



# VSE

VSE S.r.l.

PIAZZALE LUIGI CADORNA N.14 - MILANO (MI)

P.IVA 02607460223

REA MI - 2615671

C.F. 02607460223

Regione Emilia-Romagna

Comune di Caorso

Provincia di Piacenza

P.A.U.R.

Titolo:

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica  
"VSE\_CAORSO"

Oggetto:

RELAZIONE IMPATTO ELETTROMAGNETICO

Codifica Elaborato:

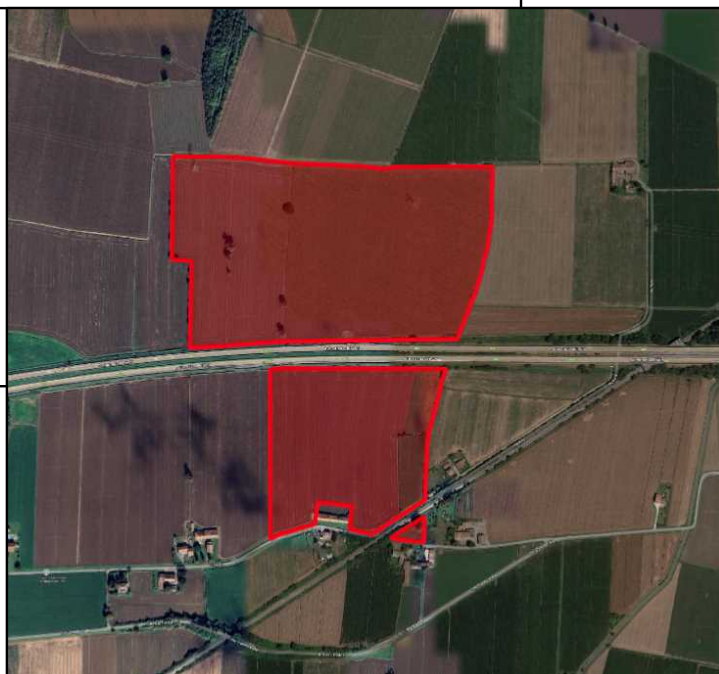
RT

03


Impresa/Studio di progettazione:

  
**WEPLAN**  
GROUP S.R.L.

Via dell'Industria, 1 - 40027 Osimo (AN) T. +39 071 7231280 F. +39 071 7235455  
Web: www.weplanengineering.it Email: info@weplanengineering.it Pec: weplanstudio@pec.it



Progettista/Direttore Tecnico:

  
Dott. Ing. Michele BALEANI  
Ordine degli Ingegneri prov. Ancona n. 2319

Latitudine: 45,058646°  
Longitudine: 9,90172°

Cod. File:

RT.03\_VSE\_CAORSO\_PD\_00

Scala:

-

Formato:

A4

Codice:

PD

Rev.:

00

Rev.	Data	Descrizione revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
0	01/2025	Prima emissione	Ing. Michele Baleani	Ing. Michele Baleani	Ing. Michele Baleani

## Sommario

1	PREMESSA .....	1
2	GRANDEZZE, SIMBOLI, CONVENZIONI .....	1
3	LEGGI E NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	2
4	LIMITI DI ESPOSIZIONE E VALORI DI ATTENZIONE .....	2
4.1	<i>Limiti di esposizione</i> .....	3
4.2	<i>Valori di attenzione</i> .....	3
4.3	<i>Fascia di Rispetto</i> .....	3
4.4	<i>Obiettivi di qualità (come riportati nell'art.4 D.P.C.M. 8/7/2003)</i> .....	3
5	CAMPO DI APPLICAZIONE ALLA SPECIFICA REALTA' PROGETTUALE .....	4
5.1	<i>Valutazione di impatto elettromagnetico per i cavidotti interrati</i> .....	5
5.2	<i>Calcolo della DPA relativa alle cabine di Trasformazione</i> .....	8
6	CONCLUSIONI .....	11

## **1 PREMESSA**

La presente relazione tecnica riguarda la valutazione dell'impatto elettromagnetico prodotto dal nuovo impianto di produzione da fonte solare sito nel Comune di Caorso (PC) ed avente una potenza di picco pari a 18.792,48 kW.

