisce unicamente all’esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici e pertanto non prende in considerazione l’esposizione dei lavoratori, conseguentemente non sono valutati i rischi di cui al DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81 (Gazzetta Ufficiale n. 101, 30 aprile 2008, S.O. n. 108/L) **“Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”**.

Infine, in questa sede, si richiamano le principali Norme CEI:

- CEI 211-7 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all’esposizione umana”;
- 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;
- CEI 106-12 “Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/bT”.

In particolare, per quanto riguarda il calcolo dell’induzione magnetica e la determinazione delle fasce si è tenuto conto delle indicazioni tecniche previste nel decreto del 29 maggio 2008 e nelle Norme CEI 106-11 e CEI 106-12 nelle quali viene ripreso il modello di calcolo normalizzato della Norma CEI 211-4 e vengono proposte, in aggiunta, delle formule analitiche approssimate che permettono il calcolo immediato dell’induzione magnetica ad una data di stanza dal centro geometrico della linea elettrica.

## 6. GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI.

Ogni apparecchiatura che produce o che viene attraversata da una corrente elettrica (dinamo, cavi elettrici, elettrodomestici, etc.) è caratterizzata da un *campo elettromagnetico*. Il campo elettromagnetico presente in un dato punto dello spazio è definito da due vettori: il *campo elettrico* e l'*induzione magnetica*. Il primo, misurato in V/m, dipende dall'intensità e voltaggio della corrente, mentre l'induzione magnetica – che si misura in  $\mu\text{T}$  - dipende dalla permeabilità magnetica del mezzo. Il rapporto tra l'induzione magnetica e la permeabilità del mezzo individua il *campo magnetico*.

Le grandezze caratterizzanti il campo elettrico ed il campo magnetico sono in generale intercorrelate, fatta eccezione per i campi a frequenze molto basse, per le quali il campo elettrico ed il campo magnetico possono essere considerati indipendenti.

In generale le correlazioni tra campo elettrico e campo magnetico sono assai complesse, dipendono dalle caratteristiche della sorgente, dal mezzo di propagazione, dalla presenza di ostacoli nella propagazione, dalle caratteristiche del suolo e dalle frequenze in gioco.

La diffusione del campo elettromagnetico nello spazio avviene nello stesso modo in tutte le direzioni; la diffusione può essere comunque alterata dalla presenza di ostacoli che, a seconda della loro natura, inducono sul campo elettromagnetico riflessioni, rifrazioni, diffusi, assorbimento, ecc. La diffusione del campo elettromagnetico può essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico.

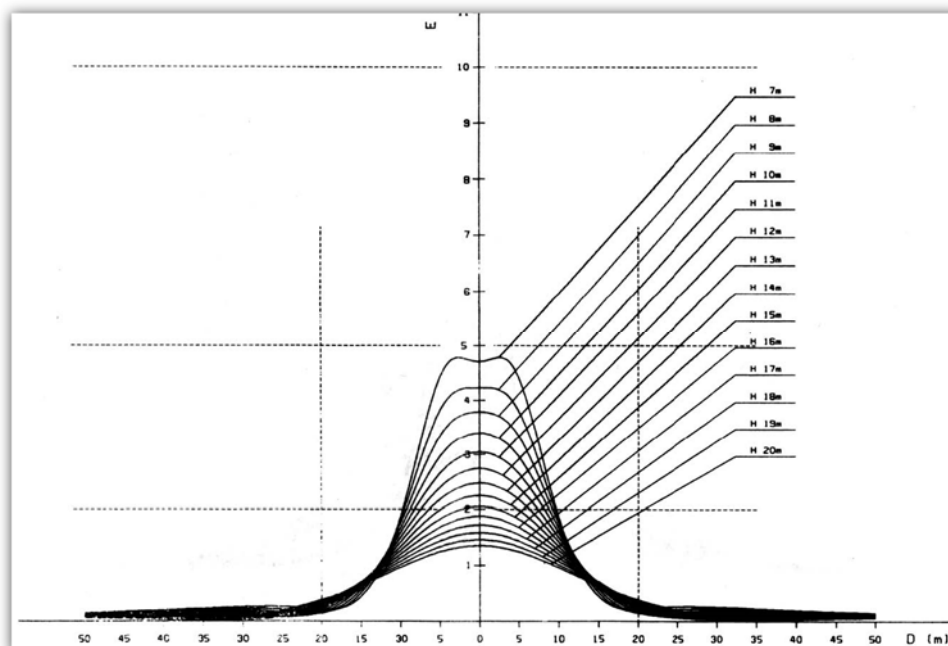


Fig. 3. Andamento tipico del campo di induzione magnetica.



Nel presente documento si esaminano le apparecchiature e le infrastrutture necessarie alla realizzazione del progetto proposto, con particolare riguardo alla generazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza.

Tutte le componenti del progetto operano, infatti, alla frequenza di 50 Hz, coincidente con la frequenza di esercizio della rete di distribuzione elettrica nazionale.

## 7. CAMPO ELETTRICO

Tutti i cavi interrati sono schermati nei riguardi del campo elettrico, che pertanto risulta pressoché nullo in ogni punto circostante all'impianto.

## 8. CAMPO MAGNETICO

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

- Distanza dalle sorgenti (conduttori);
- Intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- Presenza di sorgenti compensatrici;
- 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 (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

I valori di campo magnetico, risultano notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi saranno posti a circa 1,35 m di profondità e generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità del campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza. Tra gli svantaggi sono da considerare i problemi di perdita dell'energia legati alla potenza reattiva vista anche la lunghezza del cavo MT di collegamento tra il parco fotovoltaico e la Sottostazione Produttore. Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.

