

REGIONE LAZIO  
PROVINCIA DI VITERBO  
COMUNE DI GALLESE

PROVVEDIMENTO UNICO IN MATERIA AMBIENTALE  
(Art. 27 del D. Lgs. 152/2006)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO  
DELLA POTENZA DI 24,88 MW E DELLE RELATIVE OPERE DI  
CONNESSIONE DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI GALLESE (VT), LOC.  
COLLE PASTORE - SAN BENEDETTO

Denominazione impianto:

FV GALLESE

Committenza:



SOLAR ENERGY 2 S.r.l.  
Via Giuseppe Taschini, 19  
01033 Civita Castellana  
P.IVA 02430400560

Progettazione:



Progettazione impianti  
progettazione e sviluppo  
energie da fonti rinnovabili  
Via Giuseppe Taschini, 19  
01033 Civita Castellana  
P.IVA 02030790568

Per. Ind. Lamberto Chiodi  
Per. Ind. Danilo Rocco  
Arch. Enea Franchi  
Per. Agr. Federico Mauri  
Restituzione Grafica Azzurra Salari  
Anna Lisa Chiodi

Documento:

Denominazione elaborato:

REL. 3

Relazione Campi elettromagnetici

Revisione:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	
00	13/06/2023	Prima emissione	



**TEIMEC S.r.l.**  
**Gallese, Italia**

## Impianto fotovoltaico Gallese - 21.529 MW

**Relazione di Impatto Elettromagnetico per il Piano Tecnico delle opere di connessione di un impianto fotovoltaico in Gallese (VT)**

**Doc. No. P0035106-H10\_Rev00\_PTO Gallese\_Relazione Impatto Elettromagnetico**

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
1	Seconda Emissione	Francesco Guzzo Cava	ARU03	EC003	27/06/2023
0	Prima Emissione	Francesco Guzzo Cava	ARU03	EC003	19/05/2023

**RINA Consulting S.p.A.** | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.  
 Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org  
 C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

## INDICE

	Pag.
<b>INDICE</b>	<b>1</b>
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>2</b>
<b>ABBREVIAZIONI E ACRONIMI</b>	<b>3</b>
<b>SCOPO DEL DOCUMENTO</b>	<b>4</b>
<b>1   NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>5</b>
1.1   RIFERIMENTI NORMATIVI	5
1.2   RIFERIMENTI TECNICI	5
<b>2   VALORI DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>3   OBBLIGHI RELATIVI ALLA SICUREZZA DEL LAVORO E MISURE DI PREVENZIONE DEL RISCHIO</b>	<b>7</b>
<b>4   DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO</b>	<b>9</b>
4.1   SOGGETTO PROPONENTE	9
4.2   INQUADRAMENTO E DATI GENERALI DELL'IMPIANTO	9
<b>5   CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERRATI IN MT</b>	<b>12</b>
5.1   CARATTERISTICHE DEI CAVIDOTTI IN MT	12
5.2   CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA DEI SINGOLI CAVIDOTTI INTERRATI IN MT	14
5.3   CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA DEL CAVIDOTTO INTERRATO IN MT NEL TRATTO COMUNE	18
<b>6   CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA IN AT</b>	<b>21</b>
<b>7   CONCLUSIONI</b>	<b>23</b>

## LISTA DELLE TABELLE

	Pag.
Tabella 1 – Limiti di esposizione e obiettivi di qualità	6
Tabella 2 – Caratteristiche delle linee interrate in MT	12
Tabella 3 – Calcolo induzione magnetica dei singoli cavidotti interrati in MT	14
Tabella 4 – Andamento tabellare del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 1	15
Tabella 5 – Andamento tabellare del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 2	17
Tabella 6 – Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati in MT nel tratto comune	18
Tabella 7 – Andamento tabellare del campo magnetico generato dal cavidotto in MT nel tratto comune	19

## LISTA DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 1 - Inquadramento dell'area nello stato attuale	9
Figura 2 - Inquadramento dell'area nello stato ex post	10
Figura 3 - Inquadramento dell'area della Cabina primaria nello stato ex post	10
Figura 4 – Sezione tipica del cavidotto interrato	13
Figura 5 – Cavo interrato a trifoglio	13
Figura 6 – Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 1	16
Figura 7 – Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 2	18
Figura 8 – Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto in MT nel tratto comune	20

## ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

<b>AC</b>	Corrente alternata
<b>APAT</b>	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
<b>AT</b>	Alta Tensione
<b>BT</b>	Bassa tensione
<b>CEM</b>	Campo Elettromagnetico
<b>DC</b>	Corrente continua
<b>DPA</b>	Distanza di Prima Approssimazione
<b>MT</b>	Media tensione
<b>SSE</b>	Sottostazione Elettrica di Utente
<b>VA</b>	Valori di Azione
<b>VLE</b>	Valori Limite di Esposizione

---

## SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo della presente indagine è valutare l'esposizione ai campi elettromagnetici per la protezione dai rischi per la salute della popolazione e dei lavoratori che opereranno nel costruendo impianto fotovoltaico di TEIMEC S.R.L. e nella annessa sottostazione di trasformazione elettrica MT-AT "Cabina Primaria Gallese" (di seguito per brevità indicata come SSE).

La stesura del presente documento è stata effettuata dall'Ing. Francesco Guzzo Cava iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Roma al n. A25814 con domicilio professionale in via Gadames 5 in Roma.

Il Tecnico ha preso visione degli elaborati progettuali messi a disposizione dalla Committenza.

## 1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

- ✓ Decreto Legislativo 1° agosto 2016, n. 159, "Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE".
- ✓ Direttiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 giugno 2013, sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (ventesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE). Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea 29.6.2013 n. L 179/1.
- ✓ Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro." e successive modifiche e integrazioni. In particolare, il Titolo VIII, capo IV "Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici".
- ✓ D.P.C.M 8 luglio 2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. (GU n. 200 del 29 agosto 2003).
- ✓ L. 22/02/2001, n. 36: Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" (G.U. 7.3.2001, n. 55).
- ✓ Raccomandazione del Consiglio del 12 luglio 1999 (1999/519/CE) relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz (Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea L. 199/59 del 30 luglio 1999).