L'impianto, di proprietà della società VSE S.r.l., risulta suddiviso in 9 sottocampi e sarà connesso alla rete di distribuzione in alta tensione a 30 kV, come meglio descritto nella relazione tecnica generale che, insieme alla presente relazione, fa parte della documentazione di progetto.

A ciascun sottocampo corrisponderà una cabina con trasformatore del tipo ad isolamento in resina e raffreddamento a ventilazione naturale, perdite ridotte e gruppi di collegamento Dyn11 con centro stella isolato.

Oltre alle nove cabine di sottocampo connesse tra loro, verrà realizzata la cabina generale alla quale le cabine di sottocampo saranno collegate secondo una configurazione del tipo ad anello.

In ciascuna sottocampo l'energia prodotta dai moduli fotovoltaici sarà convertita da corrente continua a corrente alternata e successivamente dalla tensione di 800 V alla tensione di 30.000 V mediante le 9 cabine di trasformazione MT/bt di sottocampo, per poi essere trasferita alla cabina generale MT, da cui partirà l'elettrodotto per la connessione alla cabina primaria. L'impatto elettromagnetico di quest'ultimo elettrodotto non è incluso nella valutazione esposta nella presente relazione.

## **2 GRANDEZZE, SIMBOLI, CONVENZIONI**

B = Valore efficace del campo magnetico

f = Frequenza

T = Tesla

V = Volt

W = Watt

AT = Alta Tensione ( $> 30$  kV)

MT = Media Tensione ( $1\text{ kV} \leq \text{MT} \leq 30$  kV)

BT = Bassa Tensione (fino a 1000V)

### **3 LEGGI E NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO**

Le norme tecniche e le Leggi costituenti il quadro normativo e legislativo vigente in materia di interferenze ed inquinamento elettromagnetico relativa ad impianti di trasmissione, trasformazione e distribuzione di energia elettrica a frequenza industriale (50 Hz) sono:

- Legge 22 febbraio 2001, n° 36 Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;
- Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 08.07.2003 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;
- Decreto ministeriale 21.03.1988, n. 449 Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne;
- Decreto ministeriale 29.05.2008 Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica;
- Decreto ministeriale 29.05.2008 Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti;
- 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 (2006-02);
- CEI 211-4 Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee e da stazioni elettriche (2008-09);
- CEI 211-6 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 (2001-01)
- ENEL Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche;
- CEI 11-17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo (2006-07).

### **4 LIMITI DI ESPOSIZIONE E VALORI DI ATTENZIONE**

I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per il campo elettrico e per quello magnetico da porre quale riferimento nella progettazione di nuove linee e stazioni elettriche sono riportate nel D.P.C.M. 8/7/2003 come di seguito riportato:

#### 4.1 Limiti di esposizione

- Campi elettrici alla frequenza di 50 Hz: 5 kV/m inteso come valore efficace
- Campi magnetici alla frequenza di 50 Hz: 100  $\mu$ T inteso come valore efficace

#### 4.2 Valori di attenzione

Questi valori non devono essere superati nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore/giorno (oltre ai luoghi per l'infanzia e scolastici indipendentemente dal tempo di esposizione).

Campi magnetici alla frequenza di 50 Hz:

- 100  $\mu$ T limite di esposizione per i campi magnetici da non superare mai in alcuna condizione di contiguità con la popolazione;
- 10  $\mu$ T è il valore di attenzione, che si assume per l'induzione magnetica 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, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (Rif. D. p. c. m. 3 Luglio 2003).
- 3  $\mu$ T limiti di esposizione per i campi magnetici nelle aree con permanenze di persone di almeno 4 ore giornaliere (valore di attenzione) per i nuovi elettrodotti (obiettivo di qualità).

#### 4.3 Fascia di Rispetto

È lo spazio circostante un generico cavidotto, che comprende tutti i punti al di sopra del suolo caratterizzati da un valore di induzione magnetica maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (3 $\mu$ T).

#### 4.4 Obiettivi di qualità (come riportati nell'art.4 D.P.C.M. 8/7/2003)

*"Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.*

*Nella progettazione delle linee di trasmissione della potenza elettrica prodotta dall'impianto in esame sarà posto quale soglia da non superare in prossimità di aree destinate alla permanenza di persone il limite dei  $3 \mu T$ ".*

## **5 CAMPO DI APPLICAZIONE ALLA SPECIFICA REALTA' PROGETTUALE**

Come accennato in premessa, il progetto del nuovo impianto fotovoltaico prevede l'installazione di cabine di sottocampo per la trasformazione dell'energia elettrica dalla tensione di 800 V (uscita degli inverter) alla tensione di 30.000 V, per un totale di nove cabine di trasformazione MT/BT.

