



REGIONE PUGLIA



COMUNE di FOGGIA







PROVINCIA di FOGGIA



COMUNE di MANFREDONIA



Proponente	 <p>OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L. Sede: Rotonda Giuseppe Antonio Torri, n. 9 - 40127 Bologna (BO) Pec: opdenergy.tavoliere2@legalmail.it P.IVA:12206080019</p>				
Progettazione Generale Elettrica e Coordinamento	 <p>STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128 71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072 Fax 0882.243681 e-mail: info@studiomezzina.net</p>	Studio Agronomico	<p>Studio Tecnico Agrario Dott. Agr. Marcello Martino Viale Europa, 42 - 71122 Foggia Tel./Fax 0881.632008 Cell. 337.938268 E-Mail: marcello.martino@tiscali.it</p>		
Studio Paesaggistico e Ambientale	 <p>VEGA sas LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING <small>Via dell'Art. 44 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324 mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org</small></p> <p>Arch. Antonio Demaio Tel. 0881.756251 Fax 1784412324 E-Mail: sit.vega@gmail.com</p>	Studio Geologico e Geotecnico	<p>Dott. Nazario Di Lella Tel./Fax 0882.991704 cell. 328 3250902 E-Mail: geol.dilella@gmail.com</p>		
Studio Acustico	<p>STUDIO FALCONE Ingegneria</p> <p>Ing. Antonio Falcone Tel. 0884.534378 Fax. 0884.534378 E-Mail: antonio.falcone@studiofalcone.eu</p>	Studio Strutturale	 <p>Ing. Tommaso Monaco Tel. 0885.429850 Fax 0885.090485 E-Mail: ing.tommaso@studiotecnicomonaco.it</p>		
Studio Archeologico	 <p>ARCHEO LOGICA srl</p> <p>Dott. Vincenzo Ficco Tel. 0881.750334 E-Mail: info@archeologicasrl.com</p>	Studio Naturalistico	<p>Dott. Forestale Luigi Lupo Corso Roma, 110 71121 Foggia E-Mail: luigilupo@libero.it</p>		
Studio Acustico	 <p>STUDIO PROGETTAZIONE ACUSTICA</p> <p>Arch. Marianna Denora Via Savona, 3 - 70022 Altamura (BA) Tel. Fax 080 3147468 Cell. 331 5600322 E-Mail: info@studioprogettazioneacustica.it</p>	Studio Idraulico	<p>Studio di Ingegneria Dott.sa Ing. Antonella Laura Giordano Viale degli Aviatori, 73 - 71121 Foggia (Fg) Tel./Fax 0881.070126 Cell. 346.6330966 E-Mail: lauragiordano.ing@gmail.com</p>		
Opera	<p>Progetto definitivo per la realizzazione dell'Impianto agro-fotovoltaico "TAVOLIERE 2" integrato con potenza di picco pari a 37,362MWp e potenza ai fini della connessione pari a 30MW sito nel comune di FOGGIA, alle località "Posta de Piede - Vigna Croce" nonché delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto nel Comune di Manfredonia (FG).</p>				
Oggetto	Folder: LE6F5X5_ Documentazione specialistica del progetto definitivo	Sez. B			
	Nome Elaborato: LE6F5X5_ DocumentazioneSpecialistica_02.pdf	Codice Elaborato: B02			
	Descrizione Elaborato: Valutazione previsionale dei campi elettromagnetici				
00	Novembre 2021	Emissione progetto definitivo	ing. M. Merlino	Ing. Mezzina	OPDE TAVOLIERE 2 s.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione
Formato:	A4	Scala: /	Codice Pratica LE6F5X5	Codice Pratica TERNA	201900197



PROPONENTE:

OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.

Sede Legale: Rotonda Giuseppe Antonio Torri, n. 9 – 40127 Bologna (BO)

PEC: opdenenergy.tavoliere2@legalmail.it

C.F. e P.IVA 12206080019

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "TAVOLIERE 2" INTEGRATO CON POTENZA DI PICCO PARI A 37,362MWP E POTENZA AI FINI DELLA CONNESSIONE PARI A 30 MW, SITO NEL COMUNE DI FOGGIA, ALLE LOCALITÀ "POSTA DE PIEDE – VIGNA CROCE", NONCHÉ DELLE OPERE CONNESSE E DELLE INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO NEL COMUNE DI MANFREDONIA (FG).

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA

VALUTAZIONE PREVISIONALE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Codice Pratica AU: LE6F5X5

Codice Pratica TERNA: 201900197



SOMMARIO

1.	PREMESSA E OGGETTO	3
2.	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PARCO FOTOVOLTAICO.....	4
3.	MODALITÀ DI CONNESSIONE ALLA RTN E UBICAZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE	7
4.	STRUTTURA E SCHEMA DELLE LINEE ELETTRICHE MT.....	8
	Struttura e schema delle linee elettriche MT.....	8
	Caratteristiche delle linee elettriche MT.....	8
5.	QUADRO NORMATIVO.....	14
6.	GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	17
7.	CAMPO ELETTRICO.....	18
8.	CAMPO MAGNETICO.....	18
9.	METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI MAGNETICI.....	18
10.	CONFIGURAZIONI IMPIANTISTICHE DA ANALIZZARE.....	20
11.	TIPOLOGIE DI POSA.....	20
12.	MODALITÀ DI INDAGINE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PREVISIONALE	22
13.	CASI DI ANALISI PREVISIONALE MT	23
	CASO 1	25
	CASO 2	26
	CASO 3	27
14.	CASI DI ANALISI PREVISIONALE AT	28
	CASO 4: linee aeree in alta tensione	28
	Caso 5: linee elettriche in corrente alternata in alta tensione	30
15.	CONCLUSIONI.....	33



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, nell'ambito della progettazione definitiva dell'impianto fotovoltaico che la società **OPDENERGY TAVOLIERE 2 S.R.L.** intende realizzare alle località "**POSTA DE PIEDE – VIGNA CROCE**", Comune di **FOGGIA** (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 **37,362 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 30,00MW nel punto di consegna.**

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 le sue linee e le caratteristiche generali.

La centrale fotovoltaica si svilupperà su un'area complessiva lorda di circa **60ha 68a 30ca**, corrispondenti alla superficie recintata 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 **51ha 95a 70ca** a cui corrisponde una densità di potenza pari a:

$$D = P / S = 37,362 / 51,957 = 0,71 \text{ MWp/Ha}$$

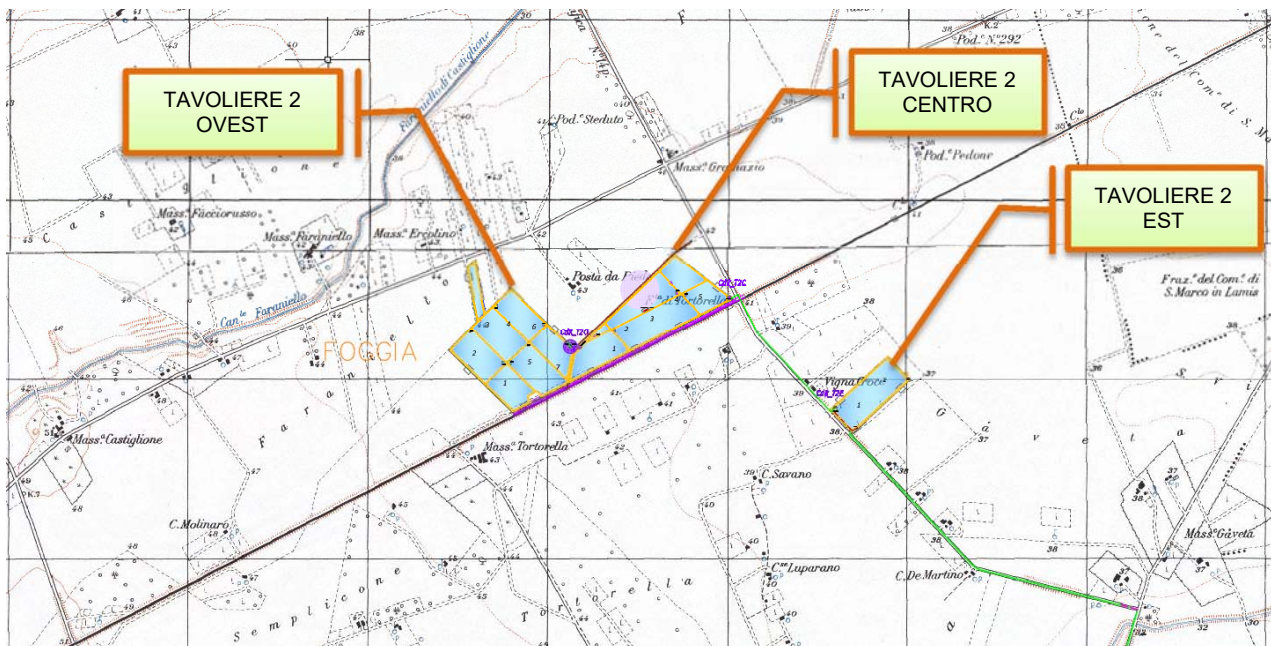


Fig. 1. Layout impianto con identificazione dei due Sotto Impianti OVEST, CENTRO e SUD, e tratto iniziale dell'elettrodotta dorsale (in VERDE) su I.G.M.

L'impianto Fotovoltaico sarà strutturato in 14 subcampi elettricamente indipendenti, raggruppati in due **SottoImpianti** planimetricamente distinti:

1. Il sottoimpianto OVEST, (nel seguito **T2_O**), della potenza di circa **18,466 MWp**;
2. Il sottoimpianto CENTRO, (nel seguito **T2_C**), della potenza di circa **13,758MWp**;
3. Il sottoimpianto EST, (nel seguito **T2_E**), della potenza di circa **5,139MWp**.