## 9. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI MAGNETICI.

Per il calcolo del campo di induzione magnetica deve applicarsi la prima formula di Laplace, riferentesi ad un circuito generico filiforme percorso da una corrente  $i$  (Fig.4):

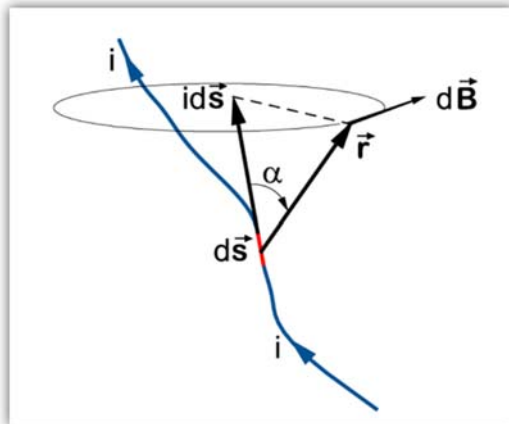


Fig. 4. Schema di campo magnetico

$$d\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} i \, d\mathbf{s} \times \mathbf{r} \quad (1),$$

laddove:

- $i$  è il modulo della corrente che circola nel conduttore;
- $d\mathbf{s}$  è il vettore infinitesimo tangente al conduttore;
- $\mathbf{r}$  è il vettore posizione del punto in cui si vuole determinare il campo;

Applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, valido anche per i fenomeni magnetici, si ottiene il valore del vettore  $\mathbf{B}$  integrando lungo l'intero circuito percorso dalla corrente  $i$ :

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} i \oint_C d\mathbf{s} \times \mathbf{r} \quad (2)$$

Nel caso particolare di filo rettilineo indefinito percorso da una corrente stazionaria  $i$  vale la Legge di Biot e Savart, che è un caso particolare della (1), sebbene dal punto di vista storico sia stato ricavato sperimentalmente prima della formulazione di Laplace:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mathbf{s} \times \mathbf{r}}{r^2} i \quad (3)$$

Per il calcolo operativo ci si è avvalsi di un programma di calcolo della NOFIELD s.r.l., il MAGIC (*Magnetic Induction Calculation*) Ver. 1.02.

La necessità della valutazione della DPA (Distanza di prima approssimazione) secondo quanto richiesto dal decreto 29/05/2008, in cui è stata approvata la metodologia di calcolo per la procedura di misura e valutazione dell'induzione magnetica generata da elettrodotti nel rispetto dei principi della Legge Quadro 36/01 e del D.P.C.M. 8 Luglio 2003, richiede spesso di tener conto della complessità delle sorgenti di campo magnetico in esame, della loro tridimensionalità e dell'effetto prodotto dalla combinazione delle stesse.

MAGIC è un software per la valutazione dei livelli di induzione magnetica generati dalle più ricorrenti sorgenti di campo magnetico ai fini della valutazione di impatto ambientale e della determinazione delle fasce di rispetto.

## 10. CONFIGURAZIONI IMPIANTISTICHE DA ANALIZZARE.

In relazione a quanto analizzato e descritto al paragrafo precedente si è proceduto ad individuare le sezioni maggiormente critiche, ovvero quelle in cui le correnti complessive di esercizio possono ritenersi massime, per compiersi un'analisi previsionale del campo magnetico indotto.

L'analisi è stata compiuta sugli elettrodotti interrati che costituiscono le linee interne al Parco, che per la loro natura interna al sito produttivo non sono in zone frequentate da esseri umani in modo stabile.

La linea dorsale, esterna al campo fotovoltaico, per la sua posizione lungo strade esistenti e al di sotto di terreni agricoli potenzialmente frequentati dalla popolazione costituiscono invece fattore di potenziale rischio.

**L'indagine del campo magnetico generato all'interno e nelle immediate vicinanze delle cabine di trasformazione bT/MT e della SSE esula dagli scopi della presente relazione, trattandosi di siti interclusi alla libera circolazione e nei quali il tempo di permanenza degli addetti ai lavori è tale da non costituire significativo rischio per la salute, ma se ne riporta tuttavia uno studio in condizioni di corrente limite sopportabile dagli impianti.**

## 11. TIPOLOGIE DI POSA

Nelle immagini che seguono sono rappresentate le tipologie di posa tipiche utilizzate nelle varie sezioni del Parco e lungo la Dorsale:

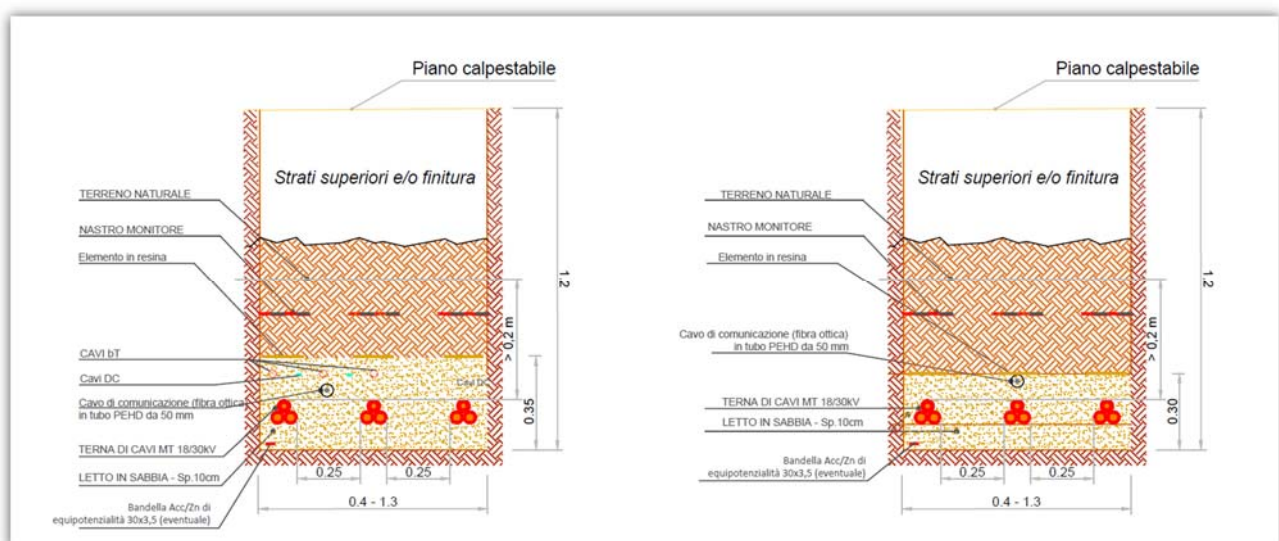


Fig. 5. Particolare: tipico scavo MT per 1-4 terne MT; a sinistra, con presenza di cavi bT.