### 1.2 RIFERIMENTI TECNICI

- ✓ CEI EN 50499 - Procedura per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici
- ✓ CEI 106-12: Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT/BT
- ✓ Norma CEI 106-11: Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del D.P.C.M. 8 luglio 2003;
- ✓ ICNIRP Guidelines 2010 "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz)"; Health Physics Vol. 99; n.6: pp. 818-836
- ✓ Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle regioni e delle province autonome "D.Lgs. 81/08 Titolo VIII, Capo IV e s.m.i. Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici. Indicazioni operative" Rev. 18/03/2019.
- ✓ ICNIRP Statement Marzo 2003. "Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines"; Health Physics, Vol. 84, n.3, pp.383-387
- ✓ CEI 211-6/2001: Guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana
- ✓ CEI 211-7/2001: Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana
- ✓ ICNIRP Guidelines Aprile 1998. "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)"; Health Physics, Vol.74, n.4, pp.494-522
- ✓ Linea Guida di e-Distribuzione per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08 Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche.

## 2 VALORI DI RIFERIMENTO

I valori limiti di riferimento si desumono dal DPCM 08/07/2003, che fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete generati dagli elettrodotti. Si è, inoltre, tenuto conto di quanto previsto dal DM 29/05/2008 per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (metodologia di calcolo indicata dall'APAT), e della Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n.55.

Il DPCM 08/07/2003 stabilisce per l'induzione magnetica un limite di esposizione da non superare in nessuna circostanza di 100  $\mu\text{T}$  che coincide con quello indicato dalla Raccomandazione del Consiglio (1999/519/CE) a 50 Hz; per il campo elettrico il limite è di 5 kV/m.

A titolo di misura cautelativa per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il Valore di attenzione di 10 $\mu\text{T}$ , da intendersi come mediana dei valori nell'arco di 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

I limiti prefissati sono riportati nella tabella successiva.

Tabella 1 – Limiti di esposizione e obiettivi di qualità

Limite	Frequenza	Campo elettrico	Campo magnetico	Note
<b>Limiti di esposizione</b>	50Hz	5 kV/m	100 $\mu\text{T}$ (valore efficace)	Valore di immissione che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori, ai fini della tutela della salute da effetti acuti
<b>Valore di attenzione</b>	50Hz	-	10 $\mu\text{T}$ (mediana dei valori nelle 24 h)	Valore di immissione che non deve essere superato nei luoghi adibiti a permanenze prolungate non inferiori a 4 ore/giorno, aree gioco, scuole e abitazioni. Si tratta di una misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine
<b>Obiettivo di qualità</b>	50Hz	-	3 $\mu\text{T}$ (mediana dei valori nelle 24 h)	Progressiva minimizzazione della esposizione della popolazione ai campi elettrico e magnetico. Valido per nuovi elettrodotti o nuove abitazioni

Per quanto concerne la sicurezza del lavoro del personale impiegato nell'impianto, ai sensi degli articoli 208 e 209 del D.Lgs 81/08, i valori limite di azione e di esposizione sono meno esigenti per l'esposizione a campi elettrico e magnetico a 50 Hz:

- ✓ Campo elettrico: VA(E) inferiore = 10.000 V/m  
VA(E) superiore = 20.000 V/m
- ✓ Induzione magnetica: VA(B) inferiore = 1.000  $\mu\text{T}$   
VA(B) superiore = 6.000  $\mu\text{T}$

Per i lavoratori non professionalmente esposti, il limite per l'induzione magnetica scende a 100  $\mu\text{T}$ .



### 3 OBBLIGHI RELATIVI ALLA SICUREZZA DEL LAVORO E MISURE DI PREVENZIONE DEL RISCHIO

Nell'ambito della valutazione dei rischi ex D.Lgs. 81/08 s.m.i., il Datore di lavoro deve valutare e, quando necessario, misurare o calcolare i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori. La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati in conformità alle norme europee standardizzate del Comitato europeo di normalizzazione elettrotecnica (CENELEC).

A seguito della valutazione dei livelli dei campi elettromagnetici, qualora risulti che siano superati i Valori di Azione, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, calcola se i Valori Limite di Esposizione sono stati superati.

La valutazione, la misurazione e il calcolo non devono necessariamente essere effettuati in luoghi di lavoro accessibili al pubblico purché si sia già proceduto a una valutazione conformemente alle disposizioni relative alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz e risultino rispettate per i lavoratori le restrizioni previste dalla raccomandazione 1999/519/CE del Consiglio, del 12 luglio 1999, e siano esclusi rischi relativi alla sicurezza.

Nella valutazione del rischio, il datore di lavoro presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

- ✓ il livello, lo spettro di frequenza, la durata e il tipo dell'esposizione;
- ✓ i Valori Limite di Esposizione e i Valori di Azione;
- ✓ tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio;
- ✓ qualsiasi effetto indiretto quale:
  - i. interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (compresi stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati);
  - ii. rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici con induzione magnetica superiore a 3 mT;
  - iii. innesco di dispositivi elettro-esplosivi (detonatori);
  - iv. incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche;
- ✓ l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre i livelli di esposizione ai campi elettromagnetici;
- ✓ per quanto possibile, informazioni adeguate raccolte nel corso della sorveglianza sanitaria, comprese le informazioni reperibili in pubblicazioni scientifiche;
- ✓ sorgenti multiple di esposizione;
- ✓ esposizione simultanea a campi di frequenze diverse.

Il datore di lavoro nel documento di valutazione del rischio deve precisare le misure adottate.

Nel documento di valutazione del rischio il datore di lavoro può includere una giustificazione, per la quale data la natura e l'entità dei rischi connessi con i campi elettromagnetici non è stata necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata.

Secondo il D.Lgs. 81/08 il datore di lavoro, tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, elimina alla sorgente o riduce al minimo i rischi derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici.

Qualora risulti che i Valori di Azione sono superati, il datore di lavoro, a meno che la valutazione dimostri che i Valori Limite di Esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza, elabora ed applica un programma d'azione che comprenda misure tecniche e organizzative intese a prevenire esposizioni superiori ai Valori Limite di Esposizione, tenendo conto in particolare:

- ✓ di altri metodi di lavoro che implicano una minore esposizione ai campi elettromagnetici;
- ✓ della scelta di attrezzature che emettano campi elettromagnetici di intensità inferiore, tenuto conto del lavoro da svolgere;
- ✓ delle misure tecniche per ridurre l'emissione dei campi elettromagnetici, incluso se necessario l'uso di dispositivi di sicurezza, schermature o di analoghi meccanismi di protezione della salute;

- ✓ degli appropriati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
- ✓ della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro;
- ✓ della limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- ✓ della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale.

I luoghi di lavoro dove i lavoratori possono essere esposti a campi elettromagnetici che superano i Valori di Azione devono essere indicati con un'apposita segnaletica. Tale obbligo non sussiste nel caso che dalla valutazione effettuata il datore di lavoro dimostri che i Valori Limite di Esposizione non sono superati e che possono essere esclusi rischi relativi alla sicurezza. Dette aree sono inoltre identificate e l'accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile e sussista il rischio di un superamento dei valori limite di esposizione.