I vari subcampi dei due SottoImpianti sono strutturati, mediante elettrodotti interrati in MT, in gruppi (sottocampi) collegati in serie che fanno capo alla Cabina di Raccolta di ciascun Sottoimpianto (rispettivamente **CdR_T2O**, **CdR_T2C** e **CdR_T2E**). Nella Cabina di Raccolta Centro avviene il parallelo tra i



due sottoimpianti Ovest e centro; nella Cabina di Raccolta EST avviene il parallelo tra i tre SottoImpianti: la somma delle energie prodotte viene conferita in SSE tramite un apposito elettrodotto dorsale.

Per i dettagli costitutivi si rimanda alla Relazione Tecnica, limitandosi qui a fornire una descrizione sintetica.

Il sottoimpianto fotovoltaico “T2_O”, della potenza di **18,466 MWp**, sarà a sua volta costituito da 7 subcampi fotovoltaici.

In particolare 7 subcampi saranno raggruppati in 2 sottocampi fotovoltaici collegati in serie afferenti alla Cabina di Raccolta T2O:

- A. T2_A, costituito dalla serie dei subcampi T2_O{01, 04, 05, 06};
- B. T2_B, costituito dalla serie dei subcampi T2_O{02, 03, 07};

Da ciascuna delle CABINE MASTER si dipartirà un elettrodotto interno che si attesterà alle sbarre MT della **Cabina di Raccolta OVEST (CdR_T2O)**, dalla quale partiranno le 2 terne della dorsale interna “Ovest - Centro” verso la **Cabina di Raccolta CENTRO (CdR_T2C)** del Sottoimpianto CENTRO.

Il sottoimpianto fotovoltaico “T2_C”, della potenza di **13,758 MWp**, sarà a sua volta costituito da 5 subcampi fotovoltaici.

In particolare 5 subcampi saranno raggruppati in 2 sottocampi fotovoltaici collegati in serie afferenti alla Cabina di Raccolta T2C:

- C. T2_C, costituito dalla serie dei subcampi T2_C{01, 03, 04};
- D. T2_D, costituito dalla serie dei subcampi T2_C{02, 05};

Da ciascuna delle CABINE MASTER dipartirà un elettrodotto interno che si attesterà alle sbarre MT della **Cabina di Raccolta CENTRO (CdR_T2C)**, dalla quale, effettuato il parallelo con la CdR_OVEST, partiranno le 2 terne della dorsale esterna “Centro - Est” verso la **Cabina di Raccolta EST (CdR_T2E)** del Sottoimpianto EST.

Il sottoimpianto fotovoltaico “T2_E”, della potenza di **5,139 MWp**, sarà a sua volta costituito da 2 subcampi fotovoltaici.

In particolare i 2 subcampi collegati in serie e raggruppati in un unico sottocampo fotovoltaico nella Cabina di Raccolta T2E:

- E. T2_E, costituito dalla serie dei subcampi T2_E{01, 02};

Dalla CABINA MASTER si dipartirà un elettrodotto interno che si attesterà alle sbarre MT della **Cabina di Raccolta EST (CdR_T2E)**. Sui quadri MT della **Cabina di Raccolta EST (CdR_T2E)**, avverrà il parallelo con le



linee provenienti dalla **Cabina di Raccolta CENTRO (CdR_T2C)**. Dalla CdR_T2E partirà l'elettrodotto della dorsale esterna dell'impianto, verso la Sottostazione Produttore.

In definitiva l'impianto fotovoltaico, costituito dall'insieme dei due Sottosistemi NORD e SUD, sarà caratterizzato da:

- 1) 65.548 moduli fotovoltaici della potenza di 570Wp cadauno;
- 2) 336 quadri di stringa;
- 3) 2.341 stringhe da 28 moduli cadauna;
- 4) 14 cabine di conversione DC/AC e trasformazione bT/MT 0,8/30kV, con somma delle potenze nominali degli inverter pari a **35,00 MVA**, e somma delle potenze disponibili pari a **30MW**;
- 5) 3 Cabine di Raccolta;
- 6) 1 Cabina Locali tecnici bT;
- 7) 1 Locale Magazzino;
- 8) 5 sottocampi di potenza, rispettivamente, (T2_A) **10,566MWp**, (T2_B) **7,900Wp**, (T2_C) **8,267MWp**, (T2_D) **5,490MWp**, (T2_E) **5,139MWp** per una potenza di picco complessiva del generatore fotovoltaico pari a **37,362 MWp**: l'impianto sarà regolato in modo tale che la potenza nel punto di immissione **NON SIA MAI SUPERIORE A 30MW**.
- 9) 2 elettrodotti interni per la connessione tra le Cabine di Raccolta, di lunghezza complessivamente pari a circa 3.600 m.
- 10) 1 elettrodotto dorsale esterno per la connessione alla SSE, di lunghezza pari a circa 11.800m.
- 11) 1 sottostazione elettrica di Trasformazione AT/MT;
- 12) 1 sistema comune ad altri produttori per la condivisione dello stallo di connessione;
- 13) 1 elettrodotto interrato AT;
- 14) 1 nuovo stallo AT in area TERNA, per la connessione alla RTN;

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. "TAVOLIERE 2"	14	336	2.341	65.548	37,362	35,00	30	116,67%



3. MODALITÀ DI CONNESSIONE ALLA RTN E UBICAZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE

Ai fini della connessione alla RTN dell'impianto fotovoltaico di che trattasi, la società proponente [OPDENERGY TAVOLIÈRE 2 S.R.L.](#) ha richiesto e ottenuto da TERNA S.p.A. il preventivo di connessione Codice Pratica n. 201900197, inizialmente da 20MW, con successiva rimodulazione della potenza del 06.10.2020, con stesso codice pratica, a 30 MW.

Il preventivo di connessione prevede che l'impianto fotovoltaico sia collegato alla RTN su uno stallo della Stazione Elettrica (SE) 380/15kV RTN denominata "MANFREDONIA" già in esercizio e sita nel Comune di Manfredonia (FG), alla località "Macchiarotonda", tramite un collegamento, del tipo in antenna a 150kV, da realizzarsi sul doppio sistema di sbarre già esistente.

Inoltre il preventivo di connessione indicava la necessità che l'impianto di che trattasi dovesse condividere lo stallo nella SE-RTN di Manfredonia con altri produttori, come indicati nella preposta relazione della Connessione alla RTN.

Per questa necessità di condivisione dello stallo assegnato da TERNA ai fini della connessione alla RTN dei rispettivi impianti fotovoltaici la scrivente Società, unitamente alle altre interessate, ha raggiunto un accordo di condivisione che prevede che le rispettive sottostazioni si connettano ad un sistema di sbarre comuni a 150 kV a sua volta collegato allo stallo interno alla SE-RTN di Manfredonia. Quest'ultimo collegamento è stato previsto in cavo AT 87/150 kV, attestato da un lato su un nuovo stallo interno alla SE-RTN di Manfredonia e dall'altro ad uno stallo di ingresso/protezione che si attesta al predetto sistema di sbarre comuni.

La Sottostazione sarà collocata in un'area appositamente destinata all'allocazione delle Sotto-Stazioni Produttori che si attesteranno sulla esistente opera di Rete.

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.

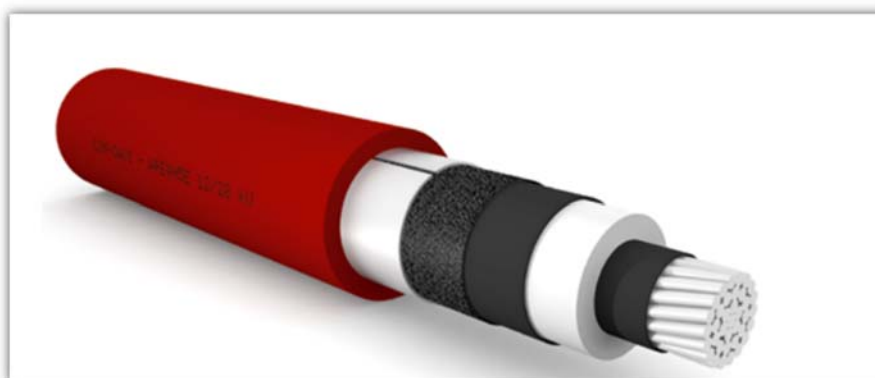


Fig. 2. Particolare degli strati costitutivi di un cavo MT ARE4H5E

Per la distribuzione in media tensione sono impiegate le seguenti formazioni di cavo per i sei sottocampi:

SOTTOIMPIANTO OVEST:

- **Sottocampo T2_A** - il sottocampo A raggrupperà 4 cabine, di cui 3 di tipo SLAVE ed 1 di tipo Master, nella quale avverrà la fine serie. Verrà pertanto realizzato un'entra-esce da ciascuna cabina per consentire la configurazione serie.
 - o Per la realizzazione dell'elettrodotto tra le cabine slave e la master verrà utilizzata una terna di cavi unipolari ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, in formazione a trifoglio, di sezione nominale UNIFICATA a 185mm², in modo da razionalizzare le fasi di costruzione e manutenzione, come da elaborato preposto, di cui si riporta qui uno stralcio:

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
		Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPA TI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]
				[m]	[m]	[mm ²]				
T2_A	T2_O1	serie	T2_O1-T2_O4	55	65	185	2	1	2633	2422,4
	T2_O4	serie	T2_O4-T2_O5	165	175	185	2	1	2617	4830,0
	T2_O5	serie	T2_O5-T2_O6	155	165	185	2	1	2649	7267,1
	T2_O6	serie	T2_O6-CdR T2O	195	205	185	2	1	2665	9718,9
	CdR_T2O								10564	9718,9

- o Dalla cabina Master-T2_O6 si dipartirà un elettrodotto dorsale interno (tratta T2_O6-CdR_T2O) che andrà ad attestarsi sulle sbarre MT di parallelo in Cabina di Raccolta OVEST.
- **Sottocampo T2_B** - il sottocampo B raggrupperà 3 cabine, di cui 3 di tipo SLAVE ed 1 di tipo Master, nella quale avverrà la fine serie. Verrà pertanto realizzato un'entra-esce da ciascuna cabina per consentire la configurazione serie.
 - o Per la realizzazione dell'elettrodotto tra le cabine slave e la master verrà utilizzata una terna di cavi unipolari ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, in formazione a trifoglio, di sezione nominale UNIFICATA a 185mm²:

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
		Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPA TI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]
				[m]	[m]	[mm ²]				
T2_B	T2_O2	serie	T2_O2-T2_O3	210	220	185	2	1	2633	2422,4
	T2_O3	serie	T2_O3-T2_O7	570	580	185	2	1	2633	4844,7
	T2_O7	serie	T2_O7-CdR T2O	25	35	185	2	1	2633	7267,1
	CdR_T2O				1375				7899	7267,1

- o Dalla cabina Master-T2_O7 si dipartirà un elettrodotto dorsale interno (tratta T2_O7-CdR_T2O) che andrà ad attestarsi sulle sbarre MT di parallelo in Cabina di Raccolta OVEST.