In ciascuna cabina di trasformazione MT/BT, oltre al quadro MT per il sezionamento e la protezione degli impianti ad essa connessi, è installato un trasformatore di potenza apparente nominale pari a 2.000 kVA.

Nella cabina generale MT sarà installato il quadro MT con i dispositivi per la protezione delle linee in alta tensione provenienti dalle cabine di sottocampo e i dispositivi per le funzioni di protezione generale e di protezione di interfaccia in conformità alla Norma CEI 0-16.

Ciascuna linea MT in arrivo alla cabina generale dalle cabine di trasformazione sarà realizzata con cavi unipolari in rame di tipo ARG7H1RNR, contenuti in un tubo in PVC di diametro esterno 160 mm. Nello specifico, i cavi all'interno dell'impianto fotovoltaico saranno di tipo ARG7H1RNR unipolari da 400 mm<sup>2</sup> posati ad una profondità di circa 100 cm.

Tutti i cavi in alta tensione utilizzati all'interno dell'impianto di produzione devono essere oggetto di verifica per i valori di induzione elettromagnetica in quanto non ricadenti nelle categorie elencate all'art. 3.2 del D.M. 29/05/2008. Sempre lo stesso decreto al capitolo 5.1.1 cita "Ai sensi dell'art. 6, comma 1, del D.P.C.M. 8 luglio 2003, la corrente da utilizzare nel calcolo è la *portata in corrente in servizio normale* relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata."

Perciò l'applicazione della metodologia di calcolo delle fasce di rispetto verrà applicata alle linee in cavo in uscita dalle cabine di trasformazione in direzione della cabina generale. La specifica configurazione ad anello per la connessione delle cabine di trasformazione alla cabina generale implica che si avranno al più due linee trifase affiancate, ciascuna posata entro tubo interrato. La valutazione della larghezza della fascia di rispetto verrà pertanto applicata a questo specifico caso che costituisce la condizione più sfavorevole dal punto di vista dell'impatto elettromagnetico nell'ambito dell'intero impianto di produzione.

Alle cabine di trasformazione verrà invece applicata il calcolo della DPA (Distanza di prima approssimazione).

### 5.1 Valutazione di impatto elettromagnetico per i cavidotti interrati

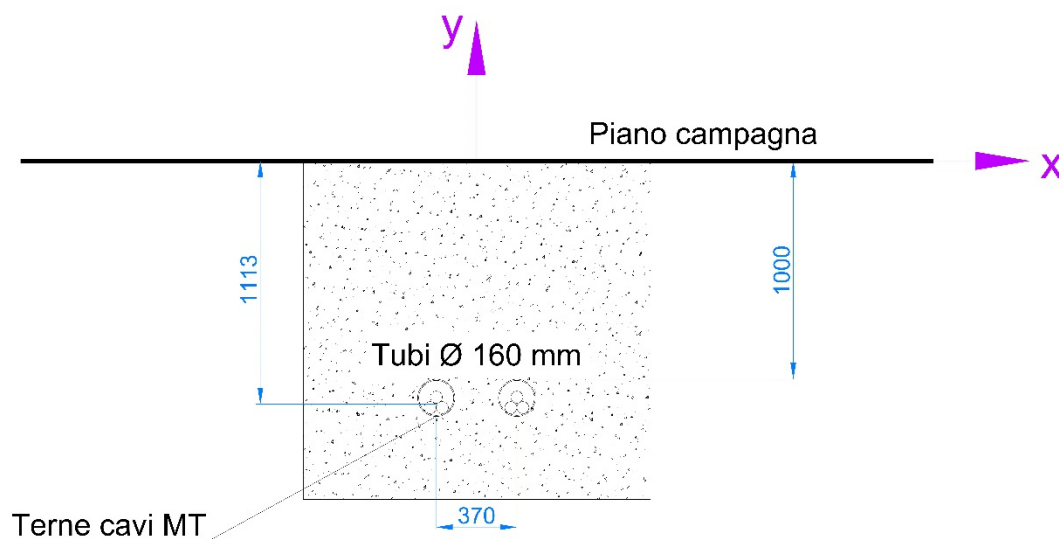
Con riferimento al Livello 1 (guida CEI 106-11) dei due livelli di analisi proposti, considerate le condizioni dei cavi con direzione prevalentemente orizzontale e coincidente, la formula approssimata per il calcolo dell'induzione magnetica  $B$  di una terna di conduttori disposti a triangolo risulta:

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \quad [\mu T]$$

Nella quale:

- $S$  [m] è la distanza tra i conduttori che essendo posti a trifoglio coincide con il diametro esterno dei cavi pari a 55,2 mm come risulta dalla corrispondente scheda tecnica per la sezione di 400 mm<sup>2</sup>;
- $I$  [A] è la portata in regime permanente così come definita nella norma CEI 11-17 pari a 543A come pure risulta dalla corrispondente scheda tecnica per la sezione di 400 mm<sup>2</sup>;
- $R$  [m] è la distanza del punto di calcolo dal baricentro dei tre conduttori.

Utilizzando tale formula approssimata per ciascuna terna di cavi ed applicando il principio di sovrapposizione degli effetti si ottiene l'induzione magnetica complessiva. Si procede poi al tracciamento della corrispondente curva di equilivello dell'induzione magnetica su un sistema di riferimento cartesiano con asse orizzontale sul piano di campagna. Per la rete di linee interna all'impianto fotovoltaico, il presente calcolo è applicabile ad un qualunque tratto di conduttura alla tensione di 30 kV costituito da n. 2 linee affiancate e provenienti dalle cabine di trasformazione come rappresentato in sezione nella figura seguente (dim. mm).



Delle due terne di cavi si riportano qui di seguito i valori delle coordinate dei rispettivi baricentri espressi in metri relativamente ad un sistema di riferimento cartesiano con asse orizzontale sul piano di campagna e asse verticale mediano tra le due tubazioni.

	Coordinata su asse orizzontale x (m)		Coordinata su asse orizzontale y (m)	
Linea 30kV	X <sub>1</sub>	-0,186	Y <sub>1</sub>	-1,113
Linea 30kV	X <sub>2</sub>	+0,186	Y <sub>2</sub>	-1,113

Indicando con X<sub>p</sub> e Y<sub>p</sub> le generiche coordinate di un punto di calcolo P sul generico piano perpendicolare alla direzione delle linee elettriche, si procede con il calcolo dei quadrati delle distanze dai baricentri delle singole terne di conduttori al punto di calcolo, come di seguito riportato per una linea i-esima delle 2 presenti:

$$R_i^2 = (X_p - X_i)^2 + (Y_p - Y_i)^2$$

L'induzione magnetica prodotta da ciascuna terna può essere espressa come:

$$B_i = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R_i^2} \quad [\mu T]$$

Nella quale:

- S [m] è la distanza tra i conduttori che essendo posti a trifoglio coincide con il diametro esterno dei cavi (0,0483 m);
- I [A] è il valore efficace delle portate in regime permanente dei singoli conduttori (543 A);
- R [m] è la distanza del punto di calcolo dal baricentro dei tre conduttori.