## 12. MODALITÀ DI INDAGINE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PREVISIONALE

L'esplorazione previsionale del campo magnetico generato dalle configurazioni impiantistiche tipo descritte al par. 5.1 è stata effettuata lungo una linea di esplorazione rettilinea, della lunghezza di 10m, trasversale rispetto alla terne e situata ad una quota di 1,5m al di sopra del piano di campagna, secondo quanto rappresentato in Fig.6:

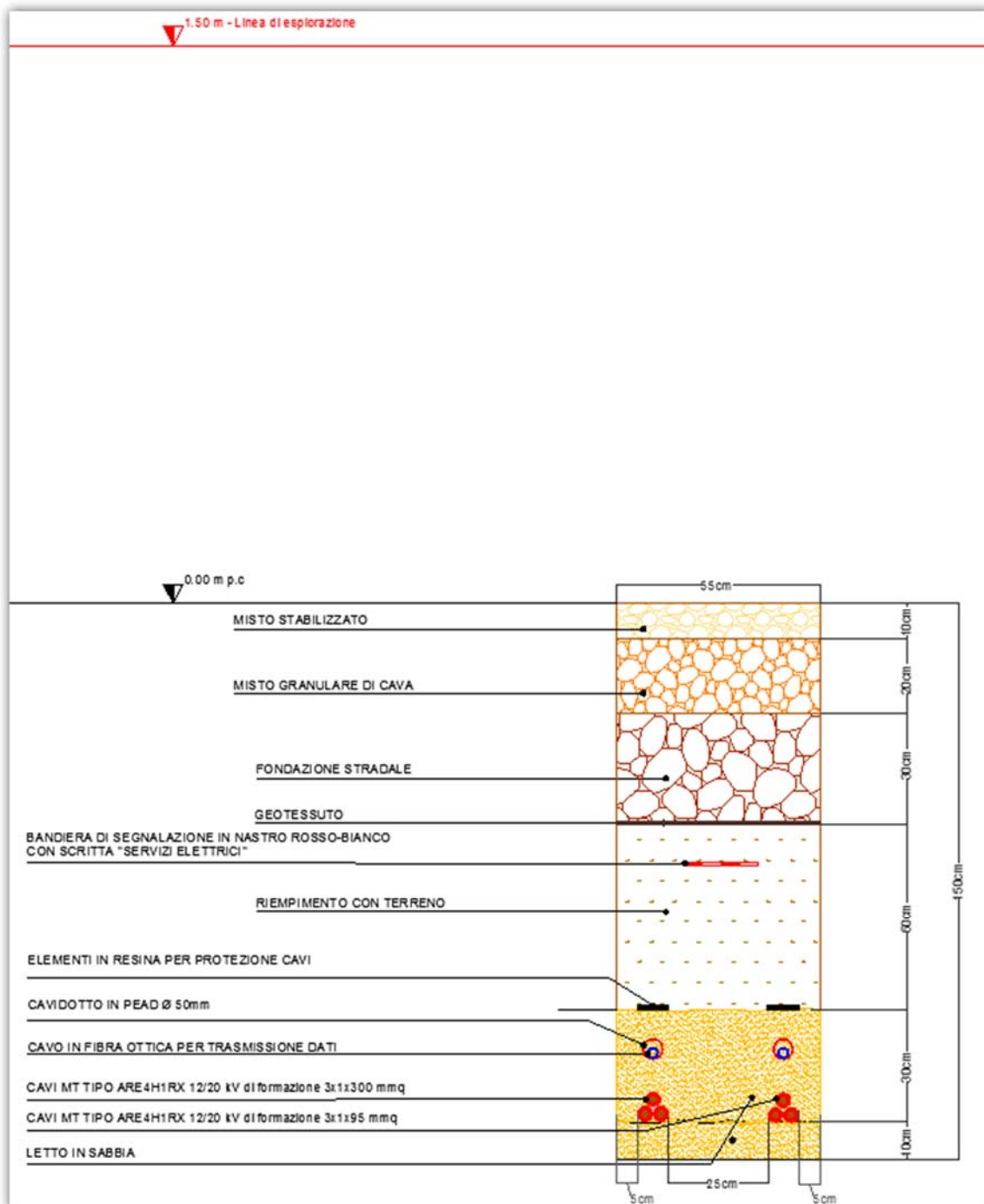


Fig. 6. Rappresentazione della Linea di Esplorazione del campo magnetico rispetto ad un elettrodotto interrato tipo.

### 13. CASI DI ANALISI PREVISIONALE MT

Di seguito si riporta una tabella con la costituzione dei tratti di linee MT, la loro lunghezza e le rispettive correnti di linea, riferite ad una tensione nominale pari a 30kV:

SOTTOIMPIANTO	Subcampo	Denom. TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA A	SEZIONE	NUMERO TERNE	CARATTERISTICHE SETTORI			CARATTERISTI CHE DEL CAVO	CADUTA DI TENSIONE max	PLOSS	
						Pot. Nominale [kWp]	Pot. Reale massima [kWp]	CORRENTE Linea (max)	PORTATA			
								l <sub>L</sub>				l <sub>Z</sub>
								[A]				
									[%]	[kW]		
OVEST	A	A-CdR_OVEST	15	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0082%	0,46	
	B	B-CdR_OVEST	60	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0230%	1,28	
	C	C-CdR_OVEST	230	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0790%	4,38	
	D	D-CdR_OVEST	420	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1415%	7,84	
	E	E-CdR_OVEST	590	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1974%	10,94	
	F	F-CdR_OVEST	780	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,2599%	14,41	
	G	G-CdR_OVEST	940	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,3126%	17,32	
<b>CADUTA DI TENSIONE MASSIMA</b>									<b>0,3126%</b>	<b>56,6</b>		
EST	H	H-CdR_EST	60	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0230%	1,28	
	I	I-CdR_EST	230	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,0790%	4,38	
	J	J-CdR_EST	420	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1415%	7,84	
	K	K-CdR_EST	590	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,1974%	10,94	
	L	L-CdR_EST	780	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,2599%	14,41	
	M	M-CdR_EST	940	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,3126%	17,32	
	N	N-CdR_EST	1465	70	1	5504	5154,2	103,45	152,25	0,4853%	26,90	
<b>CADUTA DI TENSIONE MASSIMA</b>									<b>0,4853%</b>	<b>81,8</b>		
SOTTOIMPIANTO	Subcampo	Denom. TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	SEZIONE	NUMERO TERNE	CARATTERISTICHE SETTORI			CARATTERISTI CHE DEL CAVO	CADUTA DI TENSIONE max	PLOSS	
						Pot. Reale massima [kWp]	CORRENTE Reale Massima	CORRENTE Linea (max)	PORTATA			
							l <sub>S</sub>	l <sub>L</sub>				
							[A]					[A]
									[A]	ΔU% (max)	[kW]	
										[%]		
<b>DORSALE est</b>		CdR_EST-SSE	14300	630	2	31.533	632,89	316,45	490,90	1,72%	273,8	
<b>DORSALE Ovest</b>		CdR_Ovest-SSE	14300	630	2	31.533	632,89	316,45	490,90	1,72%	273,8	
					<b>Tot</b>	<b>63.066</b>	<b>perdite totali massime</b>				<b>686,0</b>	
									<b>TOTALI max</b>	<b>2,21%</b>	<b>686,0</b>	

Come evidente la configurazione con le massime correnti, e con il massimo numero di terne affiancate, è quella dell'elettrodotto dorsale. Pertanto si indagherà il campo magnetico di tale configurazione, essendo quella più critica.

In definitiva la configurazione di impianto da analizzare è la seguente:



- **CASO 1:** Trincea ospitante quattro terne di cavi MT disposti a trifoglio in formazione  $4 \times [3 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2]$ , per tutta la lunghezza dell'elettrodotto dorsale:
  - CdR EST- SSE: ciascuna delle due terne caricata con circa 320A;
  - CdR OVEST- SSE: ciascuna delle due terne caricata con circa 320A;

### CASO 1

Di seguito è riportato lo studio per la configurazione con quattro terne a trifoglio posate ad 1,25m al disotto del piano campagna, tutte di sezione pari a  $630\text{mm}^2$ , e caricate tutte da una corrente massima di 320 A:

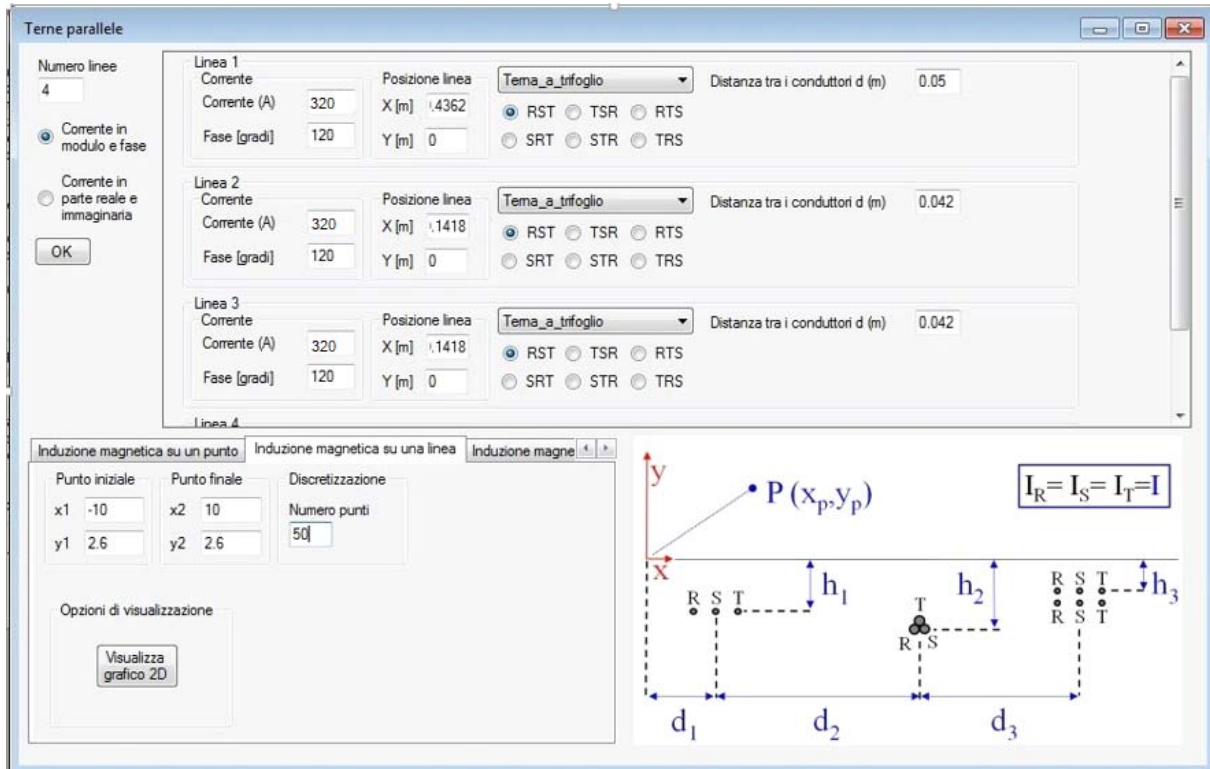


Fig. 7. Parametri inseriti nel Software per il calcolo dell'induzione magnetica rispetto ad una linea di esplorazione