– **Dorsale OVEST-CENTRO:**

- Per la realizzazione dell'elettrodotto tra la Cabina di Raccolta OVEST e la Cabina di Raccolta CENTRO verrà utilizzato un cavo ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, di sezione nominale pari a 500mm² in formazione 2x[3x1x500 mm²];

SOTTOCAMPO	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
	Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPATI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]
			[m]	[m]	[mm ²]				
Linea CdR_T20-CdR_T24	CdR_A-CdR_B		1035	1055,7	500	2	2		16 986

SOTTOIMPIANTO CENTRO:

- **Sottocampo T2_C**- il sottocampo C raggrupperà 3 cabine, di cui 2 di tipo SLAVE ed 1 di tipo Master, nella quale avverrà la fine serie. Verrà pertanto realizzato un'entra-esce da ciascuna cabina per consentire la configurazione serie.
 - Per la realizzazione degli elettrodotti tra le cabine slave e la master, e la Cabina di Raccolta verranno utilizzate terne di cavi unipolari ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, in formazione a trifoglio, di sezione nominale UNIFICATA a 185mm²:

SOTTOCAMPO	CARATTERISTICHE LINEE								CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
	Subcampo	Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPA TI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]
				[m]	[m]	[mm ²]				
T2_C	T2_C1	serie	T2_C1-T2_C3	340	350	185	2	1	2745	2525,4
	T2_C3	serie	T2_C3-T2_C4	190	200	185	2	1	2745	5050,8
	T2_C4	serie	T2_C4-CdR_T2C	345	355	185	2	1	2777	7605,6
	CdR_T2C								8267	7605,6

- Dalla cabina Master-T2_C4 si dipartirà un elettrodotto dorsale interno (tratta T2_C4-CdR_T2C) che andrà ad attestarsi sulle sbarre MT di parallelo in Cabina di Raccolta CENTRO.
- **Sottocampo T2_D** - il sottocampo D raggrupperà 2 cabine, di cui 1 di tipo SLAVE ed 1 di tipo Master, nella quale avverrà la fine serie. Verrà pertanto realizzato un'entra-esce da ciascuna cabina per consentire la configurazione serie.
 - Per la realizzazione dell'elettrodotto tra le cabine slave e la master verrà utilizzata una terna di cavi unipolari ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, in formazione a trifoglio, di sezione nominale UNIFICATA a 185mm²:

SOTTOCAMPO	CARATTERISTICHE LINEE								CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
	Subcampo	Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPA TI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]
				[m]	[m]	[mm ²]				
T2_D	T2_C2	serie	T2_C2-T2_C5	445	455	185	2	1	2745	2525,4
	T2_C5	serie	T2_C5-CdR_T2C	315	325	185	2	1	2745	5050,8
	CdR_T2C			1635					5490	5050,8

- Dalla cabina Master-T2_C5 si dipartirà un elettrodotto dorsale interno (tratta T2_C5-CdR_T2C) che andrà ad attestarsi sulle sbarre MT di parallelo in Cabina di Raccolta CENTRO.
- **Dorsale CENTRO-EST:**

- Per la realizzazione dell'elettrodotto tra la Cabina di Raccolta CENTRO e la Cabina di Raccolta EST verrà utilizzato un cavo ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, di sezione nominale pari a 500mmq in formazione 2x (3x1x500 mm²);

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
		Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPA TI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]
				[m]	[m]	[mm ²]				
Linea CdR_T2C-CdR_T2E			CdR_B-CdR_C	920	938,4	500	2	2		29.642

SOTTOIMPIANTO EST:

- **Sottocampo T2_E**- il sottocampo E raggrupperà 2 cabine, di cui 1 di tipo SLAVE ed 1 di tipo Master, nella quale avverrà la fine serie. Verrà pertanto realizzato un'entra-esce da ciascuna cabina per consentire la configurazione serie. Per la realizzazione degli elettrodotti tra le cabine slave e la master, e la Cabina di Raccolta verranno utilizzate terne di cavi unipolari ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, in formazione a trifoglio, di sezione nominale UNIFICATA a 185mm²:

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
		Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPA TI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]
				[m]	[m]	[mm ²]				
T2_E	T2_E2	serie	T2_E2-T2_E1	405	415	185	2	1	2570	2364,4
	T2_E1	serie	T2_E1-CdR_T2E	180	190	185	2	1	2570	4728,8
	CdR_T2E			585					5140	4728,8

- Dalla cabina Master-T2_E1 si dipartirà un elettrodotto dorsale interno (tratta T2_E1-CdR_T2E) che andrà ad attestarsi sulle sbarre MT di parallelo in Cabina di Raccolta EST.

– Elettrodotto Dorsale:

- Per la realizzazione dell'elettrodotto tra la Cabina di Raccolta EST e la Cabina di Media Tensione in SottoStazione Produttore verrà utilizzato un cavo ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, di sezione nominale pari a 630mmq in formazione 4x (3x1x630 mm²); ciascuna delle 4 terne sarà attestata su uno scomparto di protezione linea dedicato. Il dimensionamento è stato effettuato in modo tale da contenere la caduta di tensione massima attorno all'1% in condizioni di funzionamento a piena potenza, con conseguente perdita energia contenuta nello 0,3% circa.

SOTTOCAMPO	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI				CADUTA DI TENSIONE				
	Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPATI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]	CORRENTE LINEA	PORTATA		ΔU%			
			[m]	[m]						[mm ²]	l _L			l _Z	[A]	[A]
			[A]	[A]						[%]						
Linea CdR_T2E-		CdR_T2E-SSE	11750	11985	630	2	4	37360,0	34 371	172,46	464,33	1,02%				

I dimensionamenti delle linee interne sono stati effettuati conservativamente tenendo conto della potenza nominale di picco di ciascun subcampo, in modo che anche in caso di guasto di uno o più dei subcampi, l'impianto potrà lavorare inseguendo continuamente la massima potenza di immissione, **pari a 30MW**; in condizioni operative, grazie al surdimensionamento dell'impianto, le linee saranno caricate con potenze inferiori al 78% della potenza di picco, ovvero al rapporto tra potenza di immissione e potenza di picco:

$$30/37,362=0,80$$

Tale dimensionamento garantirà, inoltre, che in futuro la società possa eventualmente chiedere l'incremento della potenza di immissione fino alla massima potenza dell'impianto.

Il dimensionamento della dorsale è stato effettuato in modo tale che, anche in caso di guasto di due delle quattro terne, le restanti 2 siano in grado di sopportare l'intera potenza massima nominale, contenendo la caduta di tensione in circa il 2%:

SOTTOCAMPO	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI				CADUTA DI TENSIONE				
	Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPATI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	Potenza reale max nel tratto [kWp]	CORRENTE LINEA	PORTATA		ΔU%			
			[m]	[m]						[mm ²]	l _L			l _Z	[A]	[A]
			[A]	[A]						[%]						
Linea CdR_T2E-		CdR_T2E-SSE	11750	11985	630	2	2	37360,0	34 371	344,93	464,33	2,05%				



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 μ 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 μ 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 μ 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 (μ T)



Limite di esposizione	5	100
Valore si attenzione (24 ore di esposizione)	-	10
Obbiettivo 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 μT - 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.

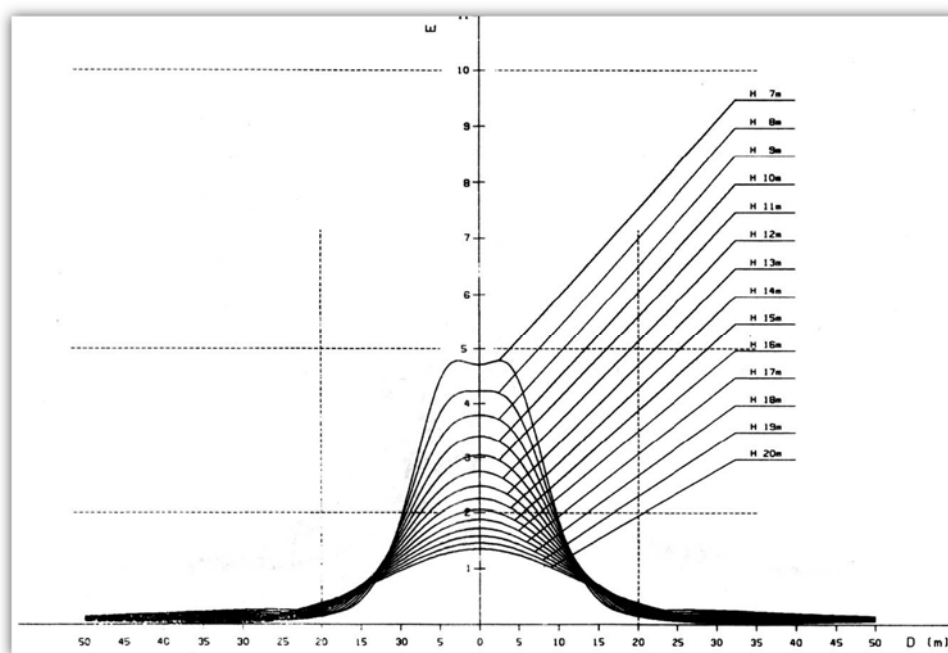


Fig. 3. Andamento tipico del campo di induzione magnetica.



