



COMUNE DI VITORCHIANO



COMUNE DI VITERBO

PROVINCIA DI VITERBO



REGIONE LAZIO



REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW

Denominazione Impianto:

VITERBO

Ubicazione:

Strada comunale di Ferento – S.P. n. 23 della Vezza
(Frazione Grotte Santo Stefano)
01100 Viterbo (VT)

- Strada vicinale del Pantano (Località San Silvestro)
- S.P. n. 23 della Vezza (Località Pozzali)
01030 Vitorchiano (VT)

ELABORATO
020805

RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Cod. Doc.: VIT-020805-R_Rel-Campi-Elettromag

Sviluppatore:



Project - Commissioning – Consulting
ENGINEERING ENERGY TERRA PROJECTS S.R.L.
Str. Grigore Ionescu, 63, Bl. T73, sc. 2,
Sect 2, Jud. Municipiul Bucuresti, Romania
RO43492950

Scala: --

PROGETTO

Data:

30/11/2023

PRELIMINARE



DEFINITIVO



AS BUILT



Proponente:



CCEN VITERBO S.R.L.
Piazza Walther Von Vogelweide, 8
39100 BOLZANO BZ
P.IVA 03093300212
REA BZ-231516
PEC ccen_viterbo@pec.it

Tecnici e Professionisti:


Ing. Luca Ferracuti Pompa
Iscritto al n. A344 dell'Albo dell'Ordine degli
Ingegneri della Provincia di Fermo

Versione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
00	30/11/2023	Prima emissione	L.F.P.	L.F.P.	L.F.P.
01					
02					
03					

Il Tecnico:
Dott. Ing. Luca Ferracuti Pompa




Il Proponente:
CCEN VITERBO S.R.L.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 2 di 20

SOMMARIO

1. OGGETTO	3
2. LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE.....	3
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3.1 NORME TECNICHE	4
3.2 LEGISLAZIONE ITALIANA	4
3.3 ATTUAZIONE NORMATIVA VIGENTE	5
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO ELETTRICO	8
4.1 CARATTERISTICHE DELLA RETE ELETTRICA	8
5. VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI.....	9
5.1 APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA TUTELA DELLA POPOLAZIONE	9
5.2 CRITERI DI VALUTAZIONE	9
5.3 VALUTAZIONI E CALCOLI PER LE CABINE ELETTRICHE DI CONVERSIONE E TRASFORMAZIONE	10
5.3.1 SBARRE QUADRI BT.....	10
5.3.2 TRASFORMATORE MT/BT	11
5.4 VALUTAZIONE ANALITICA DEI CAMPI MAGNETICI GENERATI DAGLI ELETTRODOTTI.....	12
5.4.1 CASO CON N. 2 TERNE DI CAVI MT INTERRATI DI SEZIONE 240 MM ²	12
5.4.2 CASO CON N. 1 TERNE DI CAVI AT INTERRATI DI SEZIONE 1600 MM ²	15
5.5 SOTTOSTAZIONE DI TRASFORMAZIONE AT/MT	18
6. CONCLUSIONI.....	20

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 3 di 20

1. OGGETTO

Il presente documento è parte della documentazione relativa al progetto per la costruzione e l'esercizio in conformità alle vigenti disposizioni di legge di un **IMPIANTO AGROVOLTAICO** costituito da:

- un generatore di energia elettrica da fonte rinnovabile solare di potenza di picco pari a **33.805,20 kW** e potenza massima in immissione pari 45.000,00 kW, suddiviso in n. 3 sottocampi;
- un sistema agro-zootecnico diversificato che prevede la coltivazione di olivo per la produzione di oliva da olio, foraggio e pascolo per ovini;

da realizzare nei **Comuni di Vitorchiano e Viterbo (VT)**.

L'impianto sarà del tipo *grid connected* e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, previa elevazione di tensione da 30 kV a 150 kV con allaccio presso una nuova sottostazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150 kV di Terna S.p.A., come da STMG avente **codice di rintracciabilità n. 202000953**.

Il progetto prevede le seguenti opere da autorizzare:

- Generatore fotovoltaico da 33.085,20 kWp
- Elettrodotto interrato MT 30 kV
- Stazione di Elevazione di Utenza 30/150 kV
- Elettrodotto interrato AT 150 kV


Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la centrale di produzione venga collegata in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV della nuova Stazione di Smistamento (ubicata nel territorio comunale di Viterbo, frazione Grotte Santo Stefano, in Località Piscinale presso la Strada vicinale del Cavato) di asservimento alla nuova Stazione Elettrica Primaria SE-RTN 380/150 kV, ubicata in comune di Vitorchiano - Località Pozzali, da inserire in entra-esce sull' elettrodotto RTN a 380 kV "Roma Nord - Pian della Speranza".

Il proponente e soggetto responsabile è la società **CCEN VITERBO S.R.L.** corrente in Bolzano (BZ) – Piazza Walther Von Vogelweide, 8 – n. iscrizione REA BZ-231516 – P.IVA 03093300212 – PEC: ccen_viterbo@pec.it – Legale Rappresentante sig. Menyesch Joerg.

2. LE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

I campi elettromagnetici consistono in onde elettriche (E) e magnetiche (H) che viaggiano insieme. Esse si propagano alla velocità della luce, e sono caratterizzate da una frequenza ed una lunghezza d'onda.

I campi ELF (Extremely Low Frequency) sono definiti come quelli di frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati e valutati separatamente.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 4 di 20

I campi elettrici sono prodotti dalle cariche elettriche. Essi governano il moto di altre cariche elettriche che vi siano immerse. La loro intensità viene misurata in volt al metro (V/m) o in chilovolt al metro (kV/m). Quando delle cariche si accumulano su di un oggetto, fanno sì che cariche di segno uguale od opposto vengano, rispettivamente, respinte o attratte. L'intensità di questo effetto viene caratterizzata attraverso la tensione, misurata in volt (V).