In relazione alle norme tecniche e alle buone prassi, il datore di lavoro ricorrendo alle pertinenti procedure di valutazione dell'esposizione deve assicurare che l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici non superi i VLE relativi agli effetti sanitari e i VLE relativi agli effetti sensoriali per gli effetti non termici e per gli effetti termici. Qualora, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro, l'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici superi il VLE, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei VLE. Individua le cause del superamento dei Valori Limite di Esposizione e adegua di conseguenza le misure di protezione e prevenzione per evitare un nuovo superamento.

Il datore di lavoro adatta le misure alle esigenze dei lavoratori esposti particolarmente sensibili al rischio.

## 4 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

### 4.1 SOGGETTO PROPONENTE

Il soggetto proponente è la società TEIMEC S.R.L, con sede legale a Civita Castellana (VT), in via della Stazione, 36.

### 4.2 INQUADRAMENTO E DATI GENERALI DELL'IMPIANTO

L'intervento in progetto consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico su un terreno non edificato nel comune di Gallese di circa 57 ettari pianeggiante e della relativa cabina primaria per il collegamento alla rete elettrica nazionale da costruire su un terreno di circa un ettaro in prossimità del parco fotovoltaico.

Figura 1 - Inquadramento dell'area nello stato attuale





Figura 2 - Inquadramento dell'area nello stato ex post

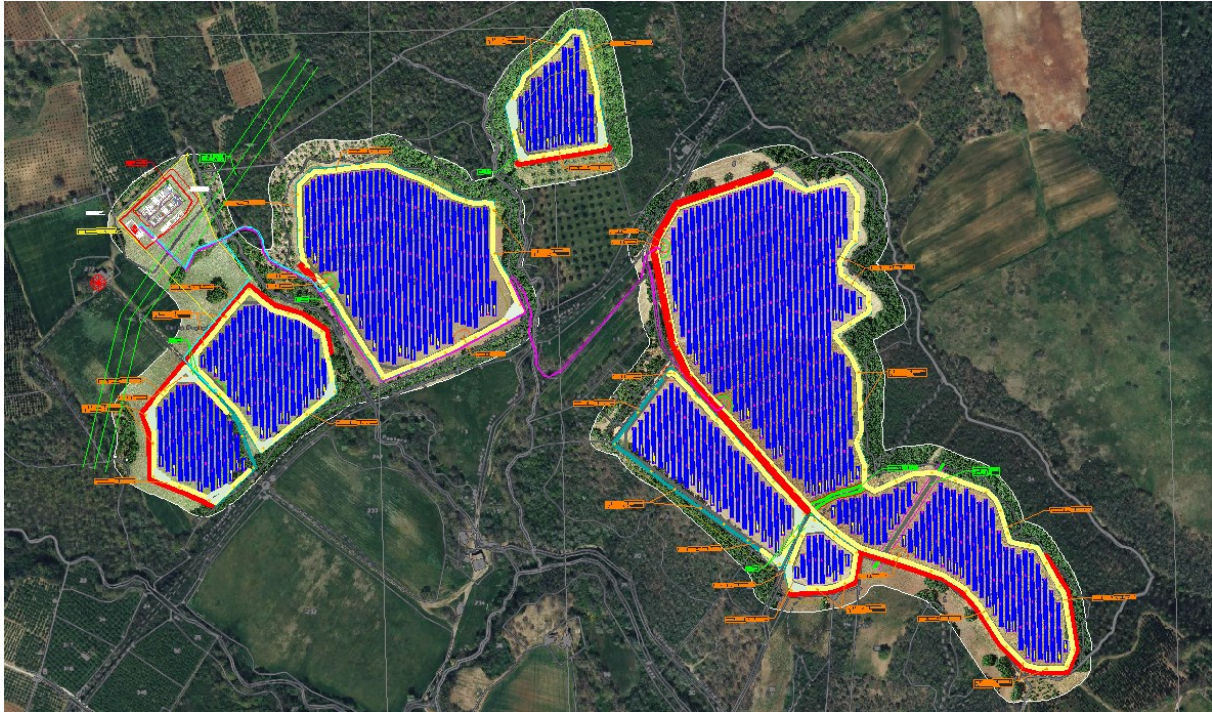


Figura 3 - Inquadramento dell'area della Cabina primaria nello stato ex post



L'impianto in oggetto è un parco fotovoltaico della potenza totale di 21,529 MW collegato a 20 kV alla Cabina Primaria Gallese di E-distribuzione e, quindi, alla rete elettrica nazionale di Terna in alta tensione a 132 kV.

L'impianto è costituito da 4 sottocampi, i primi due hanno una potenza totale di 9,93 MW e sono collegati fra loro ad anello, i sottocampi 3 e 4 hanno una potenza totale di 11,60 MW e sono sempre collegati ad anello.

L'impianto nel suo complesso è costituito dalle seguenti componenti:

- ✓ Pannelli fotovoltaici collegati in stringhe con serie e parallelo;
- ✓ Gruppi di conversione (Power Station) collegati ad un trasformatore di potenza MT/BT che trasforma la tensione a 20.000 V;
- ✓ Linee interrate da 20 kV che collegano i sottocampi fra loro e poi alla sottostazione utente,
- ✓ Una sottostazione utente di trasformazione AT/MT 132/20 kV nella futura Cabina Primaria "Gallese" di E-Distribuzione, con la realizzazione di uno stallo in AT con due trasformatori AT/MT 25 MVA e i relativi dispositivi di protezione e sezionamento.

L'impianto in progetto convoglierà l'energia verso una Sottostazione Elettrica di Utente (SSE) 132/20 kV connessa alla rete di trasmissione nazionale composta da due sezioni a 20 kV collegate in parallelo su una sbarra a 132 kV. Ogni sezione è composta da:

- ✓ n. 1 castelletto cavi AT con terminali cavi;
- ✓ n. 3 isolatori unipolari;
- ✓ n. 3 trasformatori di tensione capacitivi;
- ✓ n. 1 interruttore di protezione generale;
- ✓ n. 3 trasformatori di corrente;
- ✓ n. 1 sistema di distribuzione in sbarre;
- ✓ n. 3 sezionatori rotativi;
- ✓ n. 1 trasformatore AT/MT 132/20 kV della potenza di 25 MVA.

Infine, presso l'edificio di sottostazione, verranno installati i quadri MT di protezione, sezionamento e misura, nonché i quadri di bassa tensione per i servizi ausiliari.

La sottostazione avrà un locale tecnico da cui il personale potrà provvedere alla conduzione dell'installazione. Il personale non lavorerà mai continuativamente in tali locali anche perché la SSE sarà comunque controllabile anche da remoto.

