

REGIONE PUGLIA

PROVINCIA di FOGGIA

COMUNE di
SERRACAPRIOLA

COMUNE di
SAN PAOLO DI CIVITATE

COMUNE di
TORREMAGGIORE



Proponente	PACIFICO ACQUAMARINA 2 S.r.l. Sede: Piazza Walther Von Vogelweide, n. 8 - 39100 Bolzano (BZ) Pec: pacificoacquamarina2sri@legaimail.it P.iva: 04351410719	Sviluppo e Coordinamento	PLAN A ENERGY S.R.L. Sede: Via Cavour n.104 40026 Imola BO Pec: planaenergy@pec.it C.F e P.IVA : 03930841204
Progettazione generale e progettazione elettrica	STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA MEZZINA dott. ing. Antonio Via T. Solis 128 71016 San Severo (FG) Tel. 0882.228072 Fax 0882.243651 e-mail: info@studiomezzina.net Ordine degli ingegneri della Provincia di Foggia matr. n 1604	Supervisione scientifica piani culturali e monitoraggio	Università di Foggia Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria (DAFNE) Sede: via Antonio Gramsci,89/91 Foggia 71122 P.iva: 03016180717
Studio e progetto ecologico vegetazionale	Dott. Biol. Leonardo Beccarisi Via D'Enghien, 43 - 73013 Galatina (LE) cell. 3209709895 E-Mail: beccarisi@gmail.com Ordine nazionale dei Biologi Albo-Sezione matr. n. AA_067313	Studio di impatto ambientale	Dott.ssa Anastasia Agnoli Via Armando Diaz, 37 73100 Lecce (LE) cell. 3515100328 E-Mail: anastasia.agnoli989@gmail.com
Studio meteorologico	Dott. Biol. Elisa Gatto Via S. Santo, 22 73044 Galatone (LE) cell. 3283433525 E-Mail: dottelisagatto@gmail.com Ordine nazionale dei Biologi matr.n. AA_090001	Studio idraulico geologico e geotecnico	Dott. Nazario Di Lella Tel./Fax 0882.991704 cell. 328 3250902 E-Mail: geol.dilella@gmail.com Ordine regionale dei Geologi della Puglia matr. n. 345
Studio faunistico	Dott. Fabio Mastropasqua Via Padre Pio da Pietrelcina 10 70020 Bitritto (BA) cell. 3201488569 E-Mail: fabiomastro77@gmail.com Collegio Interprovinciale degli Agronomi e degli Agronomi laureati" matr n. 276	Rappresentazioni fotorealistiche	Arch. Gaetano Fornarelli Via Fulcignano Casale 17 73100 Lecce (LE) cell. 3358758545 E-Mail: forgaet@gmail.com Ordine degli Architetti della provincia di Lecce matr. n. 1739
Studio archeologico	NOSTOI s.r.l. Dott.ssa Maria Grazia Liseno Tel. 0972.081259 Fax 0972.83694 E-Mail: mgliseno@nostoisrl.it Elenco Nazionale Archeologo Fascia I matr n. 1646	Studio agrario e agro-voltaiico	Dott. Agr. Alfonso Mogavero Viale Fortore 9/C 71121 Foggia Tel/Fax: 0881 723673 Cell. 335 6287405 E-Mail: studiomogavero@gmail.com Ordine dottori agronomi di Foggia n. 372
Studio acustico	STUDIO FALCONE Ingegneria Ing. Antonio Falcone Tel. 0884.534378 Fax. 0884.534378 E-Mail: antonio.falcone@studiofalcone.eu Ordine degli Ingegneri di Foggia matr. n.2100	Studio strutturale	Ing. Tommaso Monaco Tel. 0885.429850 Fax 0885.090485 E-Mail: ing.tommaso@studiotecnicomonaco.it Ordine degli Ingegneri della provincia di Foggia matr. n. 2906
Studio paesaggistico e di inserimento urbanistico	Dott. Agr. Barnaba Marinosci via Pilella 19, 73040 Alliste (LE) Cell. 329 3620201 E-Mail: barnabamarinosci@gmail.com Ordine dei Dottori Agronomi e Forestali provincia di Lecce matr. n 674	Consulenza topografica	Geom. Matteo Occhiochiuso Tel. 328 5615292 E-Mail: matteo.occhiochiuso@virgilio.it Collegio dei Circondariale Geometri e Geometri Laureati di Lucera matr. n. 1101

Opera
Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto Agri-Fotovoltaico denominato "TOVAGLIA" da realizzarsi in cave dismesse o da dismettere e recuperare, site in località "Masseria Tovaglia" nel territorio comunale di Serracapriola (FG) per una potenza complessiva di 26,557MWp nonchè delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto

AUTORITA' PROCEDENTE V.I.A. : **Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica** AUTORITA' PROCEDENTE A.U. : **REGIONE PUGLIA**

Oggetto
 Nome Elaborato: 96WX1A8_DocumentazioneSpecialistica_02.pdf
 Descrizione Elaborato: Valutazione previsionale dei campi elettromagnetici

00	28/10/2022	Progetto definitivo			
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

Scala:
 Formato: Codice Pratica **96WX1A8**



PROPONENTE:

PACIFICO ACQUAMARINA 2 S.R.L.

Sede Legale: Bolzano (BZ), Piazza Walther Von Vogelweide n. 8

PEC: pacificoacquamarina2srl@legalmail.it

C.F. e P.IVA 04351410719

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO DENOMINATO "TOVAGLIA" DA REALIZZARSI IN LOCALITÀ "MASSERIA TOVAGLIA" NEL TERRITORIO COMUNALE DI SERRACAPRIOLA (FG) PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 26,557 MW_p NONCHÈ DELLE OPERE CONNESSE ED INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALLA COSTRUZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO.

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA

VALUTAZIONE PREVISIONALE DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI



SOMMARIO

1. PREMESSA E OGGETTO	
2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PARCO FOTOVOLTAICO.	
3. MODALITÀ DI CONNESSIONE ALLA RTN E UBICAZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE	
4. STRUTTURA E SCHEMA DELLE LINEE ELETTRICHE MT.	
Struttura e schema delle linee elettriche MT.	8
Caratteristiche delle linee elettriche MT.	8
5. QUADRO NORMATIVO.	
6. GENERALITÀ SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI.	
7. CAMPO ELETTRICO	
8. CAMPO MAGNETICO	
9. METODOLOGIA DI CALCOLO DEI CAMPI MAGNETICI.	
10. CONFIGURAZIONI IMPIANTISTICHE DA ANALIZZARE	
11. TIPOLOGIE DI POSA	
12. MODALITÀ DI INDAGINE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PREVISIONALE	
13. CASI DI ANALISI PREVISIONALE MT	
CASO 1	21
CASO 2	22
14. CASI DI ANALISI PREVISIONALE AT	
CASO 3: linee aeree in alta tensione	23
CASO 4: linee elettriche in corrente alternata in alta tensione	25
15. CONCLUSIONI.	