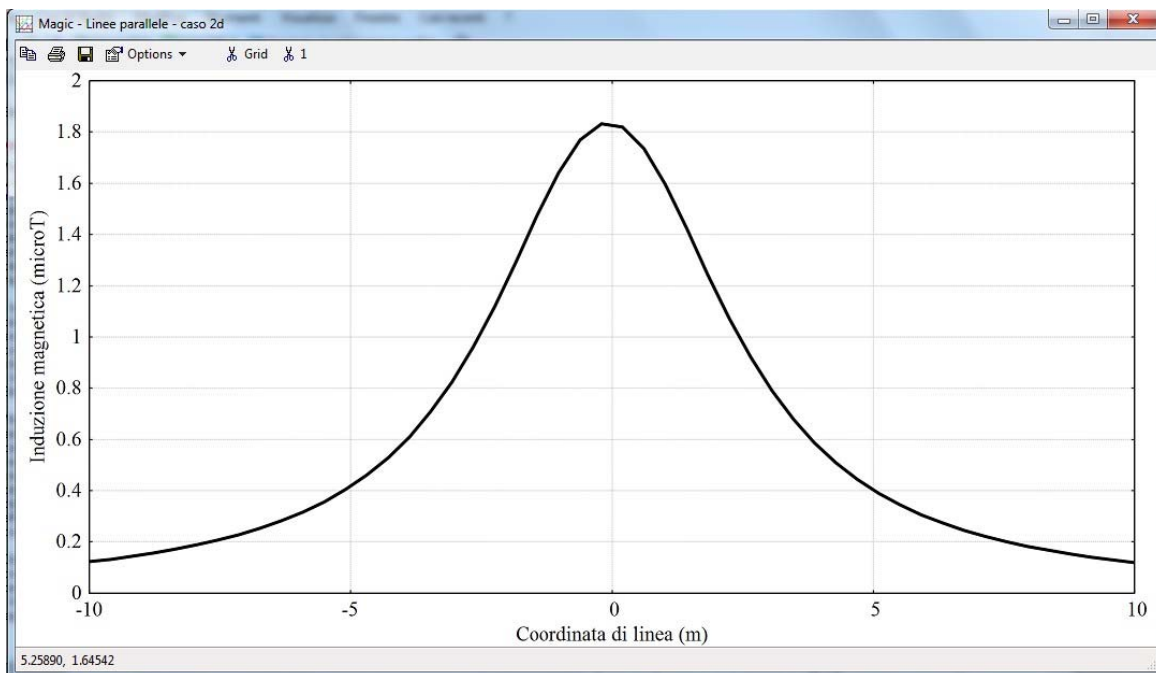


Fig. 8. Rappresentazione bidimensionale dei risultati il cui riferimento di calcolo dell'induzione magnetica è a quota pari alla linea di esplorazione (Fig. 8)

## 14. CASI DI ANALISI PREVISIONALE AT

Le apparecchiature previste e le geometrie dell'impianto di AT sono analoghe a quelle di altri impianti già in esercizio, dove sono state effettuate verifiche sperimentali dei campi elettromagnetici al suolo nelle diverse condizioni di esercizio, con particolare attenzione alle zone di transito del personale (strade interne e fabbricati). Le configurazioni che si andranno ad analizzare sono le seguenti:

- **CASO 2:** Linee aeree AT, interne alla Sottostazione Produttore, costituite dai conduttori rigidi in alluminio;
- **CASO 3:** Trincea ospitante linea di cavi AT disposti a trifoglio in formazione 3x1x1600 mm<sup>2</sup>, per la connessione tra SSE e Stallo in area TERNA.

### **CASO 2: LINEE AEREE IN ALTA TENSIONE**

I valori di campo elettrico al suolo risultano massimi in corrispondenza delle apparecchiature AT a 150 kV con valori attorno a qualche kV/m, ma si riducono a meno di 1 kV/m a ca. già a 10 m di distanza da queste ultime.