## 5 CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAI CAVIDOTTI INTERRATI IN MT

### 5.1 CARATTERISTICHE DEI CAVIDOTTI IN MT

Per la valutazione del campo magnetico generato dagli elettrodotti interrati in MT occorre distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati. Il progetto prevede l'utilizzo di cavi unipolari del tipo in alluminio schermati in posa a trifoglio per tutte le sezioni di cavo. La tabella che segue mostra le differenti tipologie di cavi da utilizzare e le caratteristiche di posa.

Tabella 2 – Caratteristiche delle linee interrate in MT

Linea	P (MW)	Tensione (kV)	Lunghezza (m)	Sezione (mm <sup>2</sup> )	Disposizione	Corrente (A)
1	9,93	20	1130	240	2 x (3 x 1 x 240)	318,5
2	11,60	20	2744	240	2 x (3 x 1 x 240)	372,0

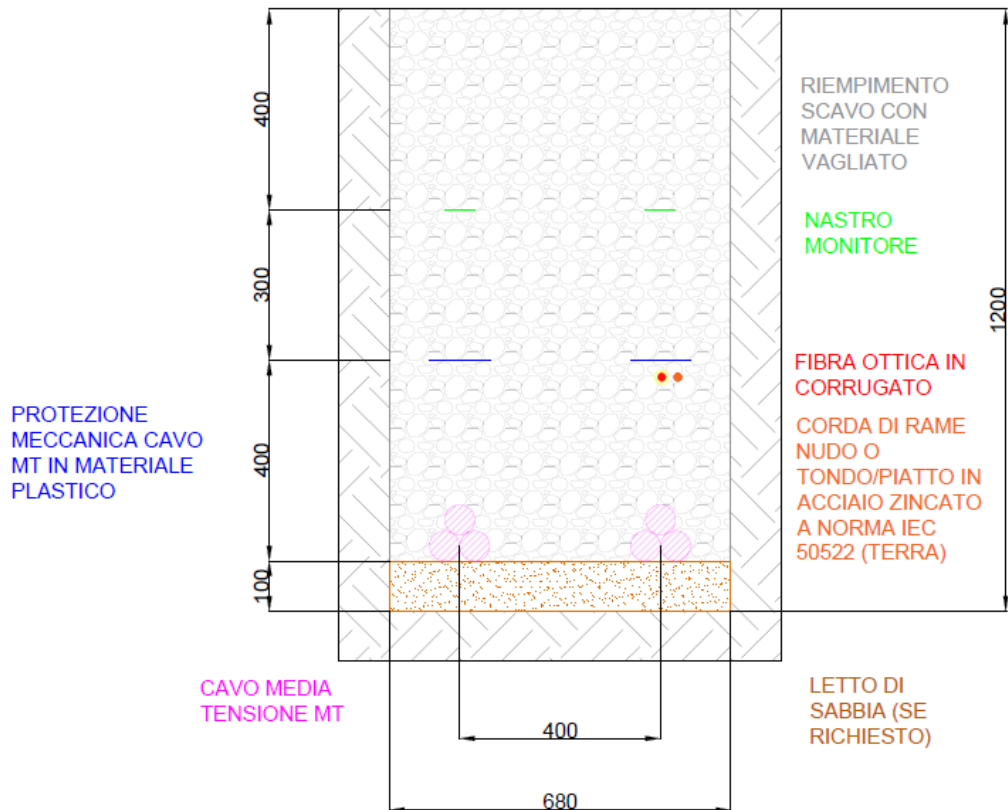
La linea 1 collega ad anello i sottocampi 1 e 2 che hanno una potenza totale di 9,93 MW con la sottostazione utente mentre la linea 2 collega ad anello i sottocampi 3 e 4 che hanno una potenza totale di 11,60 MW con la sottostazione utente. Le linee quindi partono dalle cabine di consegna di ogni sottocampo a 20 kV e vanno verso la sottostazione utente.

Si tratta di cavi unipolari da posare in formazione a trifoglio con conduttori in alluminio, congiunti in maniera da formare un unico fascio di forma rotonda. L'isolante dei cavi è costituito da miscela in XLPE e fra questo e il conduttore è interposto uno strato di miscela semiconduttrice. Sopra l'isolante è posto uno strato per la tenuta all'acqua, consistente in un nastro semiconduttore. Il cavo presenta uno schermo metallico realizzato con nastro di rame avvolto a cilindro longitudinale. Sopra lo schermo metallico sono presenti due differenti strati di protezione in guaina protettiva in polietilene. La tensione nominale dei cavi è pari a 20 kV.

Le due linee sono ad anello, ogni linea è quindi composta da un cavidotto con doppia terna a trifoglio. Si sceglie di verificare il rispetto delle prescrizioni di normative considerando il massimo della potenza elettrica trasportata su un'unica terna e sapendo comunque che molto difficilmente un impianto fotovoltaico raggiunge la potenza nominale. Inoltre per mettersi in condizioni il più possibile conservative, si è scelto di calcolare le correnti di linea utilizzando un cos fi (fattore di potenza) di 0,9 quando tipicamente una centrale fotovoltaica lavora con fattore di potenza più altro.

Inoltre la verifica dei campi elettromagnetici viene eseguita anche sul tratto terminale del cavidotto dove nello stesso scavo saranno presenti 4 terne in quanto le due linee viaggeranno assieme verso la Sottostazione elettrica. Anche in questo caso si sceglie di verificare il rispetto delle prescrizioni di normative considerando il massimo della potenza elettrica e si utilizza un cos fi di 0,9.

Figura 4 – Sezione tipica del cavidotto interrato



La metodologia di calcolo è quella proposta dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) secondo il DM 29/5/2008 e specificate nella norma CEI 106-11.

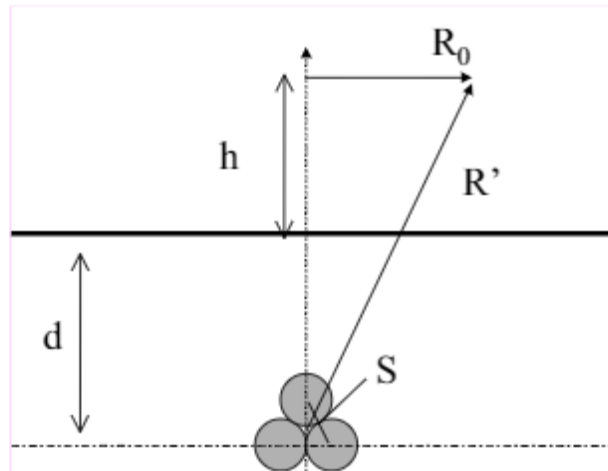
Per il caso di una singola terna di cavi sotterranei di MT posati a trifoglio, si utilizza la formula suggerita dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3 per cui è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

$$B = 0,1 \times \sqrt{6} \times \frac{S \times I}{R^2}$$

Dove B espresso in  $\mu\text{T}$  è l'induzione magnetica calcolata in un punto distante R dal conduttore come rappresentato nella figura sottostante.