A ogni dispositivo collegato ad una presa elettrica, anche se non acceso, è associato un campo elettrico che è proporzionale alla tensione della sorgente cui è collegato. L'intensità dei campi elettrici è massima vicino al dispositivo e diminuisce con la distanza. Molti materiali comuni, come il legno ed il metallo, costituiscono uno schermo per questi campi.

I campi magnetici sono prodotti dal moto delle cariche elettriche, cioè dalla corrente. Essi governano il moto delle cariche elettriche. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m), ma è spesso espressa in termini di una grandezza corrispondente, l'induzione magnetica, che si misura in tesla (T), millitesla (mT) o microtesla (μ T). Ad ogni dispositivo collegato ad una presa elettrica, se il dispositivo è acceso e vi è una corrente circolante, è associato un campo magnetico proporzionale alla corrente fornita dalla sorgente cui il dispositivo è collegato. I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza. Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Ai fini dell'esposizione umana alle radiazioni non ionizzanti, considerando le caratteristiche fisiche delle grandezze elettriche in gioco in un impianto fotovoltaico (tensioni fino a 20.000 V, correnti continue o alternate a frequenza di 50 Hz) i campi elettrici e magnetici sono da valutarsi separatamente perché disaccoppiati.


3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 Norme tecniche

- CEI 211-6 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana";
- CEI R014-001 "Guida per la valutazione dei campi elettromagnetici attorno ai trasformatori di potenza";
- CEI 11-60" Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV";
- CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche";
- CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo";
- 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 I".

3.2 Legislazione italiana

- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 5 di 20

- DPCM 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”;
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.

3.3 Attuazione Normativa vigente

Secondo quanto previsto dalla legge del 22 febbraio 2001, n. 36, in particolare all’art. 4, comma 2, lettera a), il DPCM 8 luglio 2003 ha fissato i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dall’esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz connessi al funzionamento e all’esercizio degli elettrodotti:

LIMITE DI ESPOSIZIONE

Valore efficace che non deve essere superato in caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti

100 μ T

5 kV/m

VALORE DI ATTENZIONE

Mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare 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


10 μ T

OBIETTIVO DI QUALITA'

Mediana dei valori nell’arco delle ventiquattro ore nelle normali condizioni di esercizio da considerare ai fini della progressiva minimizzazione dell’esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz 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 di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee elettriche già presenti nel territorio.

3 μ T

In base all’art. 5 le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6 prima edizione e successivi aggiornamenti. Inoltre, il sistema agenziale APAT-ARPA dovrà determinare le procedure di misura e valutazione, con l’approvazione del Ministero dell’Ambiente, per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell’obiettivo di qualità. Per la verifica delle disposizioni di cui agli articoli 3 e 4, oltre alle misurazioni e determinazioni di cui sopra, il sistema agenziale APAT-ARPA può avvalersi di metodologie di calcolo basate su dati tecnici e storici dell’elettrodotto.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 6 di 20

Dal campo di applicazione del DPCM è espressamente esclusa, invece, l'applicazione dei limiti, valori di attenzione e obiettivi di qualità di cui sopra ai lavoratori esposti ai campi per ragioni professionali (art. 1 comma 2).

Inoltre, in base all'art. 1 comma 3 per tutte le sezioni di impianto non incluse nella definizione di "elettrdotto" o che sono esercite con frequenze diverse dai 50 Hz, fino a 100 kHz, si applicano i limiti della raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999. In particolare, andrà rispettato, se applicabile nei confronti della popolazione, per la sezione in corrente continua il limite di riferimento per induzione magnetica di 40.000 μT .

L'art. 6 del DPCM 8/7/03 recita:

1. *"Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'art. 4 [...]"*
2. *"L'APAT, sentite le ARPA, definirà la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorità competenti"*.


Per quanto riguarda la determinazione delle fasce di rispetto riferite agli elettrodotti sia aerei che interrati, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha comunicato con lettera prot. DSA/2004/25291 del 15 novembre 2004, che *"la metodica da usarsi per la determinazione provvisoria delle fasce di rispetto pertinenti ad una o più linee elettriche aeree o interrate che insistono sulla medesima porzione di territorio può compiersi come segue:*

[...]

3. *Le linee possono essere schematizzate così come prevede la norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche", cap. 4.1. Il calcolo può essere eseguito secondo l'algoritmo definito al cap. 4.3.*
4. *Si calcolano le regioni di spazio definite dal luogo delle superfici di isocampo di induzione magnetica pari a 3 μT in termini di valore efficace.*
5. *Le proiezioni verticali a livello del suolo di dette superfici determinano le fasce di rispetto. Le relative dimensioni, espresse in metri, possono essere arrotondate all'intero più vicino"*.

Si precisa, inoltre, che secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato (§ 3.2), la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto **ad esclusione** di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- linee di Media Tensione in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 7 di 20


La costruzione e l'esercizio dell'impianto fotovoltaico e delle relative opere connesse, così come riportato negli elaborati tecnici di progetto, saranno eseguiti secondo le norme di legge e le norme tecniche del CEI nonché, per la parte di connessione alla rete, secondo le disposizioni normative di Enel Distribuzione S.p.A.

La valutazione dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale è invece argomento della Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e stazioni elettriche", dalla quale sono state tratte tutte le ipotesi di calcolo. In particolare:

- tutti i conduttori costituenti la linea (sia i conduttori attivi sia i conduttori di guardia) sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro; in base a queste ipotesi, si trascura la componente longitudinale dell'induzione magnetica; nella realtà, i conduttori suddetti si dispongono secondo una catenaria, ma la componente longitudinale non supera in genere il 10% delle altre componenti del campo, per cui
- l'errore che si commette, nel calcolo della risultante, è certamente inferiore, in percentuale, a questo valore;
- i conduttori sono considerati di forma cilindrica, con diametro costante disposti a fascio di 3 per fase; si suppone che la distanza tra i singoli conduttori a uguale potenziale sia piccola rispetto alla distanza tra i conduttori a diverso potenziale; si suppone inoltre che i conduttori appartenenti ad un fascio siano uguali tra di loro e che, in una sezione normale del fascio, i loro centri giacciono su una circonferenza (circonferenza circoscritta al fascio); in base a queste ipotesi, si sostituisce al fascio di sub-conduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
- il suolo è considerato piano, privo di irregolarità, perfettamente conduttore dal punto di vista elettrico, perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico;
- si trascura l'influenza sulla distribuzione del campo dei tralicci stessi, di piloni di sostegno, degli edifici, della vegetazione e di qualunque altro oggetto che si trovi nell'area interessata, ovvero si calcola il campo imperturbato.