1. PREMESSA E OGGETTO

La presente relazione è relativa alla progettazione definitiva del Parco Fotovoltaico, denominato "TOVAGLIA" che la società **PACIFICO ACQUAMARINA 2 S.R.L.** intende realizzare alla località "MASSERIA TOVAGLIA", Comune di **SERRACAPRIOLA** (FG), e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto, con potenza teorica di picco del generatore fotovoltaico pari a circa **26,557 MWp**.

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.

L'area su cui verrà realizzato il progetto è sita nella regione **Puglia**, in Provincia di Foggia, nel territorio comunale di **Serracapriola (FG)**. Le coordinate geografiche baricentriche del sito occupato dal generatore fotovoltaico sono:

Latitudine	Longitudine
41°.53'.23.99"N	15°.13'.48.55" E

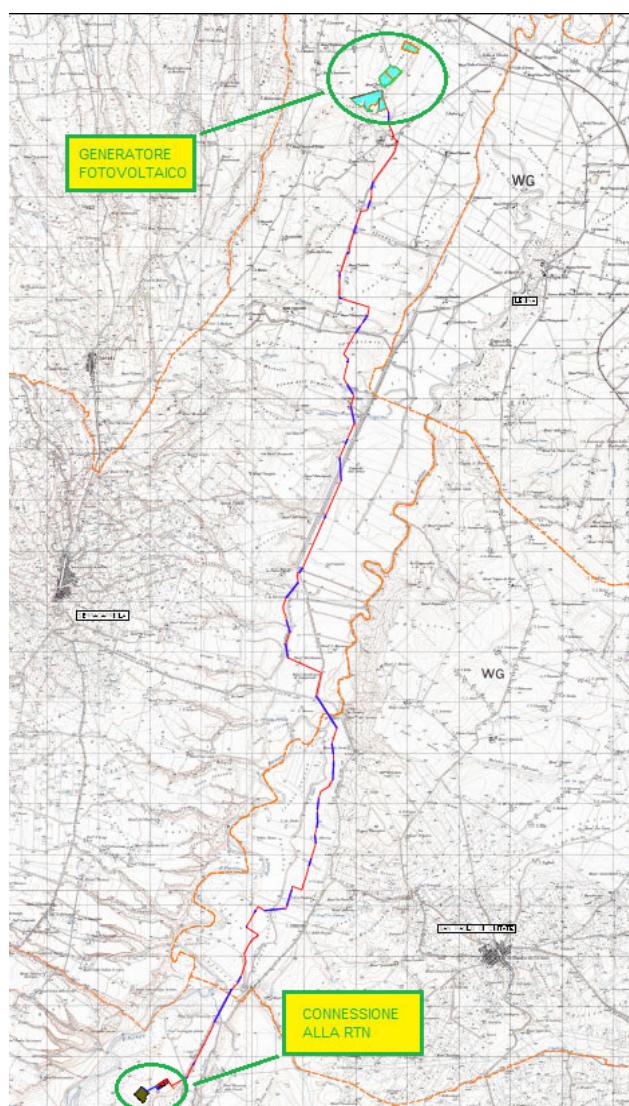


Fig. 1. Inquadramento di ampio raggio dell'area di intervento, a Nord, in celeste, la centrale fotovoltaica; in rosso, il percorso dell'elettrodoto dorsale, che si sviluppa per circa 23,7 km prevalentemente lungo rete viaria esistente; a SUD la Sottostazione Produttore, nei pressi della futura Stazione elettrica di Trasformazione SET-TERNA 380/150kV.



La centrale fotovoltaica si svilupperà su un'area complessiva lorda di **51 ha 86 a 25 ca**, 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 **32 ha 58 a 63 ca** a cui corrisponde una densità di potenza pari a:

$$D = P / S = 26,557 / 32,5863 = 0,814 \text{ MWp/ha}$$

L'impianto Fotovoltaico sarà strutturato in 6 subcampi elettricamente indipendenti, raggruppati in 3 **Sottocampi**.

I vari subcampi dei tre Sottocampi sono strutturati, mediante elettrodotti interrati in MT, in gruppi (sottocampi) collegati ad anello che fanno capo alla Cabina di Raccolta. Nella Cabina di Raccolta avviene il parallelo tra i tre Sottocampi: la somma delle energie prodotte viene conferita in SSE tramite un apposito elettrodotto dorsale.

Ciascun sottocampo sarà costituito da cabine di fine serie (MASTER), dalle quali si dipartirà un elettrodotto interno che sarà collegato alle sbarre MT della **Cabina di Raccolta (CdR)**. Dalla CdR partirà un elettrodotto interrato MT dorsale esterno verso la SSE produttore.

3. MODALITÀ DI CONNESSIONE ALLA RTN E UBICAZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE

La proponente PACIFICO ACQUAMARINA 2 ha richiesto e ottenuto da TERNA S.p.A. il preventivo di connessione Codice Pratica n. 201901789, la cui Soluzione Tecnica Minima Generale prevede la connessione *"... in antenna a 150 kV sulla sezione 150 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/150 kV da inserire in entra-esce alla linea 380 kV "San Severo 380 – Rotello 380"*, stabilendo altresì la necessità di condivisione dello Stallo in Stazione con altri realizzandi impianti di produzione.

L'impianto oggetto della presente relazione condividerà lo stallo produttore con gli impianti mediante uno stallo di condivisione affiancato in sottostazione utente.

In particolare, i tre impianti costituiranno una connessione del tipo in condominio (o a grappolo) di alta tensione e condivideranno lo stallo cavo di alta tensione ed il cavo interrato AT di collegamento alla SE-RTN. Il condominio così costituito sarà connesso ad un unico stallo produttore in SET-RTN TERNA di Torremaggiore, che costituirà l'impianto di rete per la connessione.