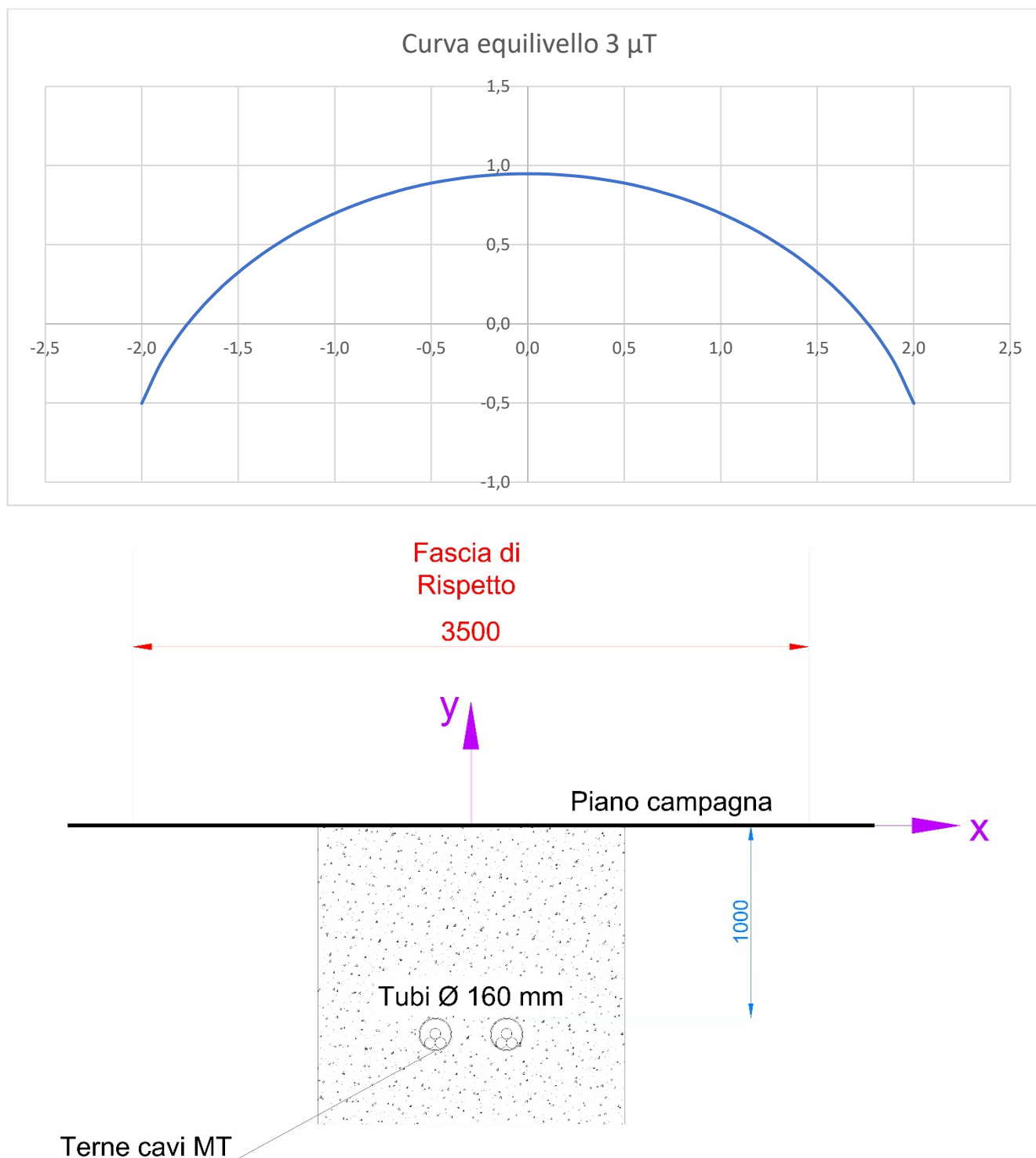
Pertanto l'induzione magnetica complessiva è data da:

$$B_i = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot S \cdot I \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{1}{R_i^2} \quad [\mu T]$$

Nel diagramma che segue è rappresentata per punti la curva di equilivello dell'induzione magnetica per i valori pari a di 3 μT. Tale curva di equilivello risulta in parte contenuta al di sotto del piano di campagna (livello 0,0) ed in parte al di sopra dello stesso per una larghezza



di circa 3,5 m. Tale lunghezza costituisce la fascia di rispetto prevista dalla normativa di riferimento, come rappresentato in sezione nella figura successiva al diagramma.



In particolare, la prima figura rappresenta il diagramma della curva equilivello, i cui punti presentano l'induzione limite considerata pari a 3  $\mu$ T e permette di individuare la fascia di rispetto come distanza tra i punti di intersezione della curva con il piano campagna (livello 0,0). La seconda figura, allineata e rappresentata con la stessa scala della prima, descrive la fascia di rispetto con riferimento alla posizione delle linee MT interrate.