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 cavidotto 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):

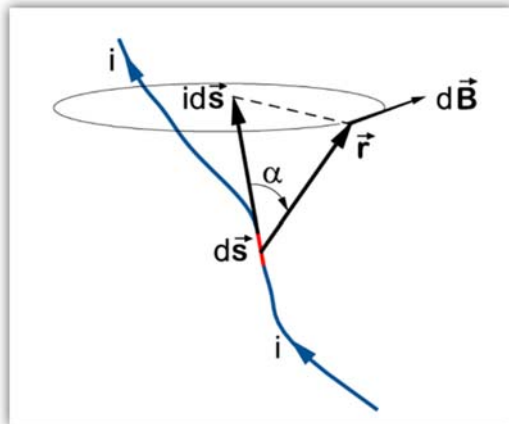


Fig. 4. Schema di campo magnetico

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

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 compiere un'analisi previsionale del campo magnetico indotto.

L'analisi è stata compiuta sugli elettrodotti interrati che costituiscono la linea interna al Parco e la linea dorsale, che per la loro posizione lungo strade esistenti e al di sotto di terreni agricoli potenzialmente frequentati dalla popolazione costituiscono 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.

All'interno del Parco e lungo la dorsale sono individuabili complessivamente 4 tipologie di posa per gli elettrodotti: da una a quattro terne affiancate, secondo il tratto.

11. TIPOLOGIE DI POSA

Di seguito si riportano alcune tipologie delle sezioni di scavo del progetto che riguardano sia i cavi interni che esterni al parco fotovoltaico:

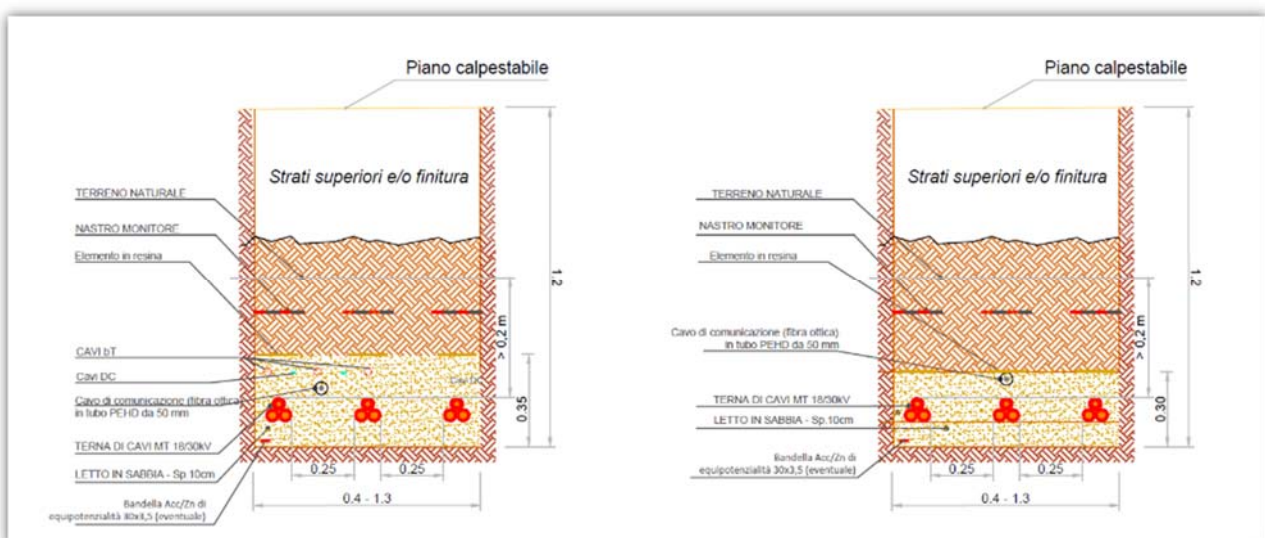


Fig. 5. – Particolare: tipico scavo MT per 1-4 terne MT; a sinistra, con presenza di cavi bT.

L'elettrodotto dorsale sarà posato in affiancamento a quello di analoga iniziativa della medesima compagine societaria, come da sezione tipo qui in appresso proposta:

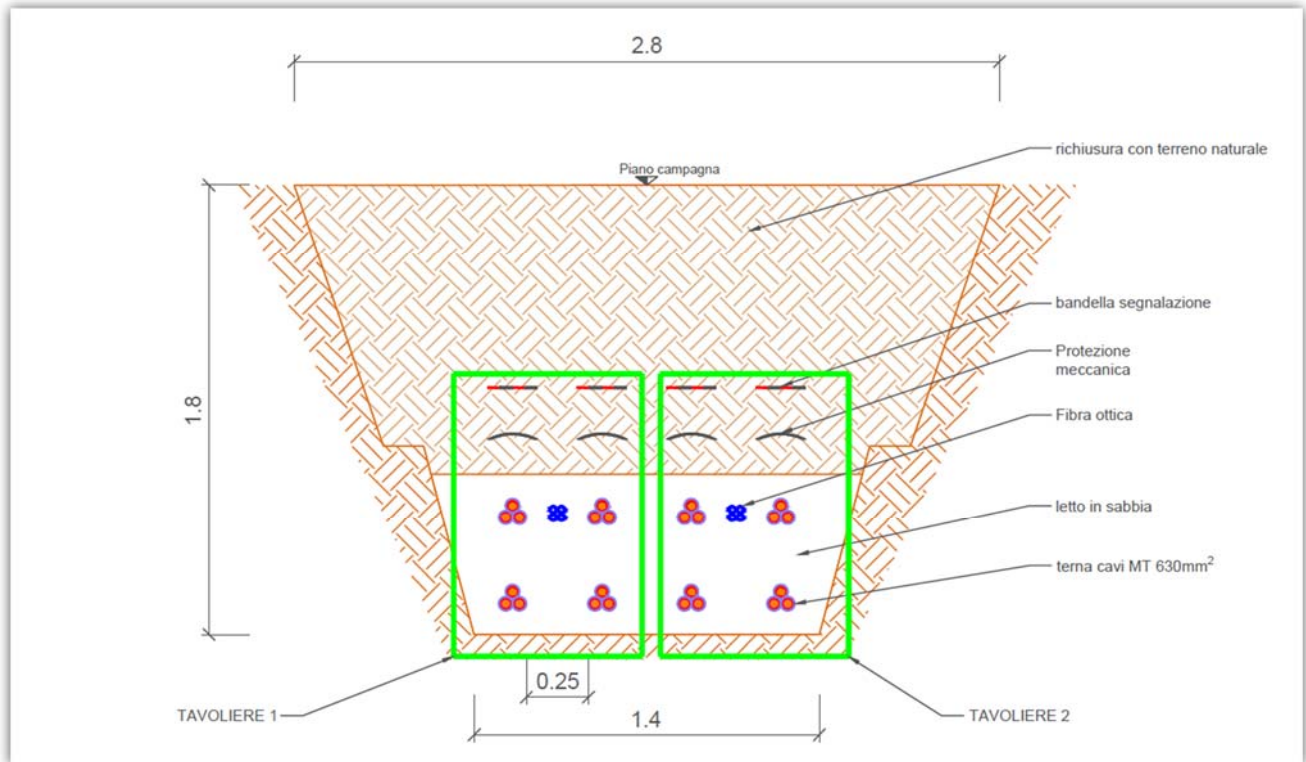


Fig. 6. Particolare: tipico scavo MT per 8 terne MT, posate su due piani sovrapposti al fine di ridurre l'ingombro complessivo.

12. MODALITÀ DI INDAGINE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PREVISIONALE

L'esplorazione previsionale del campo magnetico generato dalle configurazioni impiantistiche tipo 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:

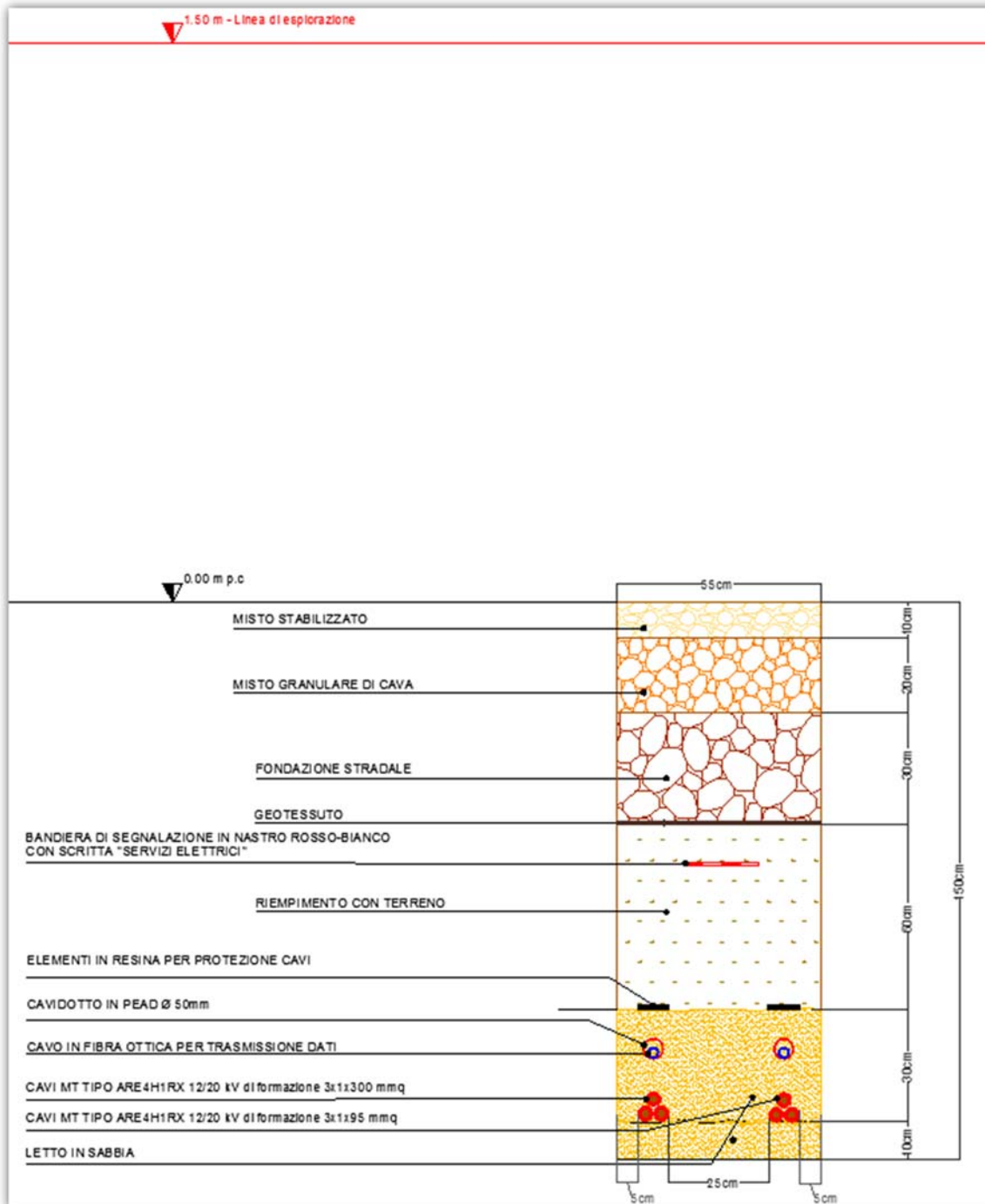


Fig. 7. Rappresentazione della Linea di Esplorazione del campo magnetico rispetto ad un elettrodotto interrato tipo.

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:

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMPI	
		Tipo TRATTA	Denominazione TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPATI	NUMERO TERNE	Pot. Nominale Subcampo kWp	CORRENTE LINEA
				[m]	[m]	[mm ²]				I _L [A]
T2_A	T2_O1	serie	T2_O1-T2_O4	55	65	185	2	1	2633	48,62
	T2_O4	serie	T2_O4-T2_O5	165	175	185	2	1	2617	96,94
	T2_O5	serie	T2_O5-T2_O6	155	165	185	2	1	2649	145,86
	T2_O6	serie	T2_O6-CdR_T2O	195	205	185	2	1	2665	195,06
T2_B	T2_O2	serie	T2_O2-T2_O3	210	220	185	2	1	2633	48,62
	T2_O3	serie	T2_O3-T2_O7	570	580	185	2	1	2633	97,24
	T2_O7	serie	T2_O7-CdR_T2O	25	35	185	2	1	2633	145,86
Linea CdR_T2O-CdR_T2C			CdR_A-CdR_B	1035	1055,7	500	2	2		170,46
T2_C	T2_C1	serie	T2_C1-T2_C3	340	350	185	2	1	2745	50,69
	T2_C3	serie	T2_C3-T2_C4	190	200	185	2	1	2745	101,37
	T2_C4	serie	T2_C4-CdR_T2C	345	355	185	2	1	2777	152,65
T2_D	T2_C2	serie	T2_C2-T2_C5	445	455	185	2	1	2745	50,69
	T2_C5	serie	T2_C5-CdR_T2C	315	325	185	2	1	2745	101,37
	CdR_T2C				1635					5490 :L SOTTOCAMPO
T2_E	T2_E2	serie	T2_E2-T2_E1	405	415	185	2	1	2570	47,46
	T2_E1	serie	T2_E1-CdR_T2E	180	190	185	2	1	2570	94,91
	CdR_T2E				585					5140 :L SOTTOCAMPO
Linea CdR_T2E-SSE			CdR_T2E-SSE	11750	11985	630	2	4	37360,0	172,46

I casi di seguito studiati, sono riferiti a quei tratti in cui i campi elettromagnetici risulterebbero essere massimali in condizioni di esercizio e pertanto sono stati individuati:



- **Caso 1:** trincea ospitante quattro terne di cavi MT, 2 in formazione $3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2$, 2 in formazione $3 \times 1 \times 500 \text{ mm}^2$ in ingresso alla Cabina di Raccolta CENTRO, ovvero alla confluenza dei tratti:
 - T2_C4-CdR_C: una terna caricata con circa 155A;
 - T1_C5-CdR_C; una terna caricata con circa 105A;
 - CdR_O_ CdR_C; 2 terne caricate con circa 175A;

- **Caso 2:** trincea ospitante due terne di cavi MT di formazione $3 \times 1 \times 500 \text{ mm}^2$, per il collegamento tra la Cabina di Raccolta CENTRO e la Cabina di raccolta EST:
 - CdR_T2C- CdR_T2E: ciascuna delle due terne caricata con circa 300A;

- **Caso 3:** trincea ospitante quattro terne di cavi MT disposti a trifoglio in formazione $3 \times 1 \times 630 \text{ mm}^2$, per tutta la lunghezza dell'elettrodotto dorsale:
 - CdR_T2E- SSE: ciascuna delle quattro terne caricata con circa 175A;

- **Caso 4:** apparecchiature AT.

CASO 1

Di seguito è riportato lo studio per una configurazione test con quattro terne a trifoglio posate ad 1,25m al disotto del piano campagna, e caricate tutte da una corrente massima di circa 295 A, superiore a quella del caso di progetto (155A, 105A, 175A e 175A):

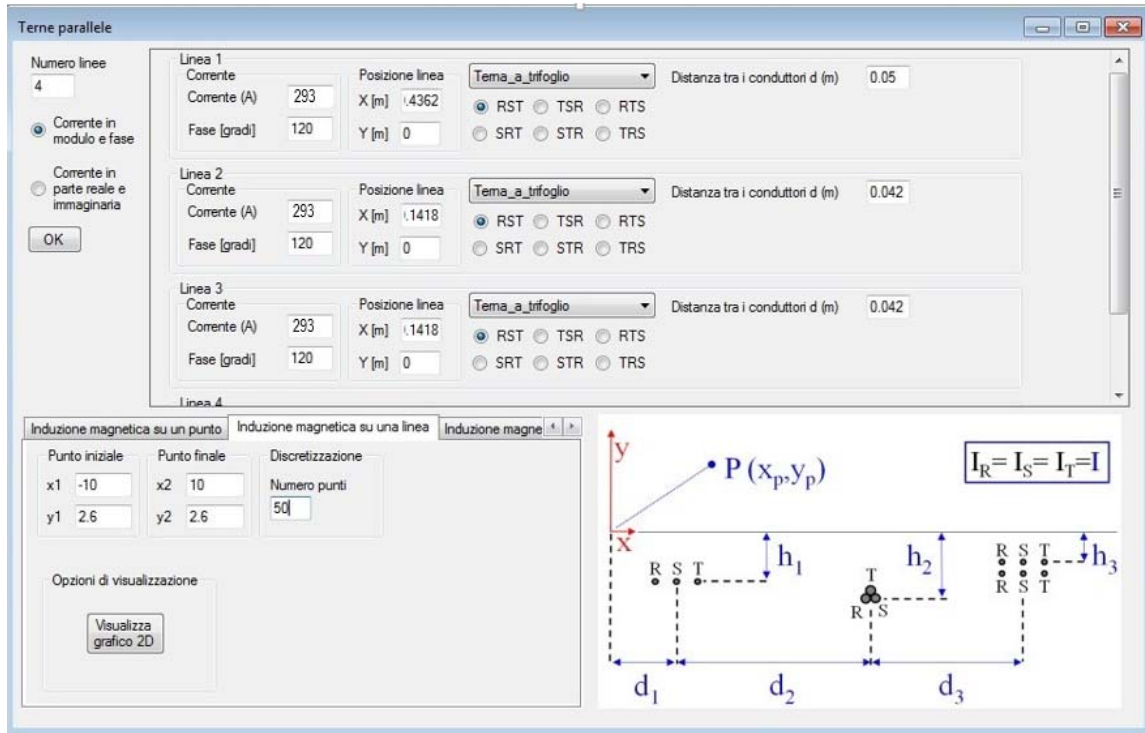


Fig. 1. Parametri inseriti nel Software per il calcolo dell'induzione magnetica rispetto ad una linea di esplorazione