Le ipotesi suddette permettono di ridurre il calcolo del campo ad un problema piano, essendo, in questo caso, la distribuzione stessa uguale su qualunque sezione normale all'asse longitudinale della linea. A parità di altri fattori, l'accuratezza dei dati forniti è ovviamente tanto maggiore quanto più le condizioni reali sono aderenti a quelle sopra elencate.

La guida 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" costituisce l'applicazione delle formule fornite dalla guida CEI 211-4 ai diversi tipi di elettrodotti, quindi anche interrati. A sufficiente distanza dalla terna di conduttori, la superficie su cui l'induzione assume lo stesso valore (superficie isolivello) ha con buona approssimazione la forma di un cilindro avente come asse la catenaria ideale passante per il baricentro dei conduttori. La sezione trasversale di tale cilindro è una circonferenza. Prendendo in corrispondenza del valore di $3 \mu\text{T}$, si può calcolare il raggio della corrispondente circonferenza, che costituisce la fascia di rispetto.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 8 di 20

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO ELETTRICO

L'area dell'impianto fotovoltaico sarà interamente recintata.

Internamente al campo, lungo la viabilità, saranno ubicate le cabine elettriche dell'impianto realizzate in prefabbricati in cav e da container ad un solo piano fuori terra di dimensioni strettamente necessarie ad ospitare le apparecchiature elettriche (quadri elettrici ecc.). Come sempre accade per le cabine elettriche sarà regola realizzativa il collegamento dell'armatura metallica delle strutture all'impianto di terra.

La restante parte dell'area di impianto è a cielo aperto ed ospiterà l'impianto fotovoltaico e le strade di collegamento.

Tutti i principali cablaggi dell'impianto, in particolare i cavi MT sono in esecuzione interrata. In particolare, saranno in esecuzione interrata le dorsali di impianto e tutti i collegamenti elettrici di distribuzione all'interno della cabina elettrica.

Gli elettrodotti interni saranno in bassa tensione, corrente continua e corrente alternata, e in media tensione in corrente alternata.

I cablaggi tra i moduli fotovoltaici e tutti i cablaggi dell'impianto di produzione fino all'inverter, sono eserciti in **corrente continua**. Infatti, i moduli fotovoltaici trasformano l'energia del sole in energia elettrica in corrente continua. La tensione massima della sezione in corrente continua è da progetto fino a 1500 V (tensione in ingresso all'inverter).

Sugli inverter avviene la conversione dell'energia elettrica prodotta da corrente continua a bassa tensione a corrente alternata trifase a bassa tensione (600 V) che poi viene trasformata in tensione a 20.000 V nell'adiacente scomparto di trasformazione.


Generalmente la massima producibilità del sistema fotovoltaico sul lato BT in corrente alternata ha un'efficienza al max dell'86% rispetto all'energia producibile nominale del sistema ai morsetti dei moduli in condizioni standard di funzionamento.

A vantaggio di sicurezza per il calcolo del limite di esposizione si utilizzeranno le potenze nominali degli apparati elettrici principali, ovvero la potenza nominale del trasformatore elevatore MT/BT.

4.1 Caratteristiche della rete elettrica

La rete elettrica da realizzare è divisa in sezioni in base alla tensione di esercizio:

- Bassa tensione* in corrente continua (inferiore a 1,5 kV) tra i moduli FV e l'inverter;
- Bassa tensione* in corrente alternata (600 V AC inferiore a 1 kV) tra gli inverter e il trasformatore;
- Media Tensione* (20 kV) tra le cabine di trasformazione e quella di raccolta e tra la cabina di raccolta e la Sottostazione si Trasformazione AT/MT; tali condutture sono tutte realizzate in esecuzione interrata secondo la norma CEI 11-17. Particolari realizzativi di questa sezione di rete sono l'utilizzo di cavi unipolari a campo elettrico radiale singolarmente schermati con gli schermi atterrati ad entrambe le estremità, cordati (intrecciati) ad elica visibile, posati direttamente nello scavo;
- Alta Tensione* (150 kV) tra la Sottostazione si Trasformazione AT/MT e il punto di consegna sullo stallo della futura stazione AT RTN; tali condutture sono tutte realizzate in esecuzione interrata secondo la norma CEI 11-17. Particolari realizzativi di

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 9 di 20

questa sezione di rete sono l'utilizzo di cavi unipolari a campo elettrico radiale singolarmente schermati con gli schermi aterrati ad entrambe le estremità, cordati (intrecciati) ad elica visibile, posati direttamente nello scavo;

5. VALUTAZIONE PREVENTIVA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

5.1 Applicazione della normativa sulla tutela della popolazione

Per tutto ciò che attiene la valutazione dei campi magnetici ed elettrici all'interno dell'impianto fotovoltaico, essendo l'accesso all'impianto ammesso esclusivamente a personale lavoratore autorizzato, non trova applicazione il DPCM 8 luglio 2003.

Invece per le aree esterne a ridosso dell'impianto e nelle vicinanze delle opere di rete per la connessione vanno verificati i limiti di esposizione, secondo gli obiettivi di qualità del DPCM 8 luglio 2003.

Rimane comunque inteso che i limiti esposti dal DPCM si applicano esclusivamente alla parte esterna dell'impianto e relativamente ai campi magnetici prodotti da correnti di frequenza 50 Hz. Per la valutazione dei *campi magnetici statici* prodotti dalla sezione in corrente continua, se necessario, si farà riferimento alla raccomandazione del Consiglio dell'Unione Europea del 12 luglio 1999.