Il layout delle Sottostazioni e dell'area condominiale tra i produttori è stato definito secondo la rappresentazione planimetrica in appresso riportata:

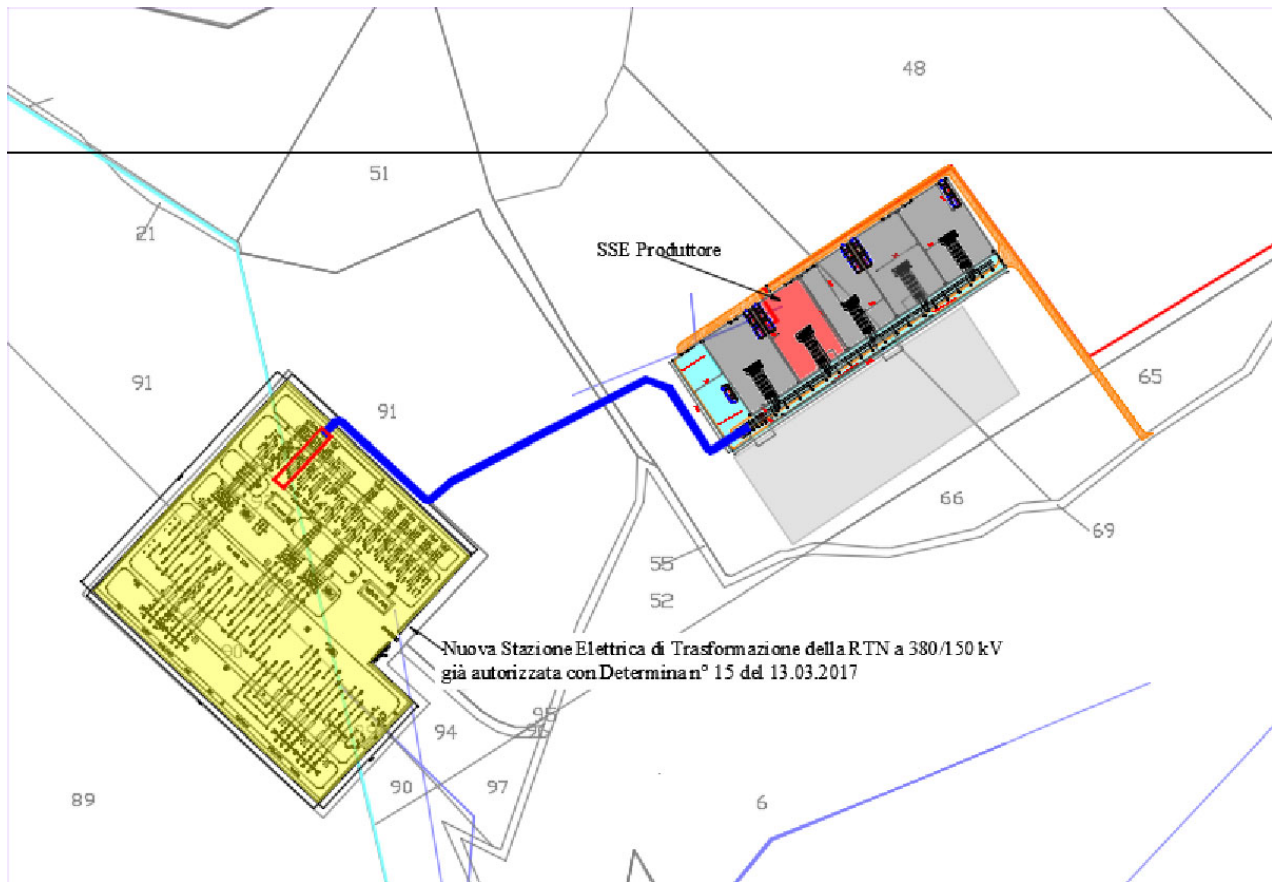


Fig. 1. Inquadramento su IGM opere di Rete: in Rosso, la SSE Produttore; in blu, l'elettrodotto AT 150kV.

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.

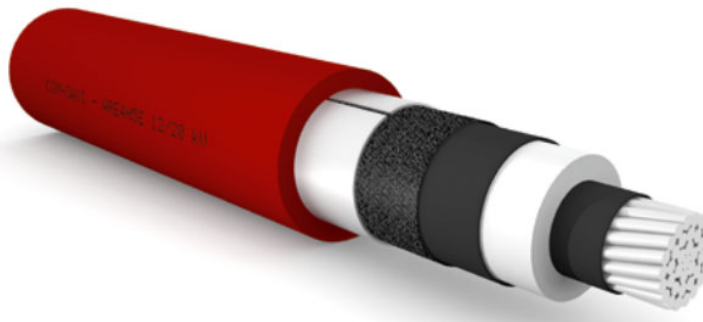


Fig. 2. Particolare degli strati costitutivi di un cavo MT ARE4H5E

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

- **Sottocampo 1 (S1)** - il sottocampo 1 raggrupperà una cabina di tipo Master.
- **Sottocampo 2 (S2)** - il sottocampo 2 raggrupperà due cabine, di cui una di tipo SLAVE ed una di tipo Master, nella quale avverrà la fine serie e la richiusura anello. Verrà pertanto realizzato un'entra-esce da ciascuna cabina per consentire la configurazione serie con richiusura ad anello in cabina Master.
- **Sottocampo 3 (S3)** - il sottocampo 3 raggrupperà tre cabine, di cui due di tipo SLAVE ed una di tipo Master, nella quale avverrà la fine serie e la richiusura anello. Verrà pertanto realizzato un'entra-esce da ciascuna cabina per consentire la configurazione serie con richiusura ad anello in cabina Master.

Nel sottocampo sarà presente anche la Cabina di Raccolta (CdR) dalla quale partirà l'elettrodotto dorsale



che si andrà a collegare alla SSE.

- 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 variabile come da elaborato preposto, di cui si riporta qui uno stralcio:

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMP
		Tipo TRATTA	Denominazione e TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPATI	NUMERO TERNE	CORRENTE Linea (max)
				[m]	[m]	[mm ²]			I _L
1	S1	serie	S1	1297	1307	120	3	1	75,71
2		richiusura anello	S2.2-CdR	82	92	120	3	1	177,36
	S2.1	serie	S2.1-S2.2	86	96	120	3	1	88,83
	S2.2	fine serie	S2.2-CdR	505	515	120	3	1	177,36
3		richiusura anello	S3.1-CdR	292	302	300	2	1	279,93
	S3.1	serie	S3.1-S3.2	164	174	120	2	1	186,52
	S3.2	serie	S3.2-S3.3	124	134	120	2	1	186,52
	S3.3	fine serie	S3.3-CdR	350	360	300	3	1	279,93

- o Dalle cabine Master si dipartirà un elettrodotto dorsale interno che andrà ad attestarsi sulle sbarre MT di parallelo in Cabina di Raccolta.