Figura 5 – Cavo interrato a trifoglio





Dove:

- ✓ S è la distanza fra il centro di due conduttori;
- ✓ R è la distanza dal conduttore al punto di misura;
- ✓ I è la corrente che attraversa il conduttore.

## 5.2 CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA DEI SINGOLI CAVIDOTTI INTERRATI IN MT

Considerando la profondità di posa di 1,1 m e scegliendo l'altezza di misura  $h = 1$  m si ottengono i seguenti dati in corrispondenza dell'asse y del conduttore.

Tabella 3 – Calcolo induzione magnetica dei singoli cavidotti interrati in MT

Caso	N° Terne	Sezione	Portata cavo corretta	Induzione B calcolata a 1 m
Linea 1 da 9,93 MW	2	3 x 1 x 240 mm <sup>2</sup>	318,5 A	0,885 μT
Linea 2 da 11,60 MW	2	3 x 1 x 240 mm <sup>2</sup>	372,0 A	1,033 μT

Per entrambe le linee i valori sono decisamente inferiori al valore di qualità di 3 μT previsto per proteggere la popolazione e a maggior ragione ai Valori di Azione (VA) inferiori e ai Valori Limiti di Esposizione (VLE) previsti dal D.Lgs. 81/08 per la sicurezza dei lavoratori.

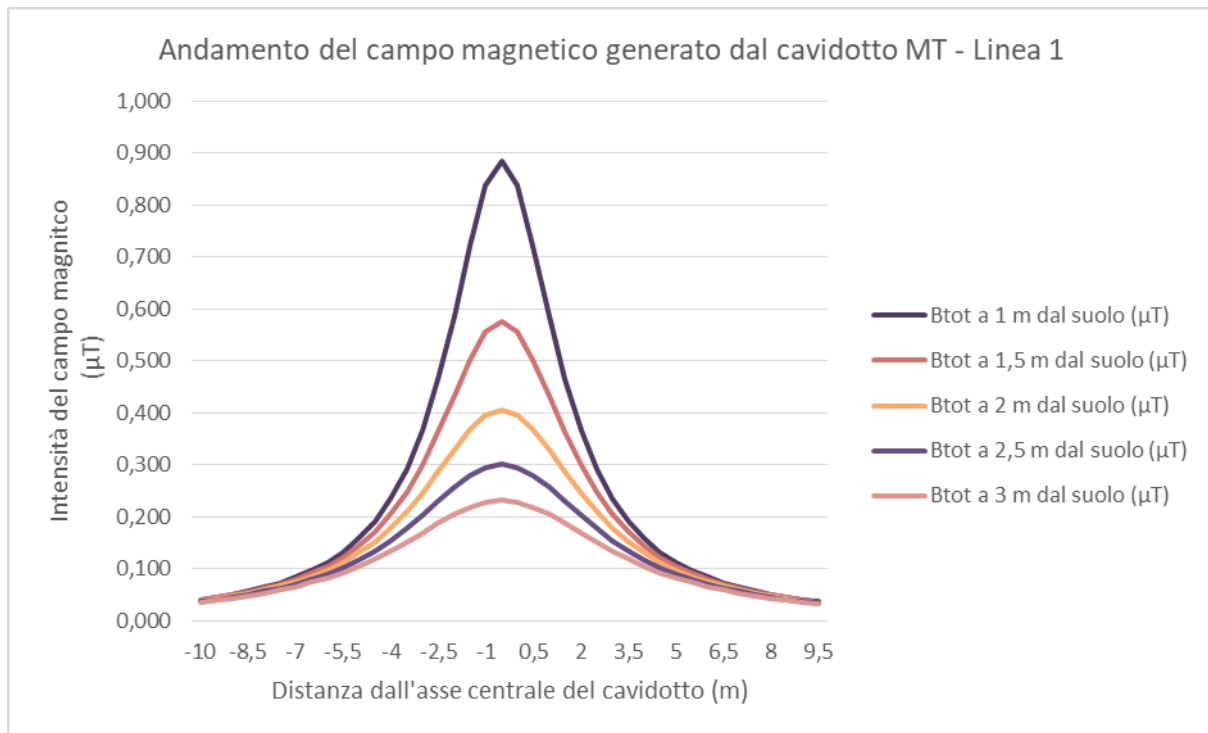


**Tabella 4 – Andamento tabellare del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 1**

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo (μT)
-10	0,037	0,037	0,036	0,035	0,033
-9,5	0,041	0,040	0,039	0,038	0,036
-9	0,046	0,044	0,043	0,042	0,040
-8,5	0,051	0,049	0,048	0,046	0,044
-8	0,057	0,055	0,053	0,051	0,048
-7,5	0,064	0,062	0,059	0,056	0,053
-7	0,073	0,070	0,067	0,063	0,059
-6,5	0,084	0,080	0,075	0,071	0,066
-6	0,097	0,091	0,086	0,080	0,074
-5,5	0,113	0,105	0,098	0,090	0,083
-5	0,133	0,123	0,113	0,103	0,093
-4,5	0,158	0,144	0,131	0,117	0,105
-4	0,191	0,171	0,152	0,135	0,119
-3,5	0,234	0,205	0,178	0,155	0,134
-3	0,291	0,248	0,210	0,178	0,151
-2,5	0,366	0,300	0,246	0,203	0,169
-2	0,464	0,363	0,287	0,230	0,187
-1,5	0,586	0,433	0,329	0,256	0,205
-1	0,721	0,503	0,368	0,279	0,219
-0,5	0,837	0,556	0,396	0,295	0,229
<b>0</b>	<b>0,885</b>	<b>0,577</b>	<b>0,406</b>	<b>0,301</b>	<b>0,232</b>
0,5	0,837	0,556	0,396	0,295	0,229
1	0,721	0,503	0,368	0,279	0,219
1,5	0,586	0,433	0,329	0,256	0,205
2	0,464	0,363	0,287	0,230	0,187
2,5	0,366	0,300	0,246	0,203	0,169
3	0,291	0,248	0,210	0,178	0,151
3,5	0,234	0,205	0,178	0,155	0,134
4	0,191	0,171	0,152	0,135	0,119
4,5	0,158	0,144	0,131	0,117	0,105
5	0,133	0,123	0,113	0,103	0,093
5,5	0,113	0,105	0,098	0,090	0,083
6	0,097	0,091	0,086	0,080	0,074
6,5	0,084	0,080	0,075	0,071	0,066
7	0,073	0,070	0,067	0,063	0,059
7,5	0,064	0,062	0,059	0,056	0,053
8	0,057	0,055	0,053	0,051	0,048
8,5	0,051	0,049	0,048	0,046	0,044
9	0,046	0,044	0,043	0,042	0,040
9,5	0,041	0,040	0,039	0,038	0,036
10	0,037	0,037	0,036	0,035	0,033

Nel diagramma seguente si può notare che il campo magnetico ha un comportamento prettamente gaussiano cioè diminuisce allontanandosi dalla verticale del cavidotto per annullarsi ad una distanza di 10 m dall'asse del cavidotto stesso. Chiaramente l'intensità del campo diminuisce all'aumentare della quota a cui viene calcolato.