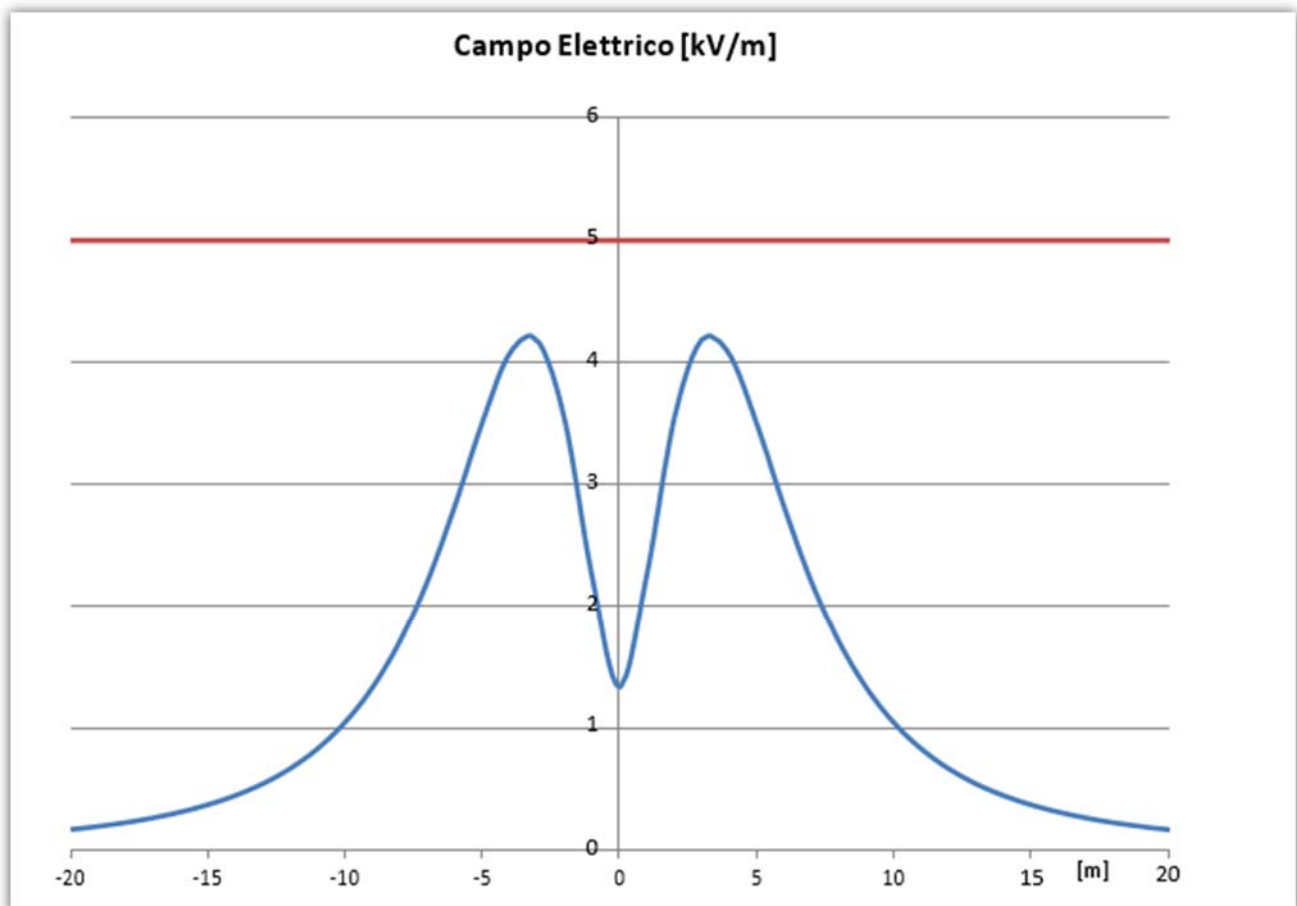


Fig. 9. Campo elettrico al suolo generato dal sistema di sbarre a 150 kV

I valori di campo magnetico al suolo sono massimi nelle stesse zone di cui sopra ed in corrispondenza delle via cavi, ma variano in funzione delle correnti in gioco: con correnti sulle linee pari al valore di portata massima in esercizio normale delle linee si hanno valori pari a qualche decina di microtesla, che si riducono a meno di  $3 \mu\text{T}$  a 4 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea.

I valori in corrispondenza della recinzione della stazione sono notevolmente ridotti ed ampiamente sotto i limiti di legge.

A titolo orientativo nel seguito si riporta il profilo di campo magnetico dovuto ad un sistema trifase con caratteristiche e disposizione dei conduttori analoghe a quelle dei condotti sbarre presenti in stazione, considerando una corrente massima di 2000 A pari alla corrente massima sopportabile dalle sbarre stesse. Nella seguente figura è riportata la geometria di un sistema trifase con disposizione dei conduttori assimilabile a quella delle sbarre della stazione d'utenza.

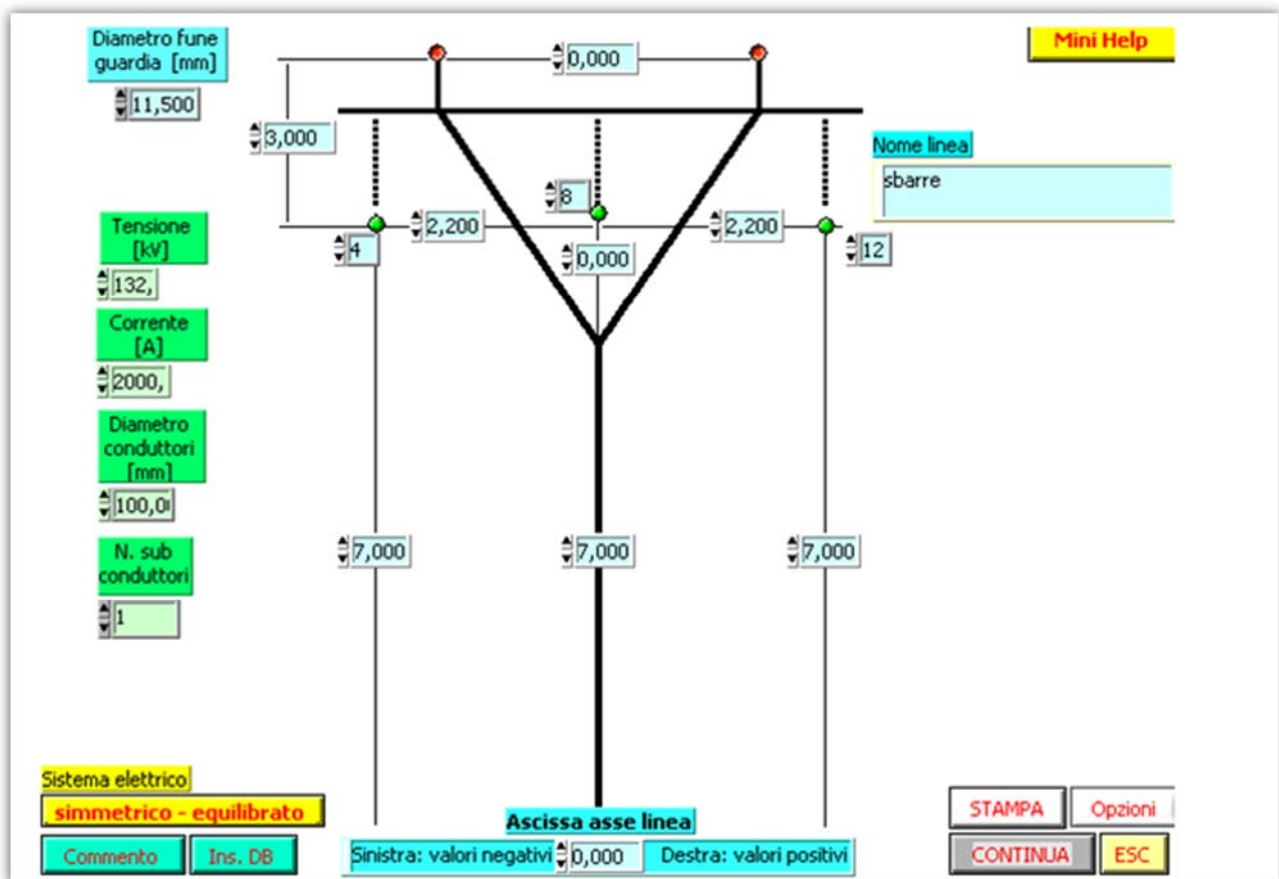


Fig. 10. Linea AT con disposizione conduttori in piano assimilabile ad un sistema semplice sbarra a 132/150 kV

Con conduttori percorsi da una terna trifase equilibrata di correnti di 2000 A (corrente max sopportabile dalle sbarre), estremamente cautelativa rispetto alla max corrente reale, si ha un andamento di campo magnetico come riportato nella figura seguente.