## 5.2 Calcolo della DPA relativa alle cabine di Trasformazione

Il presente calcolo si riferisce indifferentemente ad una delle nove identiche cabine di sottocampo, ciascuna provvista di un trasformatore in resina di potenza nominale pari a 2.000 kVA e tensioni primaria e secondaria pari rispettivamente a 30kV e 800V. Il calcolo ha lo scopo di valutare i valori dell'induzione magnetica presenti nelle cabine di sottocampo con riferimento al tratto di linee BT entranti nei trasformatori, costituendo questo il caso per il quale i valori dell'induzione magnetica raggiungono i livelli più elevati nell'area della cabina di sottocampo.

Essendo il sistema trifase percorso da una corrente pari alla corrente nominale degli avvolgimenti di bassa tensione del trasformatore ed essendo la distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi in ingresso al trasformatore stesso, si è potuto fare riferimento alla metodologia di cui al punto 5.2.1 dell'Allegato al D.M. 29.05.2008 n.160 procedendo al calcolo della distanza di prima approssimazione (D.P.A.) tramite l'applicazione della seguente relazione:

$$Dpa = \sqrt{I} \cdot 0,40942 \cdot x^{0,5241} \quad [\mu T]$$

dove:

- I è la corrente massima di bassa tensione in arrivo alla cabina [A] in condizioni di funzionamento normale, calcolata come corrente nominale lato BT del trasformatore pari a 1.443 A.
- x è il diametro dei cavi BT di collegamento al singolo trasformatore che nel caso in esame è pari a 0,0307 m.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{2.000.000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 800 \text{ V}} = 1.443 \text{ A}$$

$$Dpa = \sqrt{1.443} \cdot 0,40942 \cdot 0,0307^{0,5241} = 2,51 \text{ m}$$

Il calcolo della D.P.A., approssimata al mezzo metro superiore, come prescritto dal suddetto DM, è da intendersi come distanza dal filo esterno della Cabina ed è pari a 3 m.

Analogamente a quanto fatto per le linee AT, si è poi proceduto alla determinazione delle zone in cui l'induzione magnetica è maggiore a 10  $\mu T$  e a 100  $\mu T$  (limite di esposizione) secondo

la guida CEI 106-11; a questo scopo si è utilizzata la formula approssimata per il calcolo dell'induzione magnetica  $B$  di una terna di conduttori disposti in piano o in verticale (punto 6.2.1):

$$B = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{S \cdot I}{R_t^2} \quad [\mu T]$$

ella quale:

- $S$  [m] è la distanza tra i conduttori che essendo posti in piano a contatto coincide con il diametro esterno dei cavi;
- $I$  [A] è il valore efficace delle correnti simmetriche ed equilibrate che percorrono i cavi;
- $R$  [m] è la distanza del punto di calcolo dal conduttore centrale.

Da tale relazione si ricava:

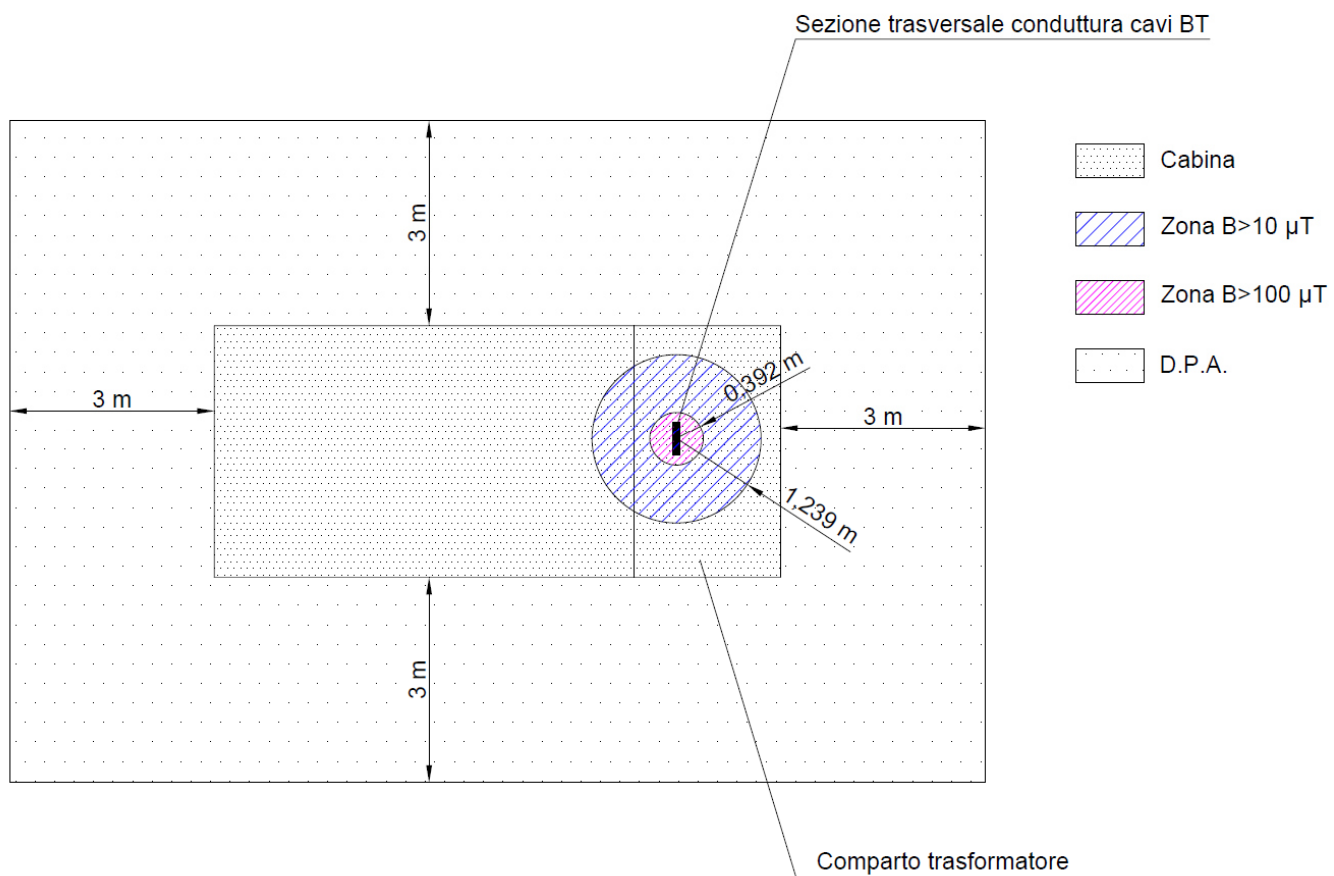
$$R = \sqrt{\frac{0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot S \cdot I}{B}} \quad [m]$$

Inserendo nella relazione sopra riportata i valori di induzione magnetica di  $10\mu T$  e  $100\mu T$ , si ottengono rispettivamente la distanza dal punto di passaggio dei cavi BT del trasformatore che delimita la zona in cui l'induzione magnetica è maggiore di  $10\mu T$  e la distanza che delimita la zona in cui l'induzione magnetica è maggiore di  $100\mu T$ :

$$R_{B>10\mu T} = \sqrt{\frac{0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot S \cdot I}{10}} = 1,239 \text{ m}$$

$$R_{B>100\mu T} = \sqrt{\frac{0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot S \cdot I}{100}} = 0,392 \text{ m}$$

Nella figura riportata alla pagina seguente sono rappresentate le due zone definite da queste distanze oltre alla D.P.A. precedentemente calcolata.



## 6 CONCLUSIONI

Alla luce delle valutazioni sopra esposte si può concludere che i valori massimi riscontrabili di campo magnetico indotto dalle linee a tensione nominale pari a 30 kV con posa interrata risultano molto contenuti e comportano una fascia di rispetto che, nel caso peggiore riscontrabile all'interno dell'area di impianto, è caratterizzata da una larghezza di 3,5 m.

Inoltre, la Distanza di Prima Approssimazione (D.P.A.) per le cabine, calcolata ed approssimata per eccesso come prescritto dalla normativa di riferimento, risulta pari a 3 m, da considerarsi dal filo esterno della cabina stessa.

Ad ogni modo, le aree comprese all'interno della fascia di rispetto e del rettangolo in pianta definito dalla D.P.A. non comprendono luoghi destinati alla permanenza di persone per più di 4 ore/giorno e saranno accessibili occasionalmente per esigenze di carattere manutentivo o di gestione e comunque per periodi brevi e esclusivamente da parte di persone qualificate nel settore elettrico.

Data 16/01/2025

Timbro e firma



Dott. Ing. Michele BALEANI  
Ordine degli Ingegneri prov. Ancona n. 2339