5.2 Criteri di valutazione

Al contrario delle linee elettriche, per le quali è ormai consolidato un metodo di calcolo preventivo dei campi magnetici ed elettrici, per le cabine elettriche e per tutti i sistemi non assimilabili alle linee elettriche, a causa delle geometrie complesse, non è agevole determinare gli andamenti dei campi elettrici e magnetici con modelli matematici, ma a valle di considerazioni preventive di massima. In caso di dubbio si deve procedere direttamente alle misure in campo.

Una prima sorgente emissiva è rappresentata dal generatore fotovoltaico e dai relativi cavidotti di collegamento con la cabina elettrica dove avviene la conversione e trasformazione.

Considerando che:

- tale sezione di impianto è tutta esercita in corrente continua (0 Hz) in bassa tensione;
- buona esecuzione vuole che i cavi di diversa polarizzazione (+ e -) viaggino sempre a contatto, annullando reciprocamente quasi del tutto i campi magnetici statici prodotti in un punto esterno (tale precauzione viene in genere presa soprattutto al fine della protezione dalle sovratensioni limitando al massimo l'area della spira che si viene a creare tra il cavo positivo e il cavo negativo);
- i cavi di stringa fino agli inverter saranno posati lungo le file dei moduli distanti diversi metri dalle recinzioni di confine;
- per la frequenza 0-1 Hz il limite di riferimento per induzione magnetica che non deve essere superato è di **40.000 μ T**, valore 400 volte più alto dell'equivalente per la corrente a 50 Hz;

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 10 di 20

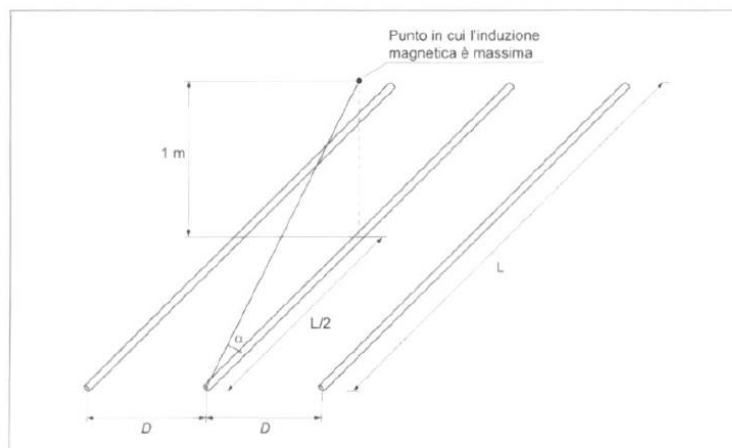
si può certamente escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo magnetico statico dovuti alla sezione in corrente continua.

Per quanto concerne la sezione in **corrente alternata**, all'interno del campo, le principali sorgenti emissive sono l'inverter, le sbarre di bassa tensione dei quadri generali BT, il o i trasformatori elevatori e gli elettrodotti in media e bassa tensione. Invece all'esterno del campo le principali sorgenti sono l'elettrodotto di vettoriamento MT e AT con la sottostazione di trasformazione AT/MT.

5.3 VALUTAZIONI E CALCOLI PER LE CABINE ELETTRICHE DI CONVERSIONE E TRASFORMAZIONE

5.3.1 Sbarre Quadri BT


Per la valutazione dei campi generati dalle sbarre di bassa tensione, contenute nel quadro BT, si è ipotizzato che esse siano parallele e distino l'una dall'altra **D** (espressa in metri), siano lunghe **L** metri ed attraversate da una corrente **I**. Ad un metro di distanza dalle sbarre l'induzione magnetica assume il suo massimo valore:



$$B_{MAX} = \frac{0,346 \cdot I \cdot D \cdot \sin(\arctan(L/2))}{1 + D^2}$$

Nella Tabella seguente sono riportati i valori massimi di induzione magnetica **B_{MAX}** espressi in μT per alcuni valori di **L**, e **I** con tipica distanza sbarre **D** di 10 cm:

L	D	I				
		100 A	200 A	500 A	1000 A	4000 A
(m)	(cm)					
1	10	1,5	3,1	7,7	15,3	61,3

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 11 di 20

2	10	2,4	4,9	12,1	24,3	1226
5	10	3,2	6,4	15,9	31,8	306
10	10	3,4	6,7	16,8	33,6	612

Dalla tabella risulta che l'induzione aumenta con la lunghezza L, ma oltre i 5 m l'aumento diventa trascurabile. Tali valori sono compatibili, nelle vicinanze del quadro, con la legislazione vigente. Riguardo all'inverter essi saranno certificati CE e in particolare rispetteranno tutte le norme nazionali ed europee in materia di compatibilità elettromagnetica.

Nel nostro caso specifico il quadro BT potrebbe essere costruito avendo le sbarre lunghe 1 m e tipica distanza tra esse di 10 cm, l'induzione magnetica non supererebbe i 61,3 uT per quadri con corrente nominale da 4000 A (la corrente nominale del singolo inverter in bassa tensione non supera i 3850 A a Pmax=4000 kVA e 600 V), compatibile con la legislazione vigente.

5.3.2 Trasformatore MT/BT

Il valore dell'induzione magnetica (B) decresce rapidamente al crescere della distanza dal trasformatore.

Per distanze comprese tra 1 m e 10 m da un trasformatore si può calcolare il valore di dell'induzione magnetica B (μT) con la formula:

$$B = 5 \cdot \frac{U_{cc}}{6} \cdot \sqrt[2]{\frac{S_r}{630}} \cdot \left(\frac{3}{a}\right)^{2.8}$$

U_{cc} = Tensione percentuale di cortocircuito

S_r = Potenza nominale del trasformatore (kVA)


a = distanza dal trasformatore (m)

Si riporta in tabella l'induzione magnetica prodotta dai trasformatori MT/BT in resina della potenza di 5000 kVA e tensione di corto circuito 6%.