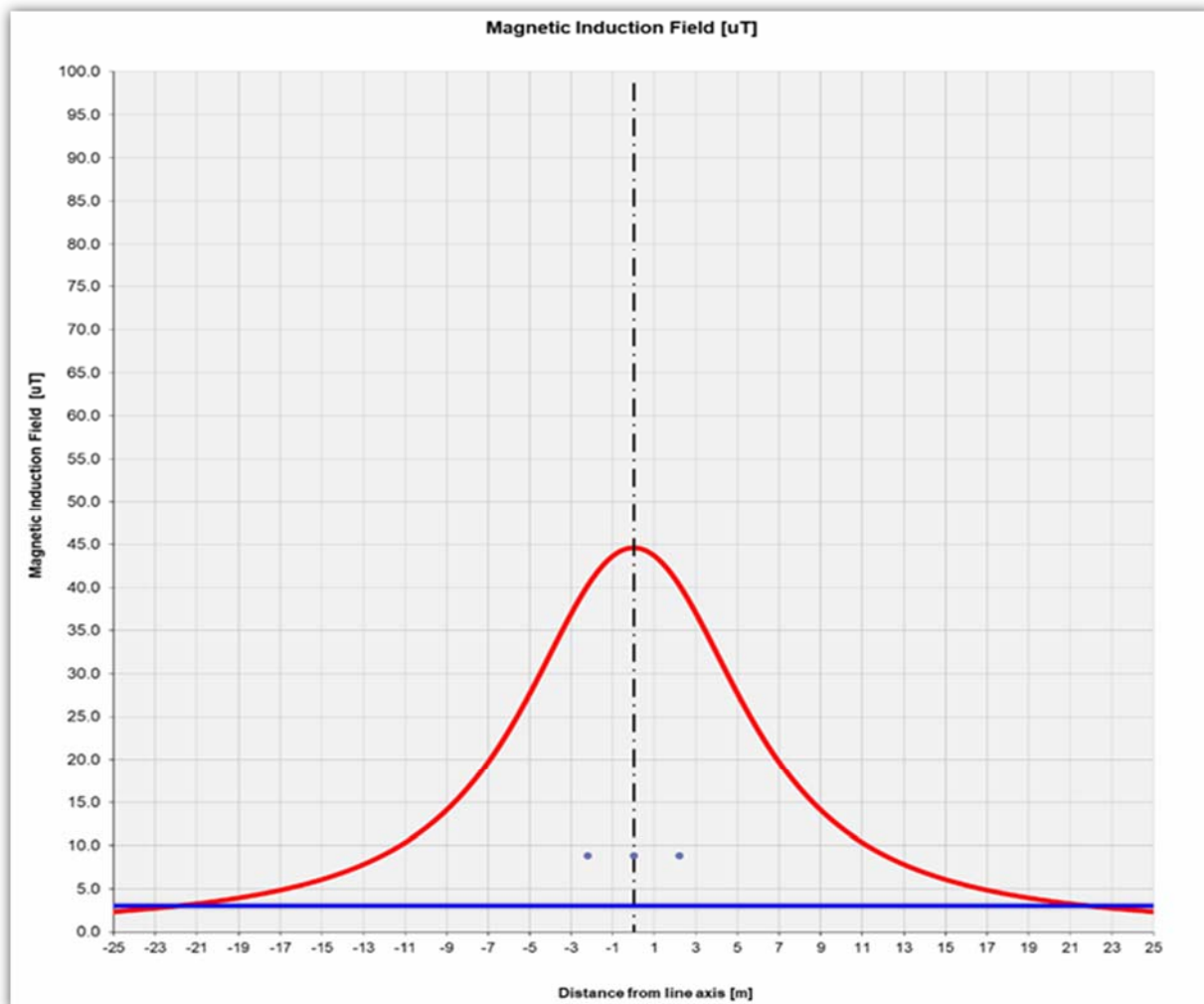


Fig. 11. Andamento del campo di induzione magnetica per  $I = 2000 \text{ A}$

Si può notare che ad una distanza di circa 22 m dall'asse del sistema di sbarre l'induzione magnetica è inferiore al valore di  $3 \mu\text{T}$ .

Data la localizzazione della stazione, che si trova nelle vicinanze della SE di Terna, non si rilevano recettori sensibili a distanze inferiori a quella sopra calcolata.

### CASO 3: LINEE ELETTRICHE IN CORRENTE ALTERNATA IN ALTA TENSIONE

Per questo studio previsionale, in previsione di una possibile condivisione di stallo con altri produttori, si è considerato una connessione a 150 kV costituita da conduttori in alluminio compatto di sezione indicativa pari a circa  $1600 \text{ mm}^2$  tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, guaina in alluminio longitudinalmente saldata, rivestimento in polietilene con grafitatura esterna.



#### DATI TECNICI DEL CAVO

Tipo di conduttore	Unipolare in XLPE (polietilene reticolato)
Sezione	1600 mm <sup>2</sup>
Materiale del conduttore	Corde di alluminio compatta
Schermo semiconduttore interno	A base di polietilene drogato
Materiale isolamento	Polietilene reticolato
Schermo semiconduttore esterno (sull'isolante)	A base di polietilene drogato
Materiale della guaina metallica	Rame corrugato
Materiale della blindatura in guaina anticorrosiva	Polietilene, con grafite refrigerante (opzionale)
Materiale della guaina esterna	Polietilene
Tensione di isolamento	170 kV

Tali dati potranno subire adattamenti comunque non essenziali dovuti alla successiva fase di progettazione esecutiva e di cantierizzazione, anche in funzione delle soluzioni tecnologiche adottate dai fornitori e/o appaltatori.