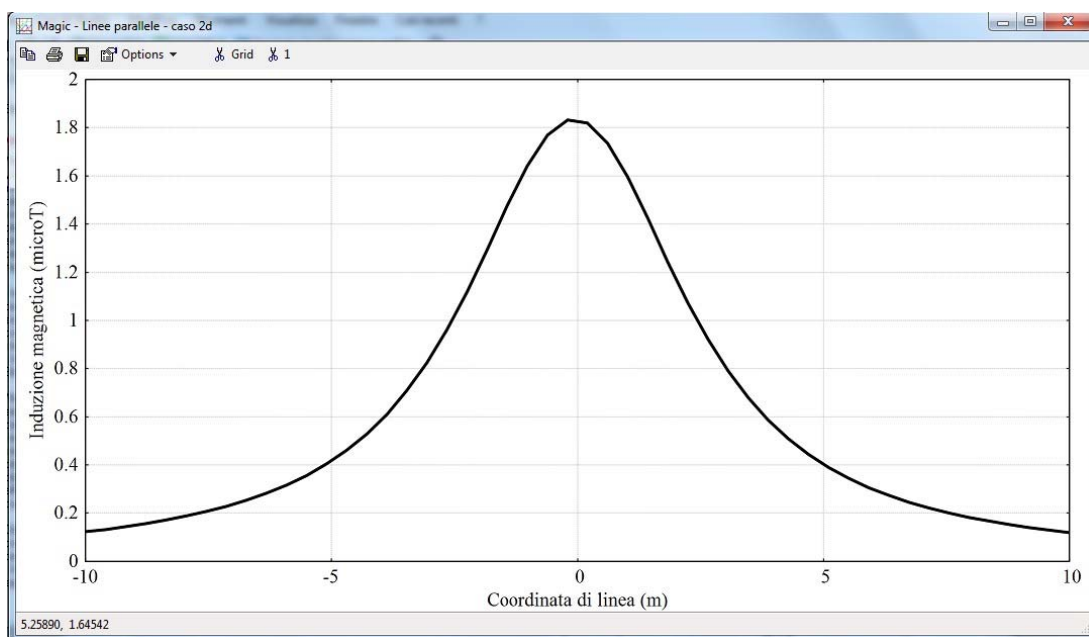
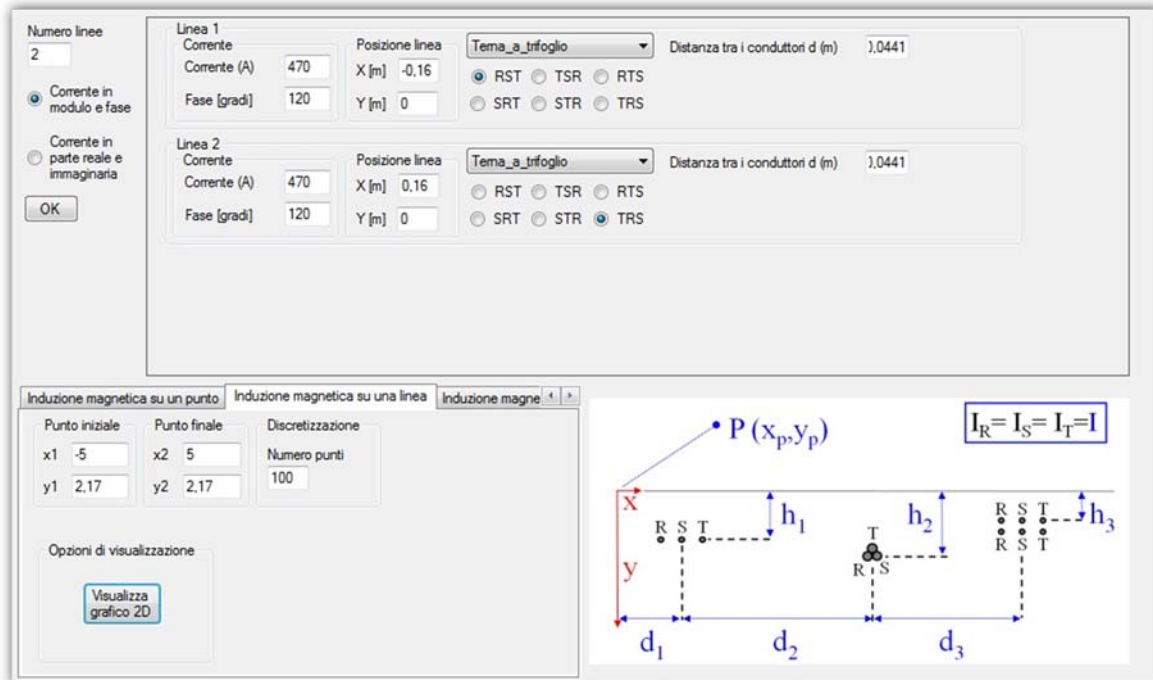


Fig. 2. Rappresentazione bidimensionale dei risultati il cui riferimento di calcolo dell'induzione magnetica è a quota pari alla linea di esplorazione (Fig. 8)

CASO 2

Di seguito è riportato lo studio per una configurazione con due terne a trifoglio posate ad 1,25m al disotto del piano campagna, e caricate entrambe da una corrente massima di 470A, superiore a quella del caso di progetto (300A):



Numero linee: 2
 Corrente in modulo e fase
 Corrente in parte reale e immaginaria
 OK

Linea 1
 Corrente (A): 470
 Fase [gradi]: 120
 Posizione linea: Tema_a_trifoglio
 Distanza tra i conduttori d (m): 1,0441
 RST TSR RTS
 SRT STR TRS
 X [m]: -0,16
 Y [m]: 0

Linea 2
 Corrente (A): 470
 Fase [gradi]: 120
 Posizione linea: Tema_a_trifoglio
 Distanza tra i conduttori d (m): 1,0441
 RST TSR RTS
 SRT STR TRS
 X [m]: 0,16
 Y [m]: 0

Induzione magnetica su un punto
 Punto iniziale: x1 -5, y1 2,17
 Punto finale: x2 5, y2 2,17
 Discretizzazione: Numero punti 100
 Opzioni di visualizzazione: Visualizza grafico 2D

$I_R = I_S = I_T = I$
 $P(x_p, y_p)$
 $d_1, d_2, d_3, h_1, h_2, h_3$

Fig. 3. Parametri inseriti nel Software per il calcolo dell'induzione magnetica rispetto ad una linea

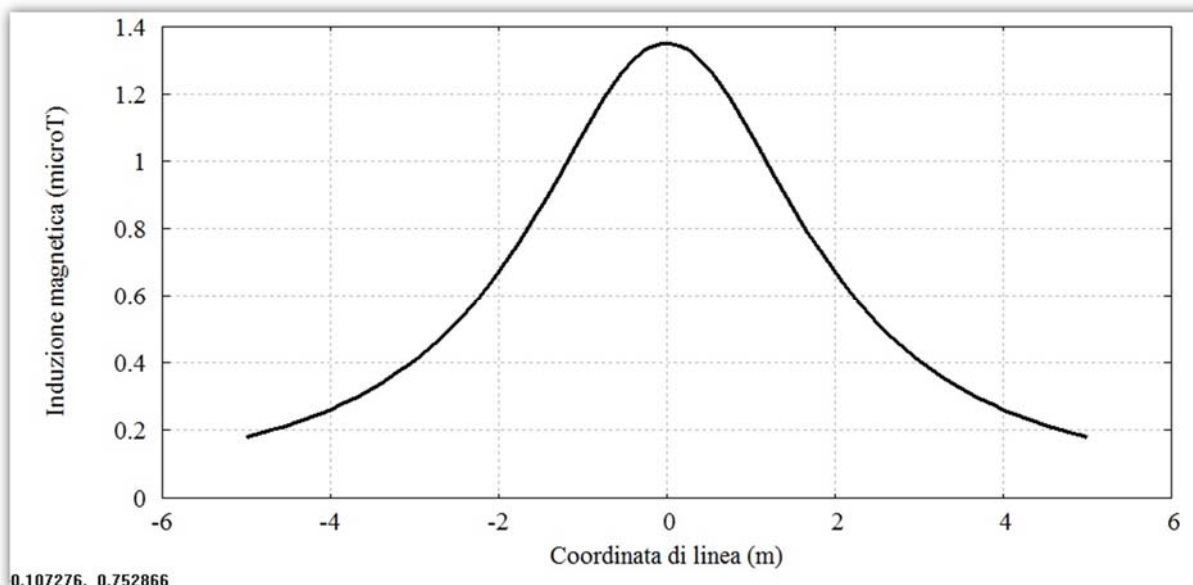


Fig. 4. Rappresentazione bidimensionale dei risultati il cui riferimento di calcolo dell'induzione magnetica è a quota pari alla linea di esplorazione (Fig. 8)

CASO 3

Di seguito è riportato lo studio per una configurazione con quattro terne a trifoglio posate ad 1,25m al disotto del piano campagna, tutte di sezione pari a 630mm^2 , e caricate tutte da una corrente massima di circa 295 A, superiore a quella del caso di progetto (175A):

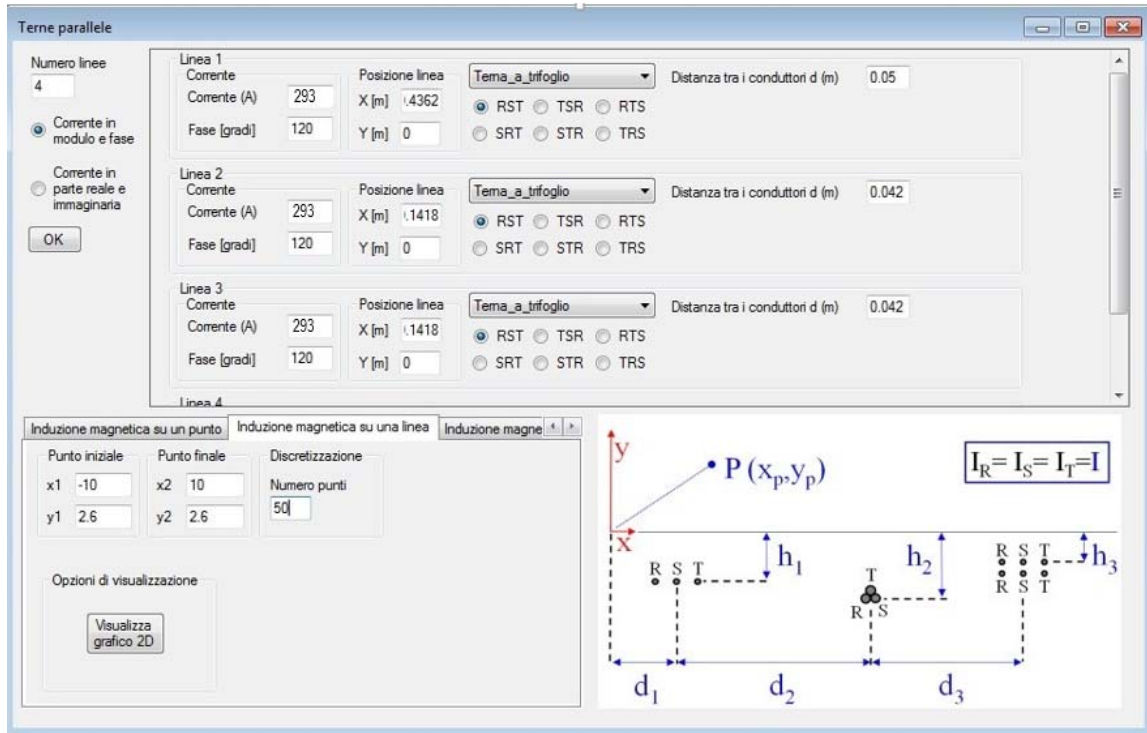


Fig. 5. Parametri inseriti nel Software per il calcolo dell'induzione magnetica rispetto ad una linea di esplorazione