Potenza trasformatore	Distanza dal trasformatore					
	1 m	2 m	3 m	5 m	6 m	10 m
5000 kVA	342,7 μT	49,2 μT	15,8 μT	3,78 μT	2,3 μT	0,54 μT

Come si vede dai valori ottenuti già ad una distanza di 6 m si è al disotto dei 3 μT.

I valori ottenuti sono compatibili con la legislazione sia all'interno che all'esterno dell'impianto. In un buffer di 6 m sulle cabine container che contengono il trasformatore MT/BT di potenza, non sono presenti luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere, come abitazioni, asili ecc.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 12 di 20

5.4 VALUTAZIONE ANALITICA DEI CAMPI MAGNETICI GENERATI DAGLI ELETTRODOTTI

La valutazione è effettuata nei riguardi dell'elettrodotto interrato MT di vettoriamento e dall'elettrodotto interrato AT di connessione oggetto del presente progetto. La valutazione dei campi elettrici e magnetici delle opere RTN è tratta nel PTO RTN.

Le linee elettriche durante il loro funzionamento generano un campo elettrico e un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il campo magnetico è proporzionale alla corrente che l'attraversa. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza dalla linea.

In corrispondenza del punto centrale si rileva il valore massimo del campo elettrico e magnetico, pertanto avendo fissato come valore di riferimento per la fascia di rispetto quello di $3 \mu\text{T}$, e ricercando la distanza dal suolo alla quale si ottiene nel punto di massimo proprio tale valore, è possibile calcolare la fascia di rispetto da applicare all'elettrodotto.


Per il calcolo dei valori imperturbati del campo elettrico e magnetico è stato utilizzato il software XGSA FD della XGSALAB Software. Con XGSA FD, se necessario, si potrà effettuare anche un'analisi tridimensionale.

Si precisa che il valore di corrente inserito nei calcoli è quello della portata nominale dei cavi, di gran lunga superiore a quello realmente erogabile dall'impianto fotovoltaico.

I calcoli sono comunque stati effettuati considerando la semplice posa a trifoglio, ipotesi a favore della sicurezza.

5.4.1 Caso con n. 2 terne di cavi MT interrati di sezione 240 mm^2

Per i cavi MT il caso peggiore da valutare è quello dell'elettrodotto di vettoriamento utente MT a 20 kV formato da due terne interrate di cavi con sezioni da 240 mm^2 .

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 13 di 20

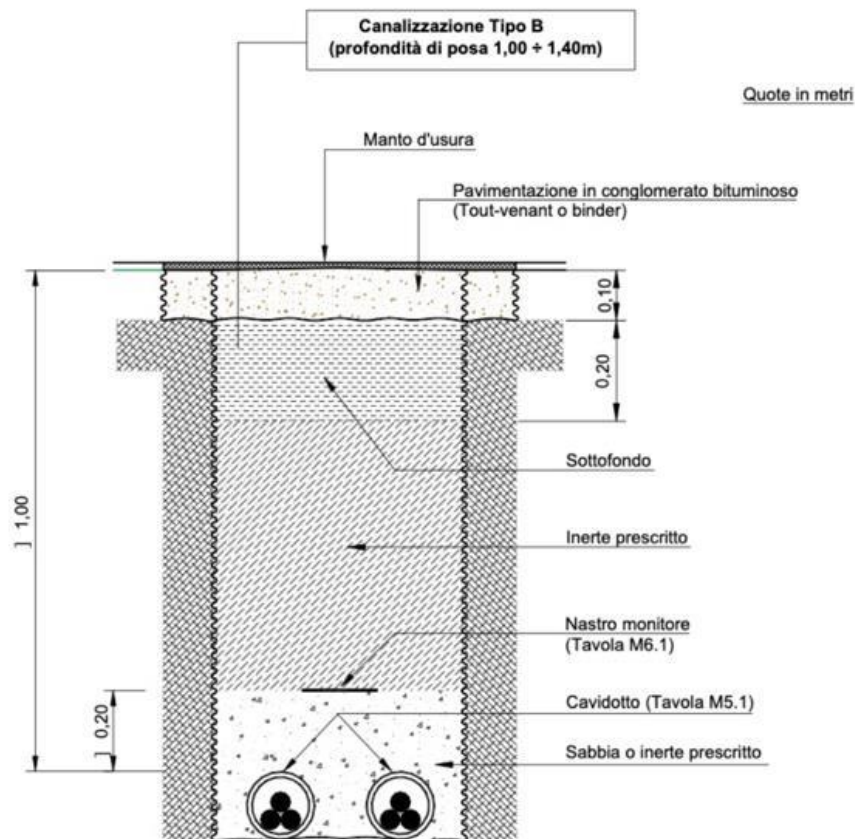


Figura 1: Sezione scavo tipo

Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

- Tensione Nominale: 20.000 V
- Portata massima del cavo: 418 A
- Sezione cavo: 240 mm²
- Profondità di posa 1,1 m
- Diametro conduttore 41 mm
- Interasse delle due terne 25 cm

Campo Elettrico

Di seguito si riportano i risultati di calcolo ottenuti per il campo elettrico a 0,25 m (caviglia corpo umano) da terra e ad 1,5 m da terra (altezza cuore di un individuo di media altezza) per una ipotetica sezione trasversale. Nei due casi si vede che il valore del campo elettrico è di gran lunga inferiore a 5 kV/m.


ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 14 di 20




Figura 2: Profilo Campo Elettrico ad altezza 0,25 m



Figura 3: Profilo Campo Elettrico ad altezza 1,5 m

Campo Magnetico (Induzione Magnetica)

Di seguito sono riportata la sezioni di calcolo verticale del campo magnetico (ovvero induzione magnetica) risultante.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI	Pag. 15 di 20

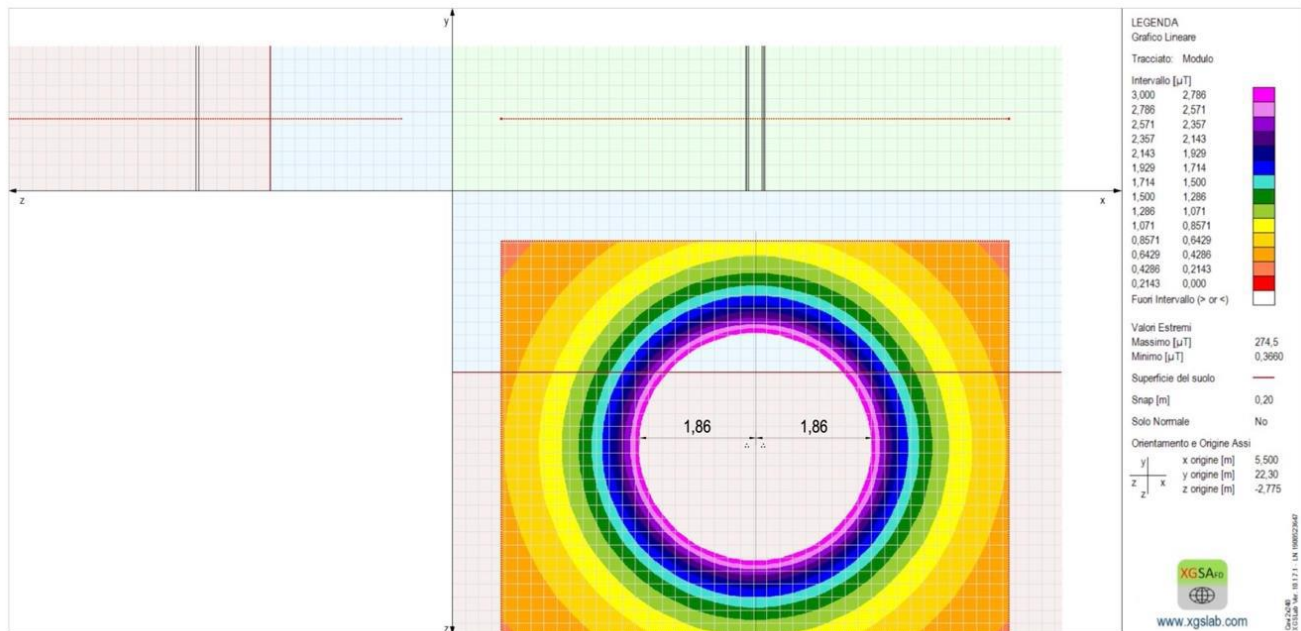



Figura 4: Calcolo Induzione Magnetica sulla sezione dei due cavi MT da 240 mm²

Come si vede dai risultati di calcolo ottenuti nemmeno in corrispondenza dell'asse della linea si avranno valori di induzione magnetica superiore ai 3 µT ad un'altezza di 1,5 m

Alla luce di quanto esposto si ritiene di adottare una fascia di rispetto pari alla **DPA=1,9 m** asse linea. Per tutto il tracciato dell'elettrodotto di vettoriamento a MT, in tale fascia, non sono presenti luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere, come abitazioni, asili ecc.

5.4.2 Caso con n. 1 terne di cavi AT interrati di sezione 1600 mm²

Il cavo AT da valutare è quello dell'elettrodotto di connessione utente AT a 150 kV formato da una terne interrata di cavi con sezioni da 1600 mm².

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 16 di 20

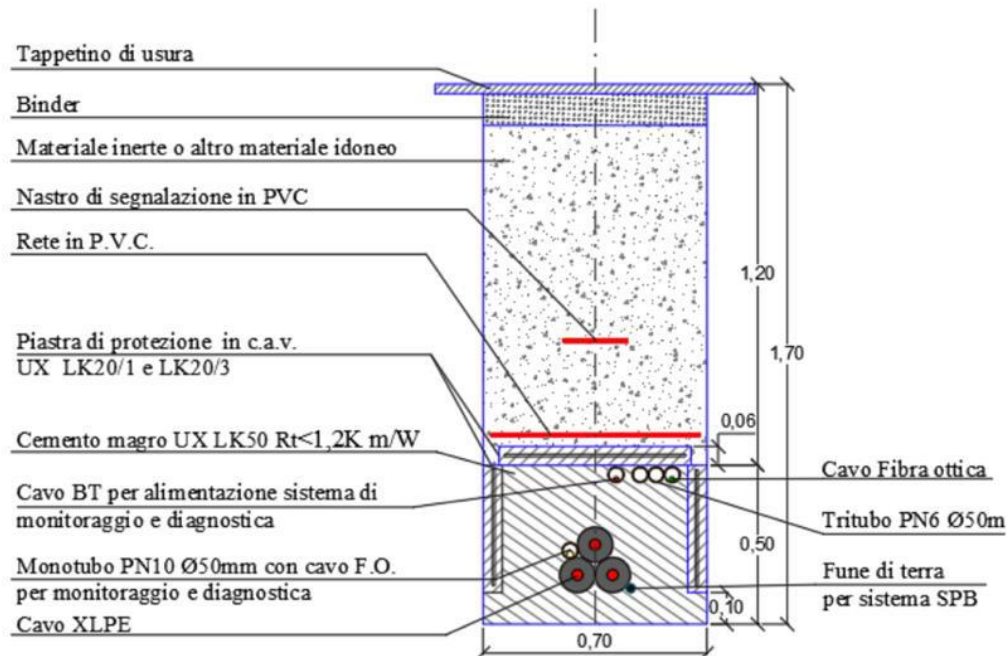


Figura 5: Sezione Scavo tipo cavidotto AT

Per i dati elettrici si sono usati i seguenti valori:

- Tensione Nominale: 150.000 V
- Portata massima del cavo: 1060 A
- Sezione cavo: 1600 mm²
- Profondità di posa 1,5 m
- Diametro conduttore 100 mm

Campo Elettrico cavo AT

Di seguito si riportano i risultati di calcolo ottenuti per il campo elettrico a 0,25 m (caviglia corpo umano) da terra e ad 1,5 m da terra (altezza cuore di un individuo di media altezza) per una ipotetica sezione trasversale. Nei due casi si vede che il valore del campo elettrico è di gran lunga inferiore a 5 kV/m.


ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 17 di 20




Figura 6: Profilo Campo Elettrico ad altezza 0,25 m



Figura 7: Profilo Campo Elettrico ad altezza 1,5 m

Campo Magnetico (Induzione Magnetica) cavo AT

Di seguito è riportata le sezioni di calcolo verticale del campo magnetico (ovvero induzione magnetica) risultante.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 18 di 20

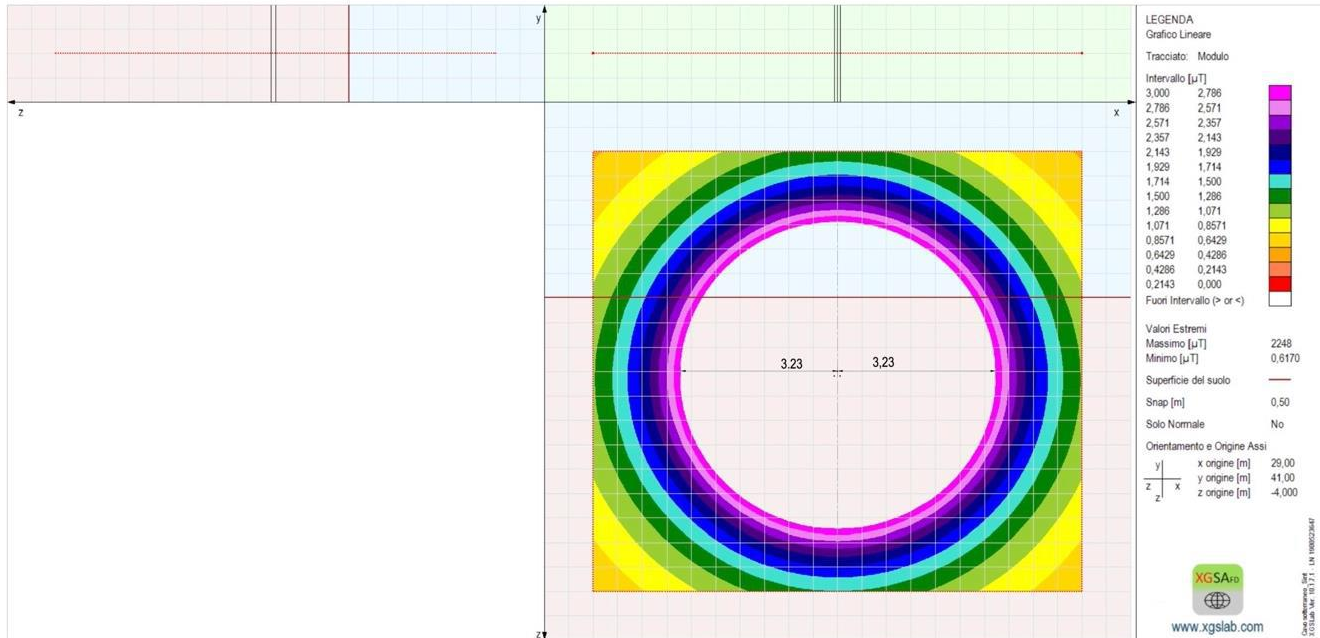


Figura 8: Calcolo Induzione Magnetica sulla sezione del cavo AT da 1600 mm²

Come si vede dai risultati di calcolo ottenuti in corrispondenza dell'asse della linea si avranno valori di induzione magnetica di poco superiore ai 3 µT ad un'altezza di 1,5 m dal piano campagna.


Alla luce di quanto esposto si ritiene di adottare una fascia di rispetto pari alla **DPA=3,5 m** asse linea. Per tutto il tracciato dell'elettrodotto di connessione AT, in tale fascia, non sono presenti luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere, come abitazioni, asili ecc.