- Elettrodotto Dorsale:

- o Per la realizzazione dell'elettrodotto tra la Cabina di Raccolta CdR e la Cabina di Media Tensione in Sotto-Stazione Produttore verrà utilizzato un cavo ARE4H5E con grado di isolamento 18/30kV, di sezione nominale pari a 500mmq in formazione 3 x (3x1x500 mm²); ciascuna delle tre 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'3,50% in condizioni di funzionamento a piena potenza, con conseguente perdita energia contenuta nello 1,2% circa.

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							RISTICHE	CADUTA DI TENSIONE max	VERIFICA PORTATA
		Tipo TRATTA	Denominazione e TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPATI	NUMERO TERNE			
				[m]	[m]	[mm ²]			I ₂	ΔU% (max)	I ₂ , I _L
Dorsale			CdR-SSE	23747	24221,94	500	4	3	370,44	3,32%	OK
TOTALI max									3,50%		



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.

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

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 della corrente e dal voltaggio del sistema, 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, diffusioni, assorbimento, ecc. La diffusione del campo elettromagnetico può essere alterata anche dalla presenza di un altro campo elettromagnetico.

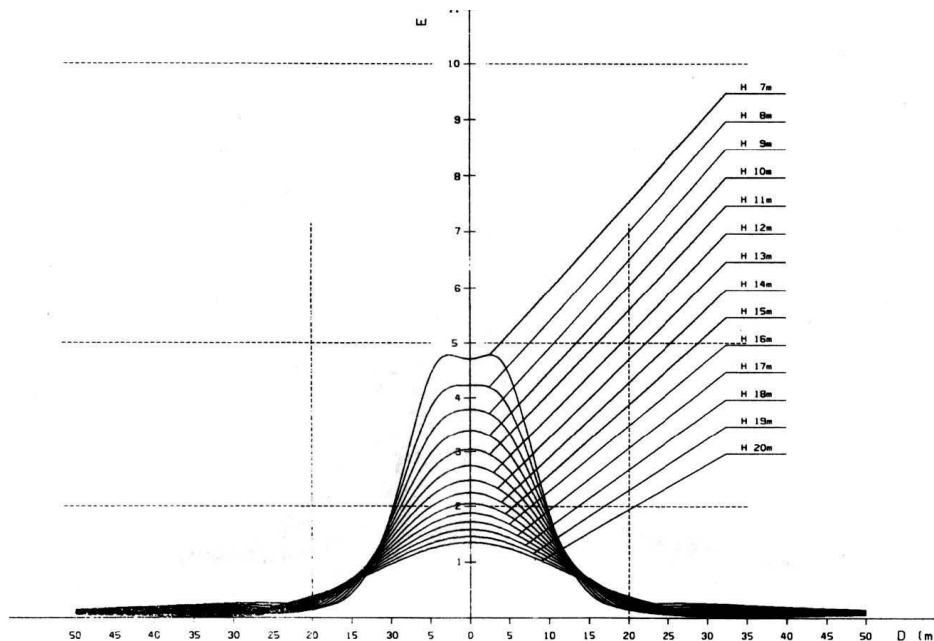


Fig. 3. Andamento tipico del campo di induzione magnetica.

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:



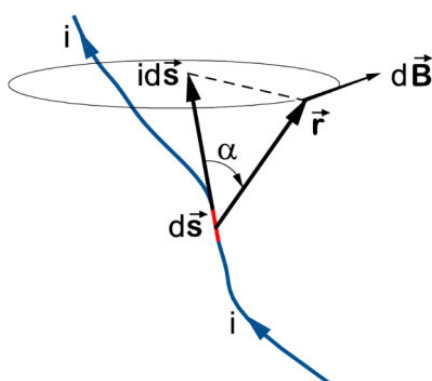
- Distanza dalle sorgenti (conduttori);
- Intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- Disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- Presenza di sorgenti compensatrici;
- Suddivisione delle sorgenti (terne multiple);

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):



$$dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^3} i ds \times r \quad (1),$$

laddove:

- i è il modulo della corrente che circola nel conduttore;
- ds è il vettore infinitesimo tangente al conduttore;
- 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 B integrando lungo l'intero circuito percorso dalla corrente i :



Fig. 4. Schema di campo magnetico

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

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:

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

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 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 sei terne, 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:

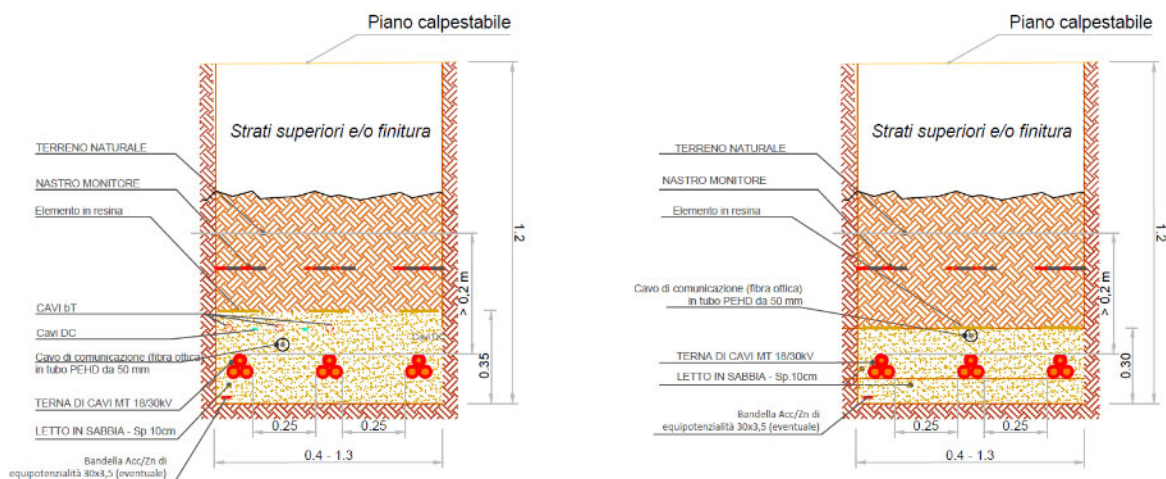


Fig. 5. – Particolare: tipico scavo MT; a sinistra, con presenza di cavi bT.