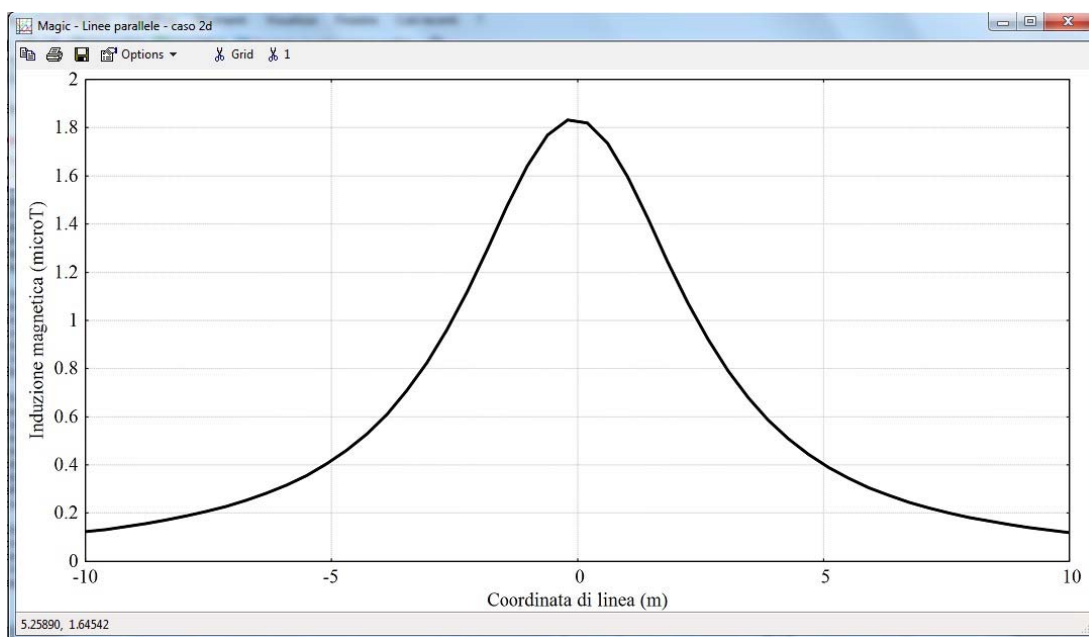


Fig. 6. Rappresentazione bidimensionale dei risultati il cui riferimento di calcolo dell'induzione magnetica è a quota pari alla linea di esplorazione (Fig. 8)

14. CASI DI ANALISI PREVISIONALE AT

CASO 4: linee aeree in alta tensione

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).

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.

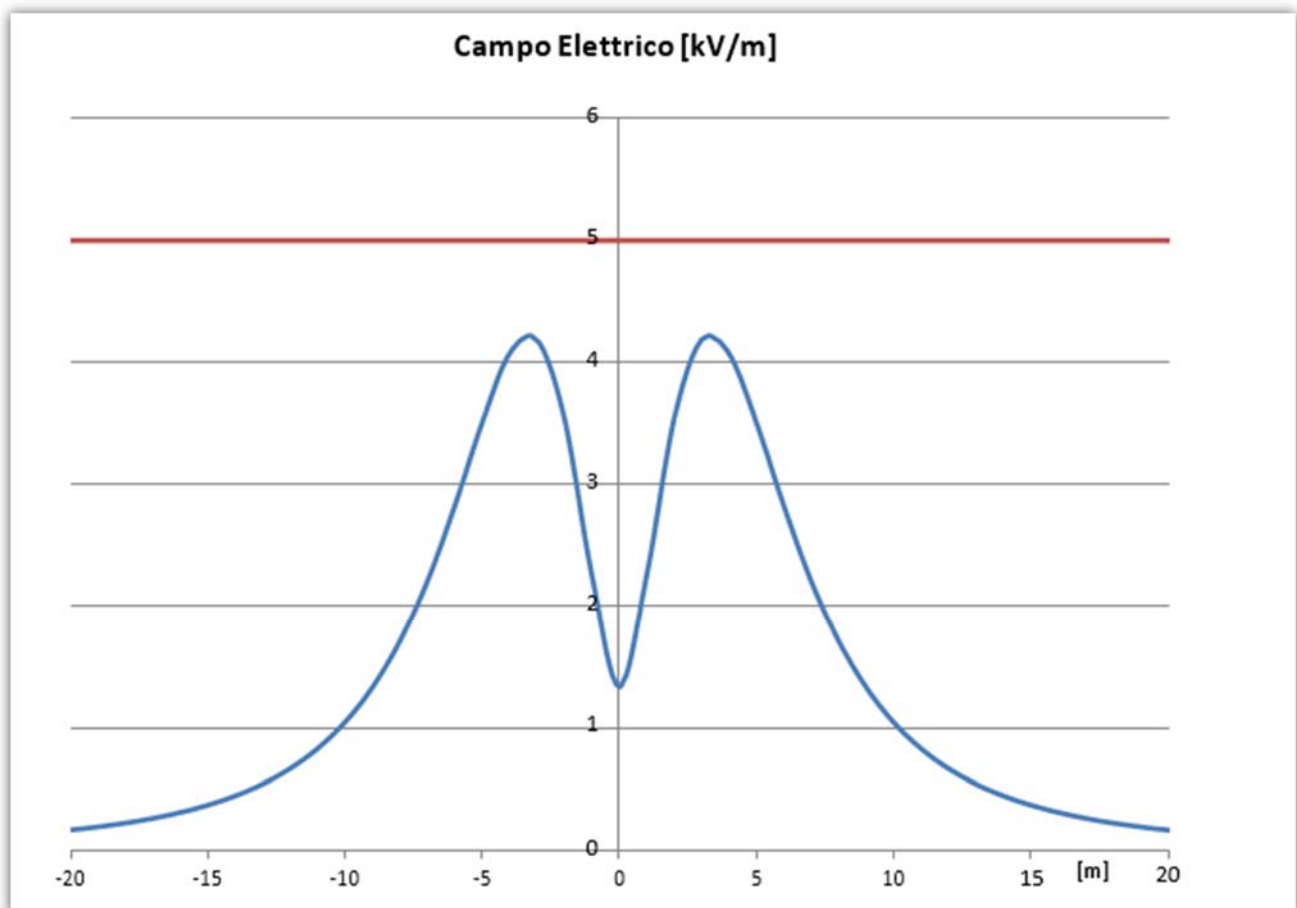


Fig. 7. Campo elettrico al suolo generato dal sistema di sbarre a 150 kV

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.

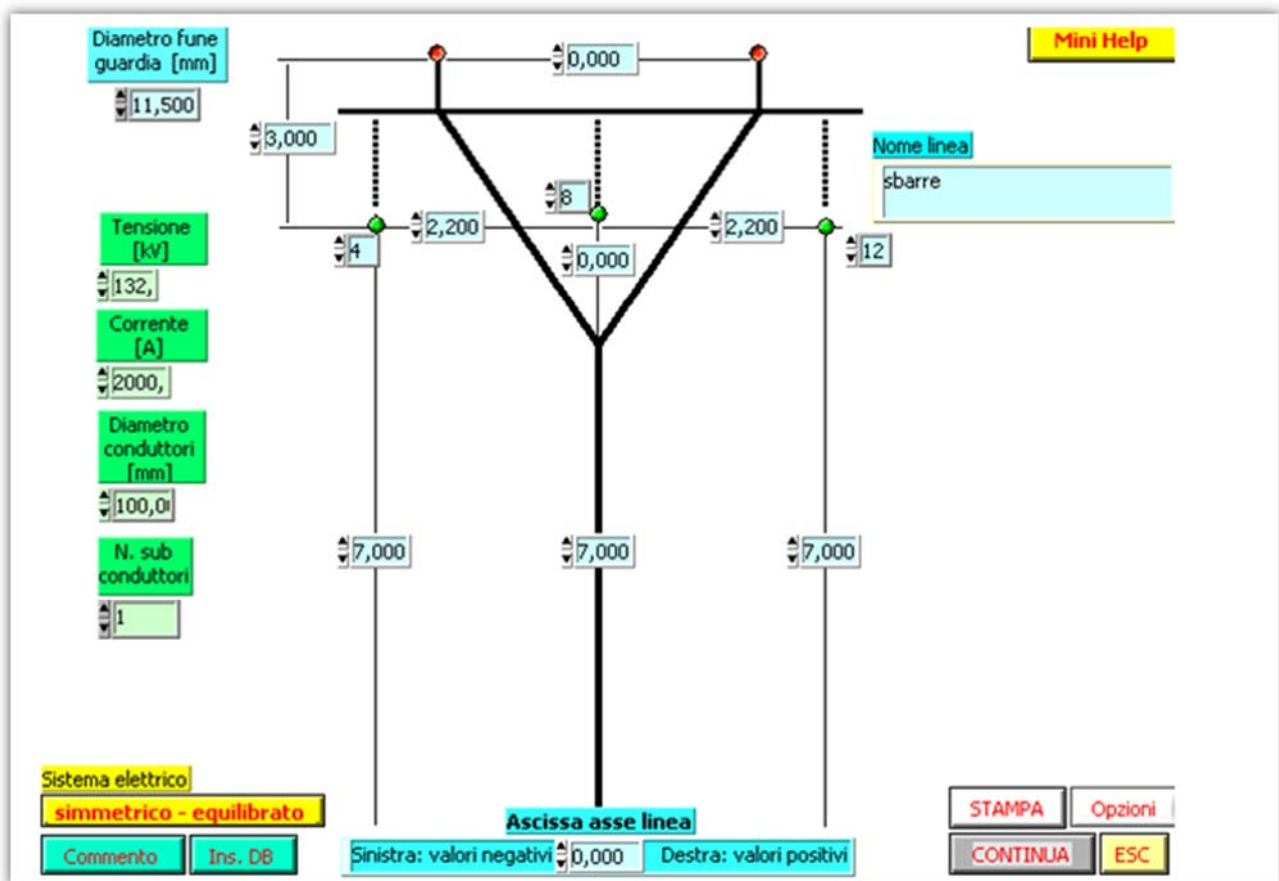


Fig. 8. Linea AT con disposizione conduttori in piano assimilabile ad un sistema semplice sbarra a 132/150 kV

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.

