

IMPIANTO AGROVOLTAICO DI PRODUZIONE DI ENERGIA
DA FONTE SOLARE DENOMINATO "TREIA FIORINI" DI POTENZA NOMINALE
PARI A 15,75 MVA E POTENZA INSTALLATA PARI A 16,948 MW

REGIONE MARCHE
PROVINCIA di MACERATA
COMUNE DI TREIA

PROGETTO DEFINITIVO

Tav.:

Titolo:

R03
agg1

Relazione di verifica esposizione ai
campi elettromagnetici

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

R03_CompatibilitàElettromagnetica_03-agg1

Progettazione:

Committente:



Dott. Ing. Fabio CALCARELLA

Via B. Ravenna, 14 - 73100 Lecce
Mob. +39 340 9243575
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu



Stern PV 4 Srl

Largo Michele Novaro 1/A
CAP 43121 - PARMA (PR)
P.iva 02971110347
R.E.A. PR-281310 | PEC - sternpv4srl@pec.it

Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Gennaio 2022	Prima emissione	STC	FC	Stern PV 4 Srl
Ottobre 2023	Agg.1: Richieste Integrazione ARPAM	STC	FC	Stern PV 4 Srl

Sommario

1	Oggetto.....	2
2	Compatibilità Elettromagnetica	2
2.1	Riferimenti normativi	2
2.2	Valutazione dell'esposizione umana. Valori limite	2
2.3	Campo magnetico.....	4
2.4	Campo elettrico.....	5
3	Fonti di emissione	6
3.1	Campo elettromagnetico generato dagli elettrodotti	6
3.1.1	Calcolo del campo di induzione elettromagnetica generato dagli	8
3.1.1	Cavidotto AT 132 kV	16
3.2	Cabine di Campo e Trasformazione.....	18
3.3	Sottostazione Elettrica Utente 30/132 kV	20
3.3.1	Determinazione della fascia di rispetto.....	21
3.4	CP E-distribuzione di Treia 20/132 kV	25
3.5	Conclusioni e Distanze di prima approssimazione (DPA).....	27
3.5.1	Cabina di Smistamento.....	28
3.5.2	Cavidotti MT interni.....	28
3.5.3	Cavidotto MT esterno.....	28
3.5.4	Cavidotto AT	28
3.5.5	Sottostazione Utente (SSE)	28
3.5.6	CP ENEL Treia	28
3.5.7	Sintesi dei risultati.....	29

1 Oggetto

Scopo del progetto è la realizzazione di un impianto agrovoltaiico denominato "Treia Fiorini" per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (solare), avente potenza nominale pari a 15,75 MVA e una potenza installata pari a 16,948 MWp, unitamente a tutte le opere di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale, ovvero:

- 1) linee MT interne di collegamento tra le **Cabine di Campo (CdC)** in configurazione entra-esce;
- 2) linee MT in cavo interrato sino a una **Cabina di Smistamento (CdS)** ubicata all'interno dell'impianto, per la raccolta della potenza proveniente dalle Cabine di Campo;
- 3) Cabine di Campo all'interno delle quali sono installati i trasformatori MT/BT
- 4) linea MT in cavo interrato, dalla Cabina di Smistamento sino alla Sottostazione Elettrica Utente 30/132 kV;
- 5) Sottostazione Elettrica Utente 30/132 kV, in cui avviene la raccolta dell'energia prodotta (in MT a 30 kV), la trasformazione di tensione (30/132 kV) e la consegna (in AT a 132 kV) alla CP Enel di Treia esistente alla tensione di 132 kV tramite la posa di un cavo AT interrato.

L'area su cui sorgerà l'impianto ha una estensione di circa 17,61 ha.

2 Compatibilità Elettromagnetica

2.1 Riferimenti normativi

- D.M. del 29 maggio 2008;
- Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato A al DM 29.05.08;
- 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 (art.6)*);
- D.P.C.M. del 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*";
- Legge n.36 del 22 febbraio 2001;
- Decreto Interministeriale del 21 marzo 1988 n.449.