12. MODALITÀ DI INDAGINE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA PREVISIONALE

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

1.50 m - Linea di esplorazione

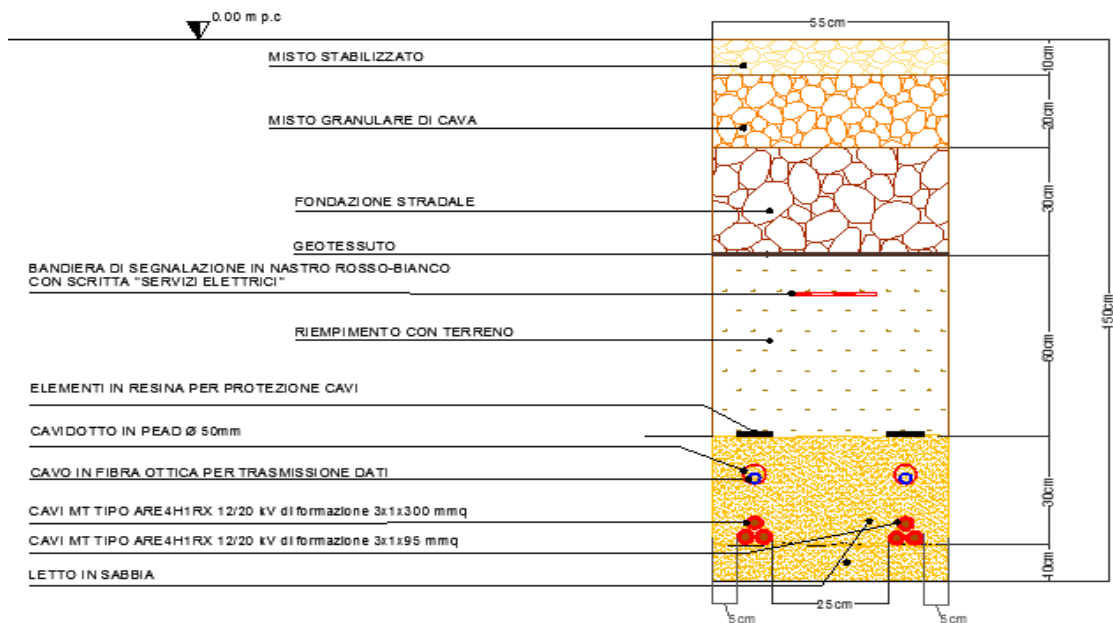


Fig. 6. Rappresentazione della Linea di Esplorazione del campo magnetico rispetto ad un elettrodotto interrato tipo.



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:

SOTTOCAMPO	Subcampo	CARATTERISTICHE LINEE							CARATTERISTICHE SUBCAMP
		Tipo TRATTA	Denominazione e TRATTA	LUNGHEZZA GEOMETRICA	LUNGHEZZA ELETTRICA	SEZIONE	NUMERO MAX CIRCUITI RAGGRUPPATI	NUMERO TERNE	CORRENTE Linea (max)
				[m]	[m]	[mm ²]			I _L
									[A]
1	S1	serie	S1	1297	1307	120	3	1	75,71
2		richiusura anello	S2.2-CdR	82	92	120	3	1	177,36
	S2.1	serie	S2.1-S2.2	86	96	120	3	1	88,83
	S2.2	fine serie	S2.2-CdR	505	515	120	3	1	177,36
3		richiusura anello	S3.1-CdR	292	302	300	2	1	279,93
	S3.1	serie	S3.1-S3.2	164	174	120	2	1	186,52
	S3.2	serie	S3.2-S3.3	124	134	120	2	1	186,52
	S3.3	fine serie	S3.3-CdR	350	360	300	3	1	279,93

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
- **Caso 2:** trincea ospitante due terne di cavi MT
- **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:

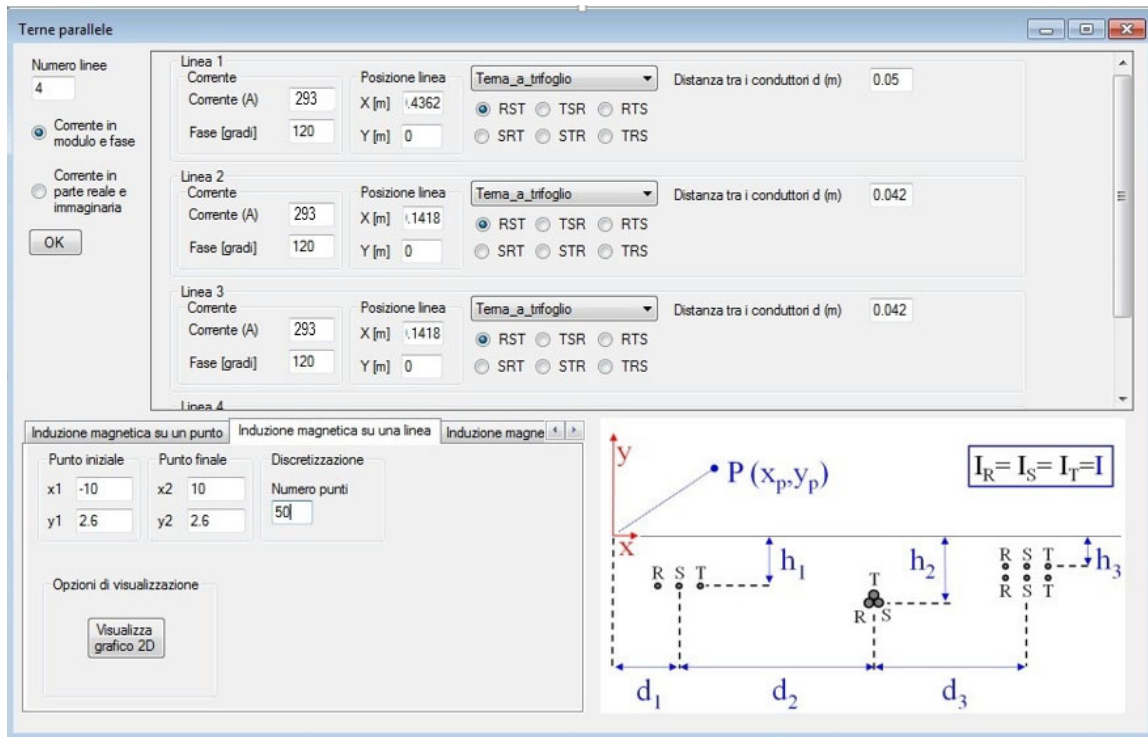


Fig. 1. Parametri inseriti nel Software per il calcolo dell'induzione magnetica rispetto ad una linea di esplorazione