#### DATI CONDIZIONI DI POSA E DI INSTALLAZIONE

Posa	Interrata in letto di sabbia a bassa resistività termica
Messa a terra degli schermi	"cross bonding" o "single point-bonding"
Profondità di posa del cavo	Minimo 1,60 m
Formazione	Una terna a Trifoglio o in Piano
Tipologia di riempimento	Con sabbia a bassa resistività termica o letto di cemento magro h 0,50 m
Profondità del riempimento	Minimo 1,10 m
Copertura con piastre di protezione in C.A. (solo per riempimento con sabbia)	spessore minimo 5 cm
Tipologia di riempimento fino a piano terra	Terra di riporto adeguatamente selezionata
Posa di Nastro Monitore in PVC – profondità	1,00 m circa

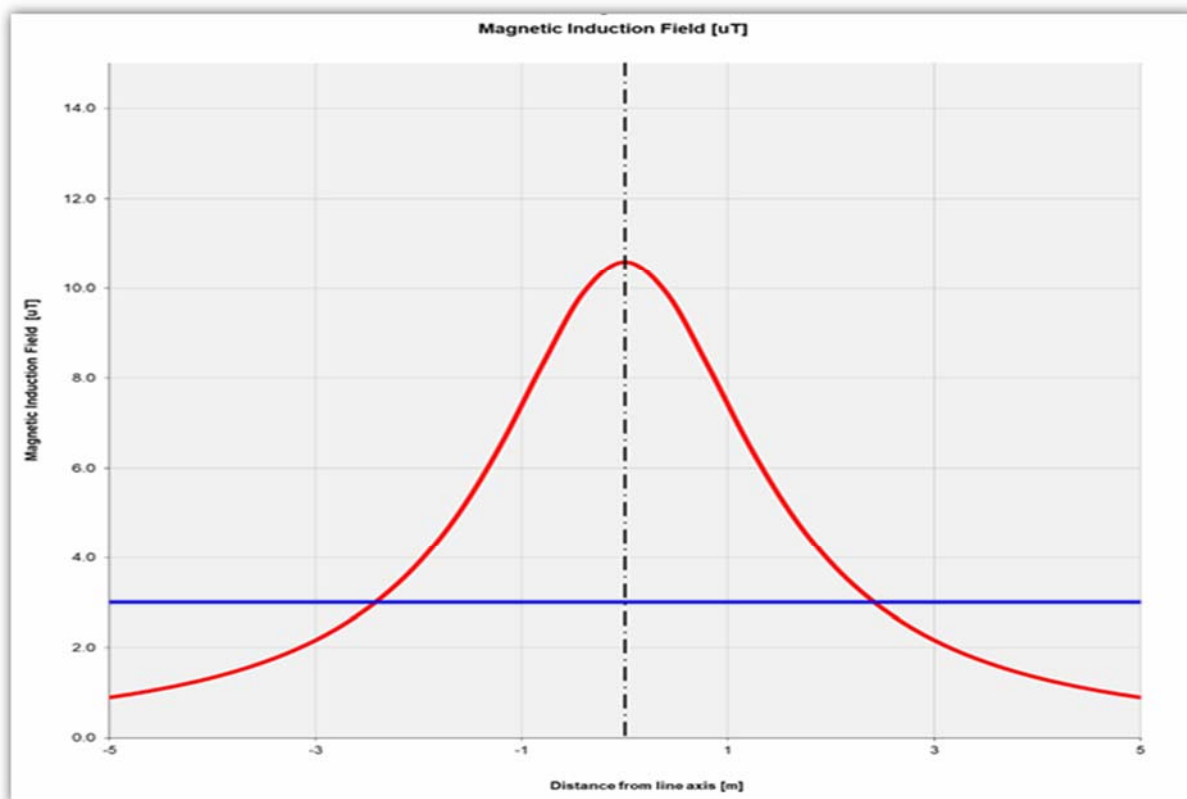
Data la brevità del collegamento, pari a circa 260m, non si prevede l'esecuzione di giunti unipolari.



Di seguito viene esposto il grafico dell'andamento dell'induzione magnetica rispetto all'asse dell'elettrodotto.

Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede la posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,6 m, con un valore di corrente pari a 1000 A (massimo carico sostenibile dal conduttore), dove la configurazione dell'elettrodotto è quella in assenza di schermature, con il campo magnetico calcolato al suolo.

Tale corrente di 1000A è cautelativamente superiore a quella massima che si avrebbe nel caso di saturazione dello Stallo Terna, pari a 200MW corrispondenti a circa 750A.



**Fig. 12. Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT**

Il limite di 3  $\mu$ T si raggiunge, nel caso peggiore, ad una distanza dall'asse linea di circa 2,5 m.

Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui intorno ad esso non vi sono ricettori sensibili (zone in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) per distanze molto più elevate di quelle calcolate.

Non è rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo



## 15. CONCLUSIONI.

Come evidente dai grafici sopra riportati, in tutti i casi indagati il campo di induzione magnetica, riferita agli elettrodotti MT dorsali, si mantiene ben al di sotto del limite dei  $3\mu\text{T}$  dell'obiettivo di qualità descritto al par.2.

Nel caso dell'elettrodotto AT, caricato cautelativamente alla massima corrente ammissibile dal cavo, il limite di  $3\mu\text{T}$  si supera solo in una fascia di circa 5m, a livello del suolo, lungo il percorso del cavidotto che, come detto, sarà situato in aree di competenza Terna e Produttori e pertanto non soggette a permanenza prolungata di esseri umani.

Di seguito si riportano i valori dell'induzione magnetica previsionale nell'unica situazione significativa analizzata (elettrodotto dorsale lungo strade provinciali), poiché gli altri siti (parco Fotovoltaico, Sottostazione Produttore, Area TERNA) sono **interclusi alla libera circolazione** (Tab.2):

Casi di Studio	Induzione Magnetica ( $\mu\text{T}$ )
Caso 1 – Scavo a 4 Terne: formazione 3x1x630mmq	<2

Tab.2: Valori calcolati dell'induzione magnetica

Come si evince dalla suddetta tabella, nella configurazione impiantistica analizzata potenzialmente critica il valore dell'induzione magnetica è inferiore al limite dell'attuale previsione normativa di  $3\mu\text{T}$ .

Pertanto possiamo concludere che tutte le configurazioni impiantistiche e di conseguenza l'intero impianto è tale da rispettare **gli obiettivi di qualità** di cui al DPCM 8 luglio 2003.

San Severo, Ottobre 2021

STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA

Ing. MEZZINA Antonio