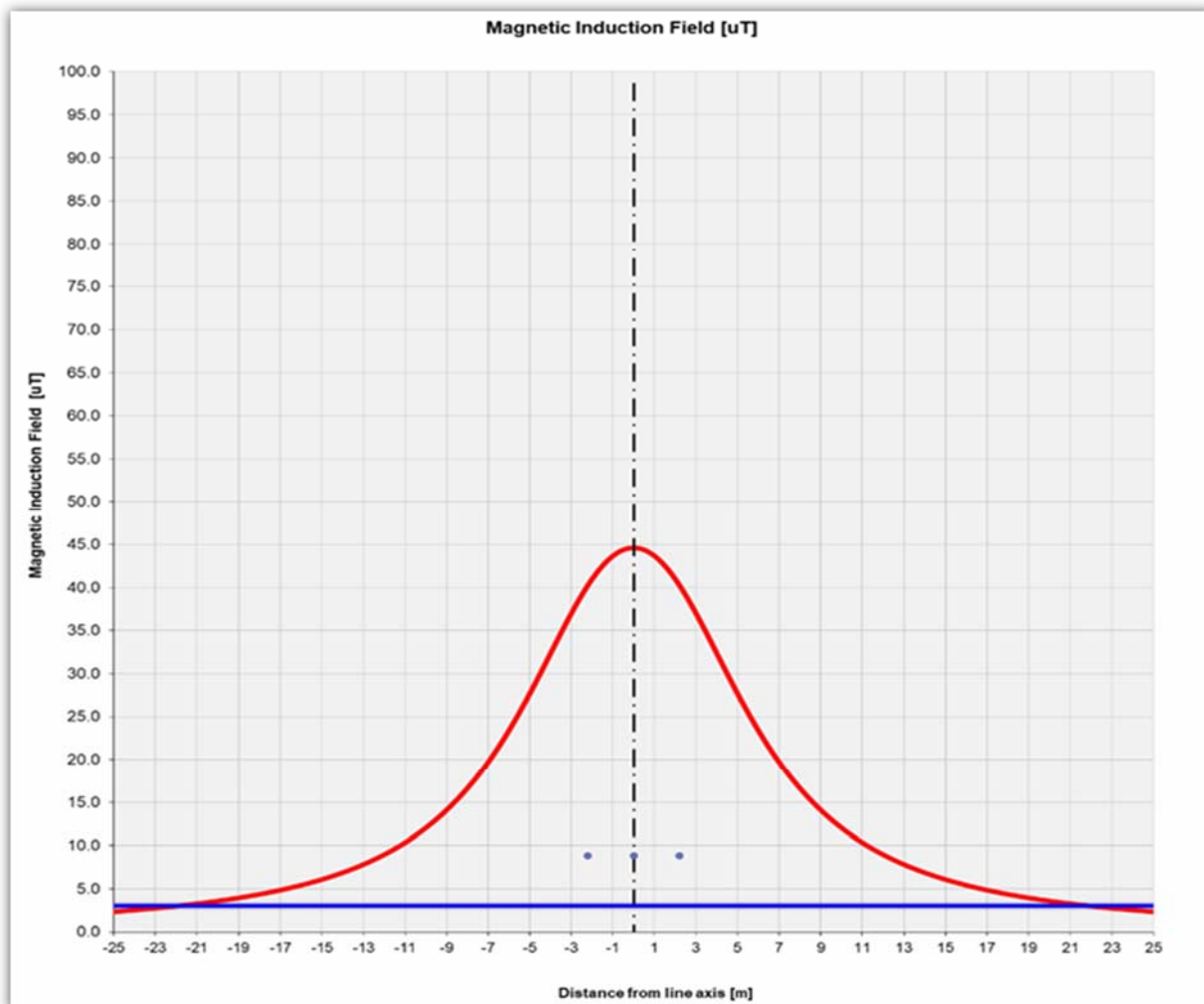


Fig. 9. Andamento del campo di induzione magnetica per $I = 2000 \text{ A}$

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 in un'area nelle vicinanze della SE di Terna, e con altre stazione di trasformazione di altri produttori già in esercizio, non si rilevano recettori sensibili a distanze inferiori a quella sopra calcolata.

CASO 5: linee elettriche in corrente alternata in alta tensione

Ciascun cavo d'energia a 150 kV sarà costituito da un conduttore in alluminio compatto di sezione indicativa pari a 1600 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 ²
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 580m, 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 transiente nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,6 m, con un valore di corrente pari a 1000 A, dove la configurazione dell'elettrodotto è quella in assenza di schermature, con il campo magnetico calcolato al suolo.

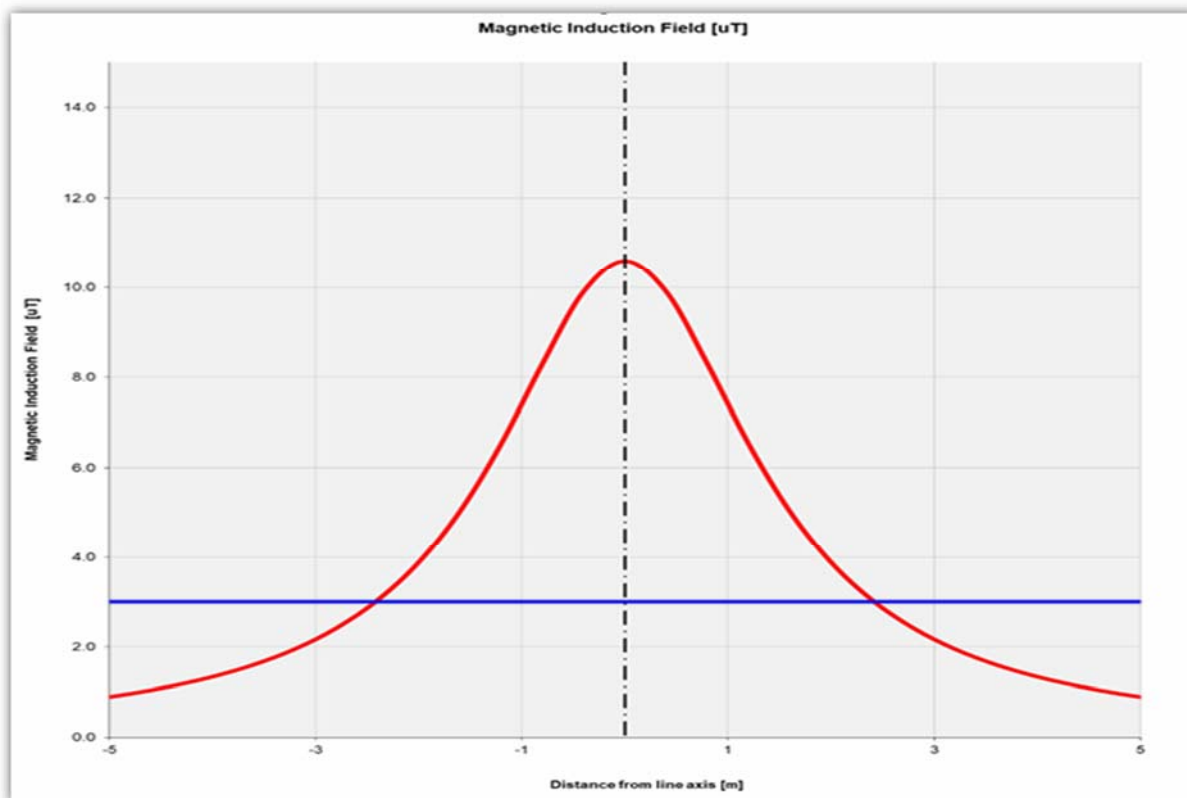


Fig. 10. Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT

Il limite di 3 μ 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, si mantiene ben al di sotto del limite dei **3 μ 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 μ T** si supera solo in una fascia di circa 4m, 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 in ciascuna delle situazioni significative sopra analizzate (Tab.2):

Casi di Studio	Induzione Magnetica (μ T)
Caso 1: – Scavo a 4 Terne – formazione: 2x(3x1x185) mm ² 2x(3x1x500) mm ²	<1,85
Caso 2 – Scavo a 2 Terne: formazione 2x(3x1x500) mm ²	< 1.4
Caso 3: – Scavo a 4 Terne: formazione 4x(3x1x630) mm ²	<1,85

Tab.2: Valori calcolati dell'induzione magnetica

Come si evince dalla suddetta tabella in tutte le configurazioni analizzate, che sono quelle più cautelative poiché con il massimo numero di circuiti affiancati e con le massime correnti, il valore dell'induzione magnetica è significativamente inferiore al limite dell'attuale previsione normativa di **3 μ 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, Novembre 2021

STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA

Ing. MEZZINA Antonio