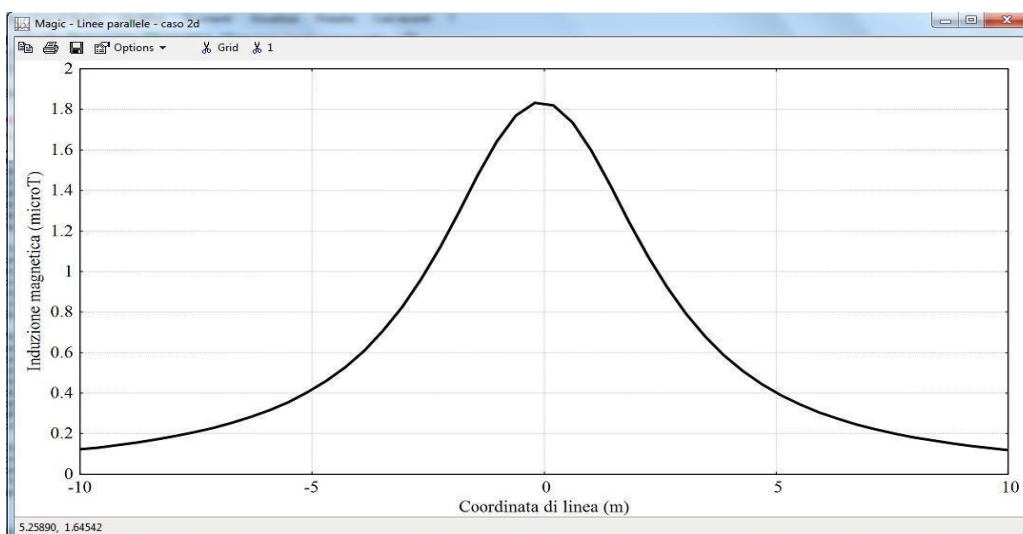




Fig. 2. Rappresentazione bidimensionale dei risultati il cui riferimento di calcolo dell'induzione magnetica è a quota pari alla linea di esplorazione (Fig. 8)

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:

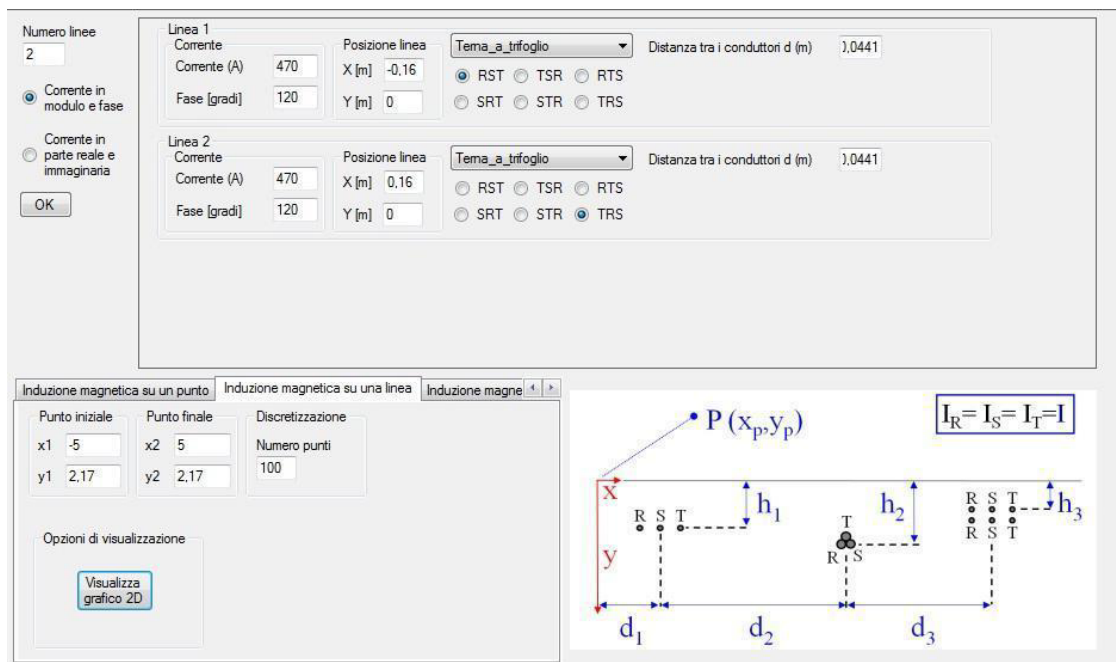
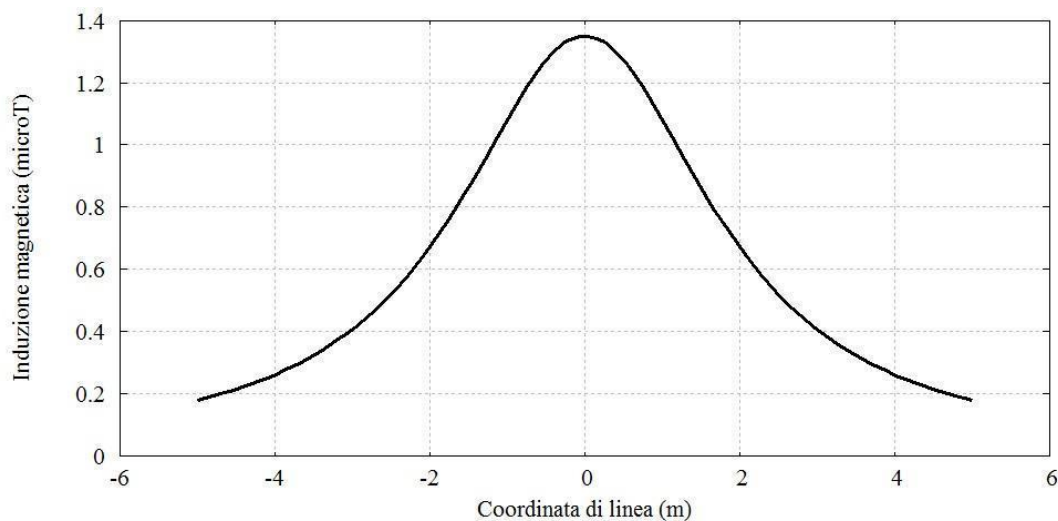


Fig. 3. Parametri inseriti nel Software per il calcolo dell'induzione magnetica rispetto ad una linea



0.107276, 0.752866



Fig. 4. 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 3: 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.