5.5 SOTTOSTAZIONE DI TRASFORMAZIONE AT/MT

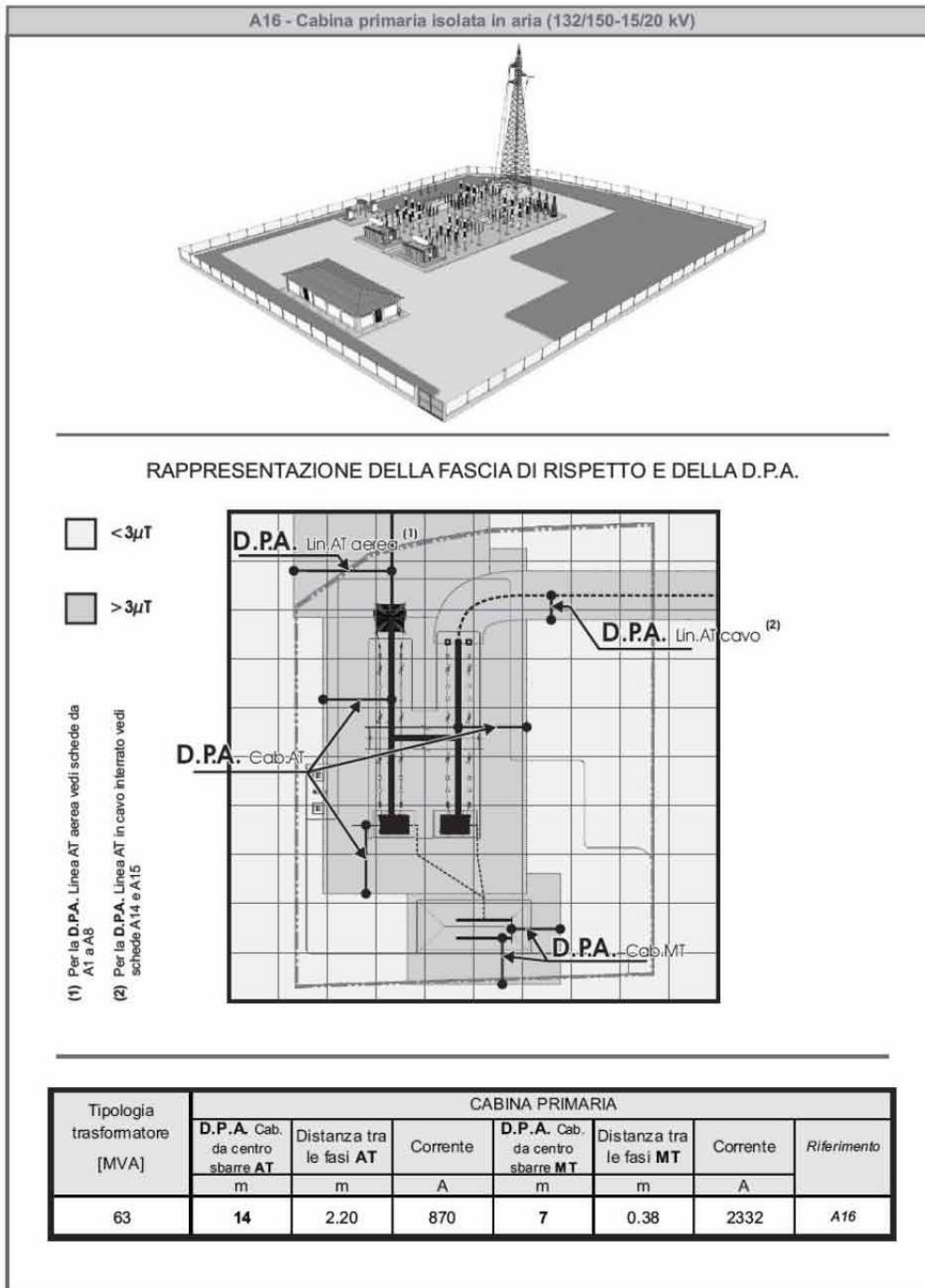
Le stazioni ad alta tensione sono caratterizzate da valori di campo elettrico ed induzione magnetica che dipendono – oltre che dall'intensità di corrente di esercizio – dagli specifici componenti (sezionatori di sbarra, interruttori, trasformatori, etc.) presenti nella stazione stessa.


I valori più elevati del campo elettrico sono attribuibili al funzionamento dei sezionatori di sbarra (1.2-5.0 kV/m), mentre il valore più elevato di induzione magnetica è registrabile in corrispondenza dei trasformatori (6.0-15.0 µT) (Inquinamento elettromagnetico; aspetti tecnici, sanitari e normativi”, Paolo Bevitori, Maggioli Editore, 1998), valori che scendono in genere al disotto persino degli obiettivi di qualità in corrispondenza della recinzione della stazione.

Risultati estremamente confortanti sono stati ottenuti dall'ARPA Emilia Sezione di Bologna che ha monitorato una Cabina Primaria Enel nel centro urbano di Bologna: i valori di induzione magnetica all'esterno della cabina lungo le recinzioni sono risultati essere inferiori a 3 µT, quelli di campo elettrico inferiore a 1 V/m.

ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTRICI	Pag. 19 di 20

Sempre per una completezza di informazioni di seguito si riporta uno studio effettuato da Enel Distribuzione Spa in cui vengono individuate le DPA simulate ed elaborate con il software EMF Tools v.3.0 del CESI, la cui modellizzazione delle sorgenti è bidimensionale e fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4.



ELABORATO 020805	COMUNI di VITORCHIANO e VITERBO PROVINCIA di VITERBO	Ver.: 00
 ENGINEERING ENERGY TERRA	REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 33.805,20 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 45.000,00 kW	Data: 30/11/23
	RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	Pag. 20 di 20

La stazione ad alta tensione, quindi, è caratterizzata da valori di induzione magnetica e di campo elettrico inferiori ai limiti normativi vigenti.

5.6 Individuazione possibili ricettori

Nell'intorno delle aree di impianto, lungo il tracciato del cavidotto di vettoriamento MT, del cavidotto di connessione AT e nell'intorno della Sottostazione di Trasformazione utente AT/MT si sono rilevati possibili ricettori. I ricettori sensibili, su cui si è concentrato lo studio degli effetti dei campi magnetici, sono gli edifici o unità abitative regolarmente censite e stabilmente abitate, così come verificato nel corso dei sopralluoghi. Nessun fabbricato rientra nelle DPA calcolate.

6. CONCLUSIONI

A seguito delle valutazioni preventive eseguite per ogni sezione della rete elettrica e riportate nei paragrafi precedenti, si possono trarre le seguenti considerazioni:

- la disposizione dell'impianto, nonché il posizionamento dei relativi dispositivi elettrici di comando a bassa, media tensione (cabine elettriche) e Alta Tensione (Sottostazione di Trasformazione AT/MT) risultano posizionati a debita distanza da immobili sensibili, quali possibili abitazioni, come si vede dai ricettori individuati; la valutazione riportata al paragrafo 5.3 conferma che l'induzione dovuta al trasformatore di trasformazione MT/BT e al quadro di bassa tensione, posti all'interno delle cabine dell'impianto, è al di sotto dei $3 \mu T$ già a 6 m di distanza. Nessuna abitazione si trova in tale fascia.
- lungo il percorso del nuovo cavidotto di vettoriamento MT e del cavidotto AT in nessun caso gli immobili si trovano all'interno delle fasce di rispetto calcolate (1,85 m asse dal tracciato cavidotto MT e 2,9 m asse per il tracciato cavidotto AT).

Alla luce di quanto esposto si ritiene che il progetto dell'impianto agrovoltico con le relative opere di connessione, sia per l'ubicazione territoriale, sia per le sue caratteristiche costruttive, rispetterà i limiti imposti dalla L. 36/2001 e del DPCM 8 luglio 2003 in tema di protezione della popolazione dagli effetti dei campi elettromagnetici, magnetici ed elettrici garantendo la salvaguardia della salute umana.

Porto San Giorgio, li 30/11/2023

Il Tecnico
Dott. Ing. Luca Ferracuti Pompa