Figura 6 – Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 1

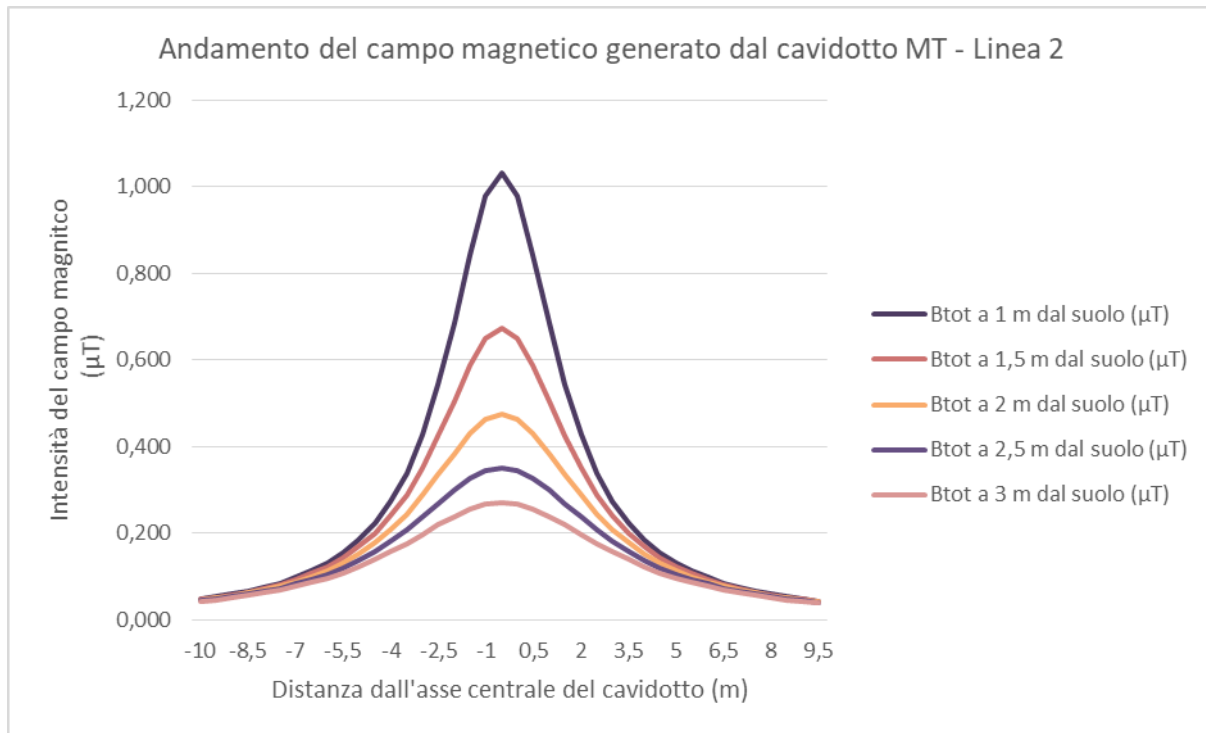


**Tabella 5 – Andamento tabellare del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 2**

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 2,5 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 3 m dal suolo (μT)
-10	0,044	0,043	0,042	0,040	0,039
-9,5	0,048	0,047	0,046	0,044	0,043
-9	0,053	0,052	0,050	0,048	0,047
-8,5	0,059	0,058	0,056	0,053	0,051
-8	0,067	0,064	0,062	0,059	0,056
-7,5	0,075	0,072	0,069	0,066	0,062
-7	0,085	0,082	0,078	0,074	0,069
-6,5	0,098	0,093	0,088	0,083	0,077
-6	0,113	0,107	0,100	0,093	0,086
-5,5	0,131	0,123	0,114	0,105	0,097
-5	0,155	0,143	0,132	0,120	0,109
-4,5	0,185	0,169	0,153	0,137	0,123
-4	0,223	0,200	0,178	0,157	0,139
-3,5	0,273	0,240	0,208	0,181	0,157
-3	0,340	0,289	0,245	0,207	0,177
-2,5	0,427	0,350	0,287	0,237	0,198
-2	0,542	0,423	0,335	0,269	0,219
-1,5	0,684	0,506	0,384	0,300	0,239
-1	0,842	0,587	0,429	0,326	0,256
-0,5	0,978	0,650	0,462	0,345	0,267
<b>0</b>	<b>1,033</b>	<b>0,674</b>	<b>0,474</b>	<b>0,352</b>	<b>0,271</b>
0,5	0,978	0,650	0,462	0,345	0,267
1	0,842	0,587	0,429	0,326	0,256
1,5	0,684	0,506	0,384	0,300	0,239
2	0,542	0,423	0,335	0,269	0,219
2,5	0,427	0,350	0,287	0,237	0,198
3	0,340	0,289	0,245	0,207	0,177
3,5	0,273	0,240	0,208	0,181	0,157
4	0,223	0,200	0,178	0,157	0,139
4,5	0,185	0,169	0,153	0,137	0,123
5	0,155	0,143	0,132	0,120	0,109
5,5	0,131	0,123	0,114	0,105	0,097
6	0,113	0,107	0,100	0,093	0,086
6,5	0,098	0,093	0,088	0,083	0,077
7	0,085	0,082	0,078	0,074	0,069
7,5	0,075	0,072	0,069	0,066	0,062
8	0,067	0,064	0,062	0,059	0,056
8,5	0,059	0,058	0,056	0,053	0,051
9	0,053	0,052	0,050	0,048	0,047
9,5	0,048	0,047	0,046	0,044	0,043
10	0,044	0,043	0,042	0,040	0,039

Nel diagramma seguente si può notare che il campo magnetico ha un comportamento prettamente gaussiano cioè diminuisce allontanandosi dalla verticale del cavidotto per annullarsi ad una distanza di 10 m dall'asse del cavidotto stesso. Chiaramente l'intensità del campo diminuisce all'aumentare della quota a cui viene calcolato.