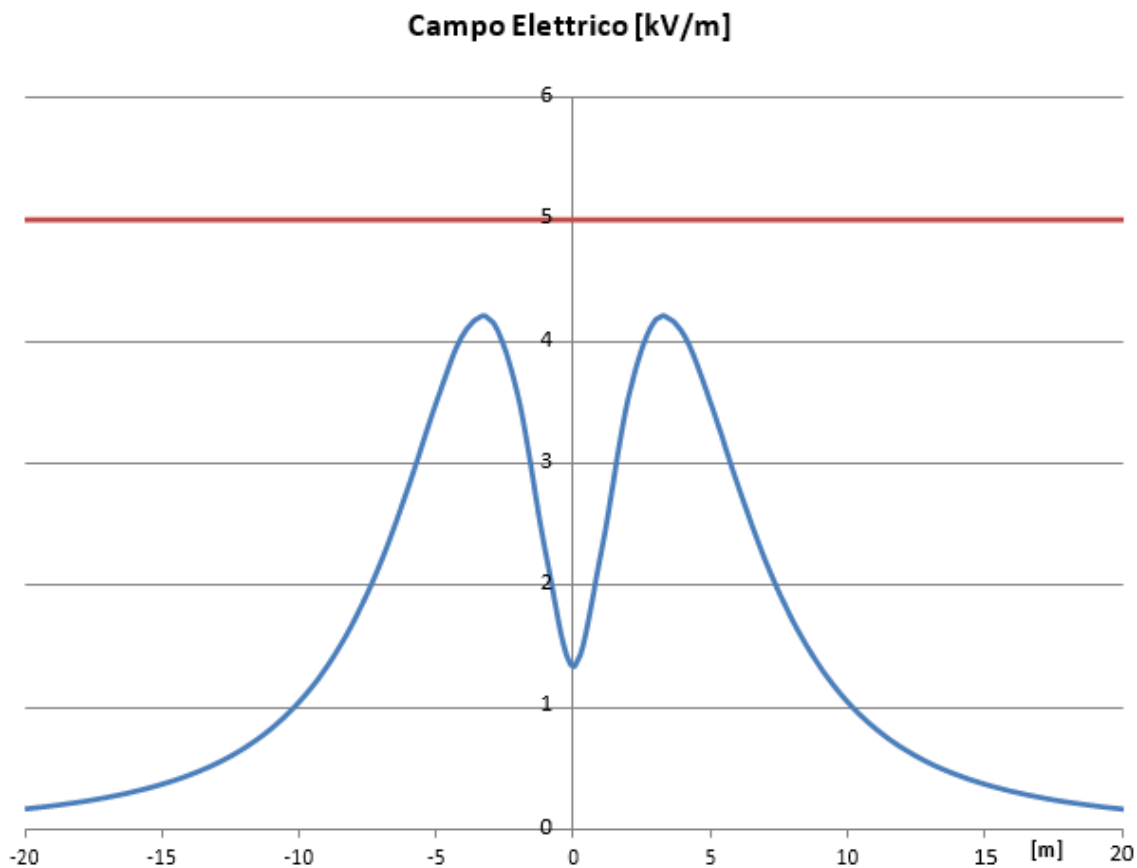


Fig. 5. Campo elettrico al suolo generato dal sistema di sbarre a 150 kV

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.

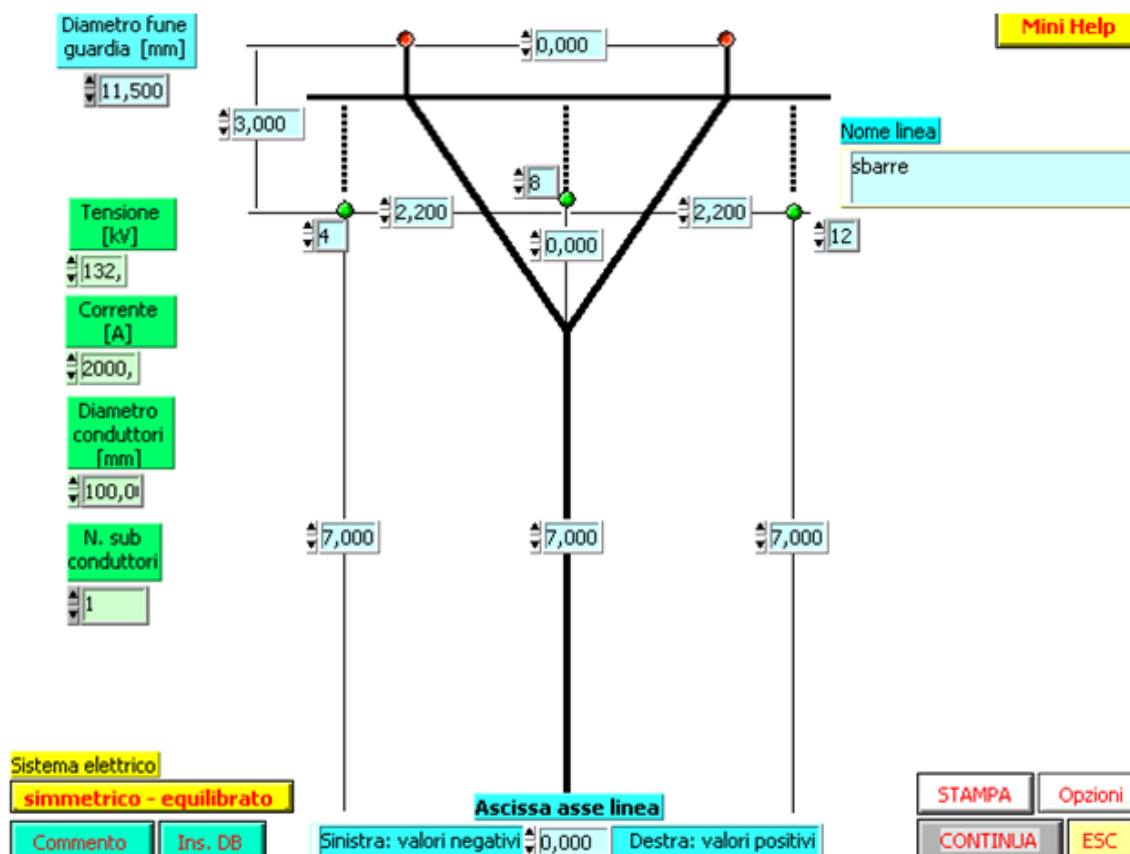


Fig. 6. Linea AT con disposizione conduttori in piano assimilabile ad un sistema semplice sbarra a 132/150 kV

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.

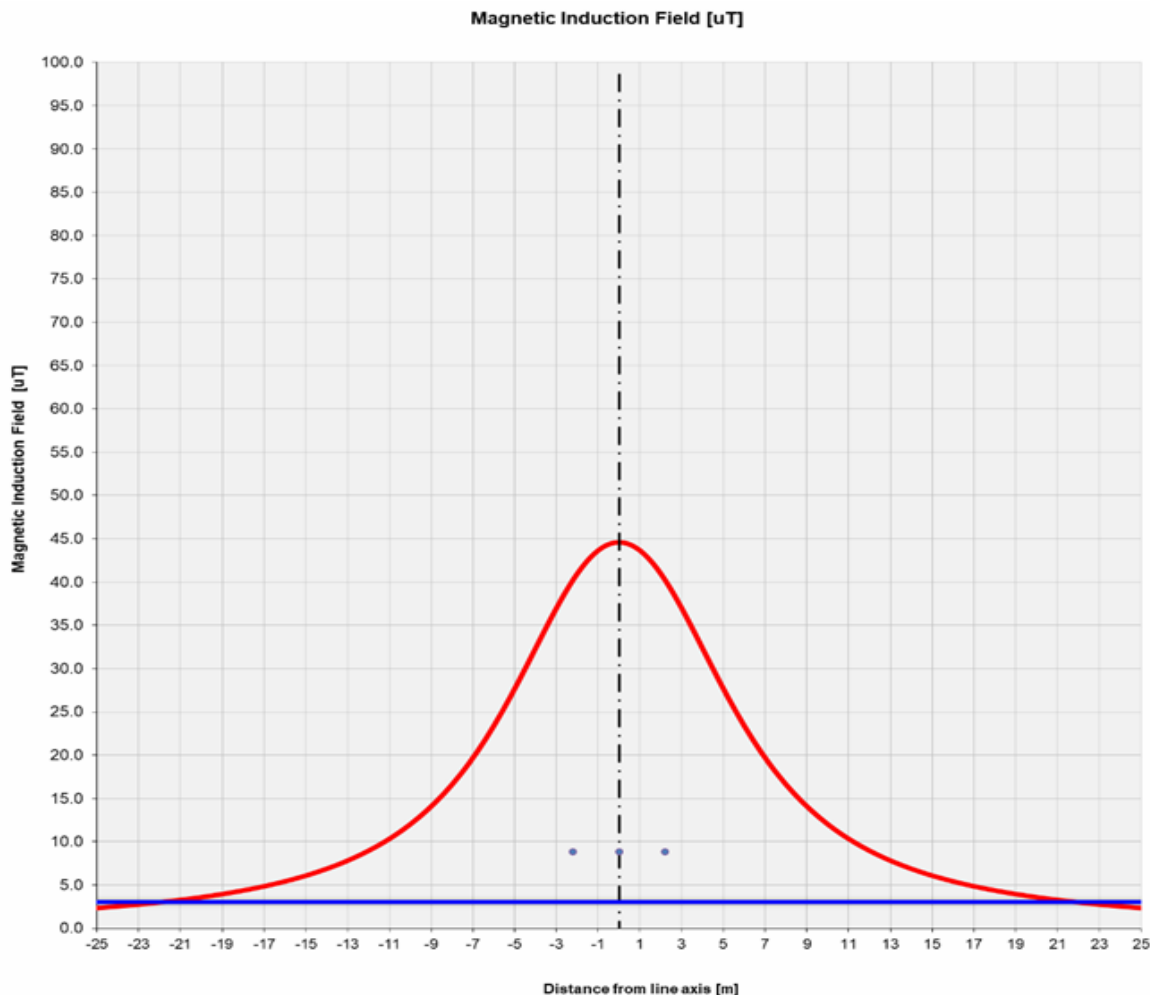


Fig. 7. Andamento del campo di induzione magnetica per $I = 2000$ A

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 4: 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 mm² tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in politenereticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, guaina in alluminio longitudinalmente saldata, rivestimento in polietene 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 transitante 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.

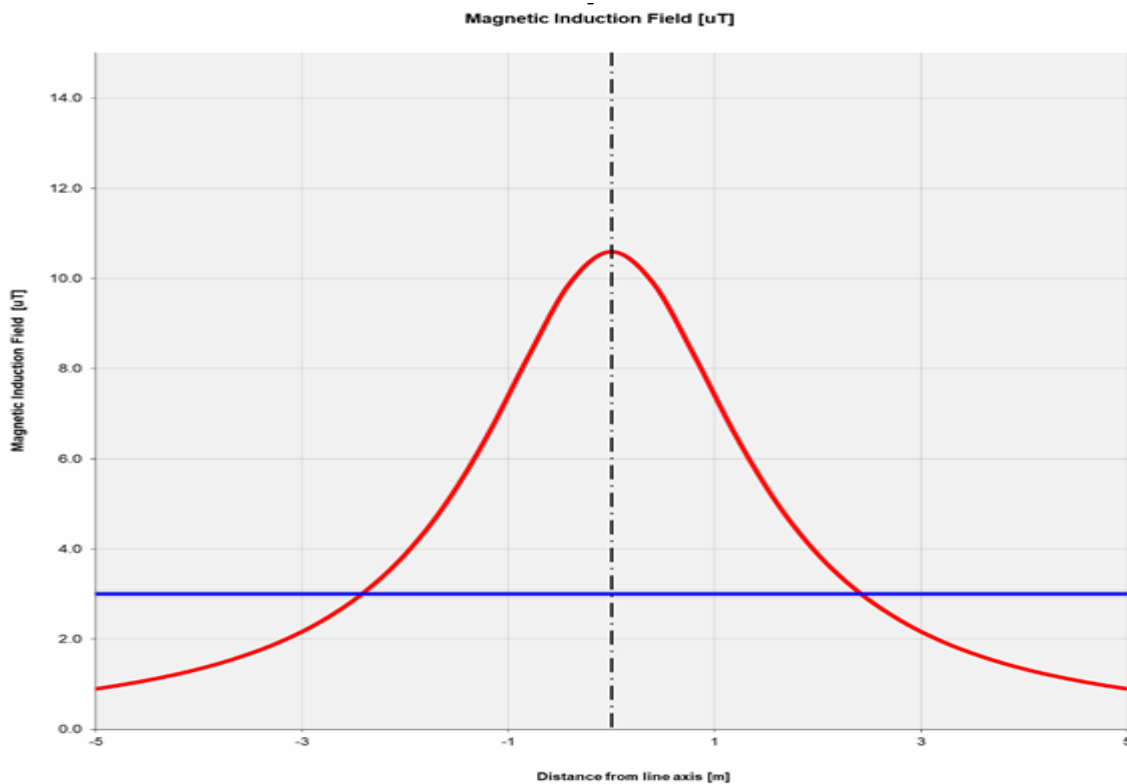


Fig. 8. Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo AT

Il limite di 3 μT 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 μT** 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 μT** 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 (μT)
Caso 1: – Scavo a 4 Terne	<1,85
Caso 2 – Scavo a 2 Terne	< 1.4

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 μT** .

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, Dicembre 2022

STUDIO INGEGNERIA ELETTRICA

Ing. MEZZINA Antonio