Figura 7 – Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto in MT Linea 2



### 5.3 CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA DEL CAVIDOTTO INTERRATO IN MT NEL TRATTO COMUNE

Il calcolo seguente riguarda il tratto dove la linea 1 e la linea 2 corrono assieme nello stesso cavidotto verso la Sottostazione elettrica.

Considerando la profondità di posa di 1,1 m e scegliendo l'altezza di misura  $h = 1$  m si ottengono i seguenti dati in corrispondenza dell'asse y del conduttore.

Tabella 6 – Calcolo induzione magnetica dei cavidotti interrati in MT nel tratto comune

Caso	N° Terne	Sezione	Portata cavo corretta	Induzione B complessiva calcolata a 1 m
Linea 1 da 9,93 MW	2	3 x 1 x 240 mm <sup>2</sup>	318,5 A	1,541 µT
Linea 2 da 11,60 MW	2	3 x 1 x 240 mm <sup>2</sup>	372,0 A	

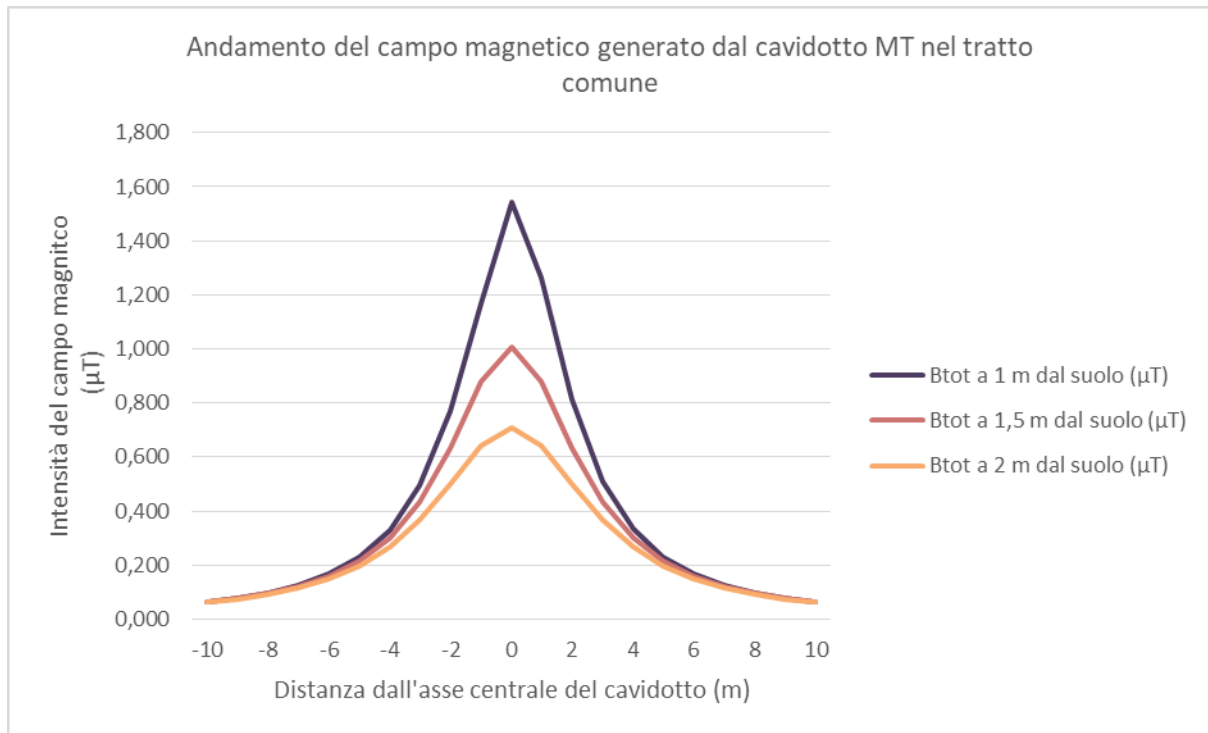
Il valore è decisamente inferiore al valore di qualità di 3 µT previsto per proteggere la popolazione e a maggior ragione ai Valori di Azione (VA) inferiori e ai Valori Limiti di Esposizione (VLE) previsti dal D.Lgs. 81/08 per la sicurezza dei lavoratori.

Tabella 7 – Andamento tabellare del campo magnetico generato dal cavidotto in MT nel tratto comune

Distanza dall'asse centrale del cavidotto (m)	B <sub>tot</sub> a 1 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 1,5 m dal suolo (μT)	B <sub>tot</sub> a 2 m dal suolo (μT)
-10	0,065	0,064	0,062
-9	0,079	0,077	0,075
-8	0,099	0,096	0,092
-7	0,126	0,122	0,116
-6	0,166	0,159	0,149
-5	0,228	0,214	0,196
-4	0,327	0,299	0,266
-3	0,493	0,432	0,366
-2	0,772	0,634	0,500
-1	1,168	0,878	0,641
0	1,541	1,005	0,707
1	1,261	0,878	0,641
2	0,812	0,634	0,500
3	0,509	0,432	0,366
4	0,334	0,299	0,266
5	0,231	0,214	0,196
6	0,168	0,159	0,149
7	0,127	0,122	0,116
8	0,099	0,096	0,092
9	0,079	0,077	0,075
10	0,065	0,064	0,062

Nel diagramma seguente si può notare che il campo magnetico ha un comportamento prettamente gaussiano cioè diminuisce allontanandosi dalla verticale del cavidotto per annullarsi ad una distanza di 10 m dall'asse del cavidotto stesso. Chiaramente l'intensità del campo diminuisce all'aumentare della quota a cui viene calcolato.

Figura 8 – Andamento del campo magnetico generato dal cavidotto in MT nel tratto comune



## 6 CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA IN AT

La Cabina Primaria Gallese a cui si conetterà l'impianto in oggetto avrà una sala di controllo da cui il personale condurrà la sottostazione ma mai in forma continuativa in quanto la SSE è controllabile anche da remoto fino a quando non è necessario eseguire delle manovre elettriche in sito.

I punti di emissione presenti nella SSE sono:

- ✓ Linee di BT con apparecchiature elettroniche;
- ✓ Celle MT nella cabina elettrica MT;
- ✓ Nr. 2 trasformatori MT/AT da 25 MVA di cui uno per l'impianto fotovoltaico di TEIMEC oggetto della presente relazione e uno che sarà utilizzato da un altro utente attivo ancora da individuare;
- ✓ Sbarre in AT in uscita dai trasformatori in AT per la connessione alla SSE Terna in antenna.

Per quanto riguarda le linee BT e le apparecchiature elettroniche presenti nei locali tecnici della Sala Controllo, le apparecchiature possono essere considerate conformi e non presentano un rischio per i lavoratori.

Per il calcolo del campo magnetico prodotto dal singolo trasformatore MT/AT si fa ancora riferimento al campo prodotto i punti maggiormente a rischio sono anche in questo caso i cavi in ingresso in MT e quelli in uscita verso le sbarre in AT. La presenza della cassa di ferro rende trascurabili i flussi dispersi nell'ambiente circostante e il campo magnetico misurato sulla parte esterna adiacente al trasformatore è sostanzialmente imputabile ai cavi MT e AT che si collegano ai suoi terminali. I cavi sono attraversati da correnti e generano un campo elettromagnetico proporzionale alla corrente.

Facendo riferimento sempre alla Guida CEI 106-12 si può utilizzare la seguente formula per calcolare il campo magnetico prodotto da terne di cavi disposti in parallelo.

$$B = 0,2 \times \sqrt{3} \frac{I}{D} \times \frac{S}{D} \quad [\mu T]$$

Dove:

- ✓ B è il campo magnetico prodotto
- ✓ I è la corrente che attraversa la terna di conduttori
- ✓ S è la distanza fra i conduttori
- ✓ D è la distanza a cui si calcola il campo magnetico.

Imponendo il limite di 1.000  $\mu T$  si ottiene la relazione che indica a quale distanza in metri tale condizione è verificata a partire da distanze maggiori di:

$$D = \sqrt{\frac{0,2 \times \sqrt{3} \times I \times S}{1000}} \quad [m]$$

Analogamente imponendo il limite di 100  $\mu T$  si ottiene la relazione che indica a quale distanza in metri tale condizione è verificata per i lavoratori occasionali non professionalmente esposti:

$$D = \sqrt{\frac{0,2 \times \sqrt{3} \times I \times S}{100}} \quad [m]$$

Analogamente imponendo il limite di 3  $\mu T$  si ottiene la relazione che indica a quale distanza in metri tale condizione è verificata per rispettare l'obiettivo qualità, tale distanza è la DPA (Distanza di prima approssimazione):

$$D = \sqrt{\frac{0,2 \times \sqrt{3} \times I \times S}{3}} \quad [m]$$

Il trasformatore di TEIMEC riceverà una terna di cavi in MT percorsi da corrente nominale di 690 A alla tensione di 20.000 V con distanza fra le fasi di circa 40 cm. In uscita ciascun trasformatore ha delle sbarre poste a distanza reciproca di 2,20 m percorse da corrente nominale di 48,3 A alla tensione di 132.000 V. Le distanze a cui vengono rispettati i limiti imposti sono riassunte nella tabella seguente.

Sorgente CEM	Correnti	Tensioni	Distanza D Lavoratori	Distanza D Lavoratori non prof. esposti	DPA obiettivo qualità 3 µT
Cavi in MT	1 x 3 x 690 A	20.000 V	0,31 m	0,98 m	5,65 m
Sbarre in AT	3 x 105 A	132.000 V	0,28 m	0,89 m	5,15 m

Le distanze calcolate sono coerenti anche con le prescrizioni normative, la DPA di 5,15 m è rispettata in quanto ricade all'interno dell'area dell'impianto.

Le distanze calcolate sono compatibili con le attività che vengono eseguite nella SSE: in quanto i lavoratori (professionalmente esposti e non esposti) non si avvicinano mai così tanto ai conduttori quando sono percorsi da corrente in MT. Per quanto riguarda la AT, le distanze vengono rispettate sia per la geometria stessa delle sbarre, dei sezionatori sia per contenere il rischio di elettrocuzione. Si ricordi che le misure di distanza dai conduttori nudi imposte dall'All. IX al D.Lgs 81/08 sono ben più stringenti di quanto emerso dal calcolo dei campi elettromagnetici.

Per simulare il campo elettromagnetico generato dal secondo trasformatore che sarà utilizzato dall'altro produttore ancora da individuare, si ipotizza che il trasformatore riceverà la stessa intensità di corrente generata dall'impianto fotovoltaico TEIMEC.

Dalla Sottostazione partiranno due cavidotti interrati per il collegamento alla RTN di Terna. Allo stato attuale non è ancora definito il percorso ma le correnti avranno intensità massima di 105 A, pertanto, il campo elettromagnetico generato sarà decisamente contenuto.



## 7 CONCLUSIONI

Il presente documento è una valutazione preliminare del rischio di esposizione ai campi elettromagnetici per il piano tecnico delle opere (PTO) per l'impianto fotovoltaico di TEIMEC S.R.L. attualmente in fase di progetto nel comune di Gallese (VT).

L'esposizione è stata valutata dal Tecnico incaricato in base alla documentazione progettuale messa a disposizione dal Committente.

I punti di maggiore attenzione sono: i cavidotti in MT che collegano i sottocampi alla sottostazione utente MT-AT nella Cabina Primaria, e la Sottostazione Terna. Le sorgenti più pericolose dal punto di vista dei CEM sono i cavi percorsi da corrente e l'intensità dei campi prodotti è proporzionale alla corrente che attraversa i conduttori.

La valutazione ha tenuto in conto della tipologia, della frequenza e della durata delle mansioni che il personale svolgerà nell'impianto e nella SSE. L'analisi è stata condotta in forma molto conservativa in quanto i valori limite da normativa si basano su una media giornaliera mentre i calcoli sono stati eseguiti considerando che l'impianto lavori sempre nelle condizioni di massima potenza in immissione quando invece dal tramonto l'impianto non produrrà e pertanto non vi saranno campi elettromagnetici di intensità apprezzabile.

Dall'analisi svolta risulta che tutti i cavidotti interrati non rappresentano un pericolo in quanto l'intensità dei campi elettromagnetici prodotti sono estremamente contenute grazie all'assorbimento garantito dal terreno stesso.

L'area della SSE prevede un rischio di esposizione soprattutto in prossimità del trasformatore MT-AT sia dal lato dei cavi in MT che da quello delle sbarre in AT. La distanza di prima approssimazione (DPA) più critica è quella dalle sbarre in AT che prevede una distanza di 5,15 m ed è rispettata considerando che tutta la fascia della DPA ricade all'interno del terreno di proprietà.

Dalle verifiche eseguite non si rilevano rischi per la popolazione né per i lavoratori coinvolti nella gestione dell'impianto.

Roma, 15/5/2023

Il Tecnico

Ing. Francesco Guzzo