2.2 Valutazione dell'esposizione umana. Valori limite

Il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti, in particolare:

- All'art.3 comma 1: nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il **limite di esposizione di 100 μ T** per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci;
- All'art.3 comma 2: a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il **valore di attenzione di 10 μ T**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio;
- Art.4 comma 1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato **l'obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell'induzione magnetica**, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio
- Lo stesso DPCM, all'art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità (**B=3 μ T**) di cui all'art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale *fascia di rispetto* lo spazio circostante l'elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.
- Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell'induzione magnetica.
- ***Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento al limite di qualità di 3 μ T.***

2.3 Campo magnetico

I campi elettromagnetici sono un insieme di grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni osservabili indotti senza contatto diretto tra sorgente ed oggetto del fenomeno, vale a dire fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio.

Esso è composto in generale da tre campi vettoriali, il *campo elettrico*, il *campo magnetico* e un terzo campo che spesso per semplicità viene escluso che è il "*termine di sorgente*". Questo significa che i vettori che caratterizzano il campo elettromagnetico hanno ciascuno un valore definito in ciascun punto del tempo e dello spazio.

I vettori che modellizzano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici sono quindi:

- **E**: Campo elettrico
- **B**: Campo di induzione magnetica

parallelamente:

- **D**: spostamento elettrico o induzione dielettrica
- **H**: Campo magnetico

L'esposizione umana ai campi elettromagnetici è una problematica relativamente recente che assume notevole interesse con l'introduzione massiccia dei sistemi di telecomunicazione e dei sistemi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. In realtà anche in assenza di tali sistemi siamo costantemente immersi nei campi elettromagnetici per tutti quei fenomeni naturali riconducibili alla natura elettromagnetica, primo su tutti l'irraggiamento solare.

Per quanto concerne i fenomeni elettrici si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una certa regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica.

Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento ad una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici, non in termini del vettore campo magnetico, ma in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con ambiente ed i mezzi materiali in cui il campo si propaga. Dal punto di vista macroscopico ogni fenomeno elettromagnetico è descritto dall'insieme di equazioni note come equazioni di Maxwell.

La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i "campi elettromagnetici quasi statici" ed i "campi elettromagnetici a radio frequenza".

Nel caso dei campi quasi statici, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica.

Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz.

DENOMINAZIONE		SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE		ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME		VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO		IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm
LUCE VISIBILE			385 - 750THz	780 - 400nm
ULTRAVIOLETTA		UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI		X	> 3000THz	< 100nm

Spettro elettromagnetico

2.4 Campo elettrico

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante.

La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.

Per le linee elettriche aeree, l'intensità maggiore del campo elettrico si misura generalmente al centro della campata, ossia nel punto in cui i cavi si trovano alla minore distanza dal suolo. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderà anche dalla disposizione e dalle distanze tra i conduttori della linea.

3 Fonti di emissione

Le apparecchiature elettriche previste nella realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto generano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

In particolare, sono da considerarsi come sorgenti di campo elettromagnetico le seguenti componenti del parco fotovoltaico:

- Elettrodotti:
 - linee elettriche MT di interconnessione fra le Cabine di Trasformazione dei sottocampi e la **Cabina di Smistamento**;
 - linea elettrica interrata MT fra la **Cabina di Smistamento** e la *Sottostazione Elettrica Utente 30/132 kV*;
- Sottostazione Elettrica Utente 30/132 kV:
 - Trasformatore MT/AT;
 - Linea elettrica interrata AT tra la SSE 30/132 kV e la CP Enel Treia esistente.
- CP ENEL:
 - Trasformatori MT/AT;

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

3.1 Campo elettromagnetico generato dagli elettrodotti

Quella che viene presentata in questi paragrafi è una valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti, basata sulle metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, e specificate dalla norma CEI 106-11.

Per la valutazione del campo magnetico generato dall'elettrodotto occorre innanzitutto distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati.

In linea generale l'utilizzo di cavi MT in configurazione ad "elica visibile" con sezione sino a 240 mm², fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio. Le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fa sì che il campo elettromagnetico generato dai cavi di sezione 50 – 185 mm² risulta essere infatti di gran lunga inferiore ai valori limite richiesti e, pertanto, già dopo una prima analisi qualitativa, se ne può escludere la valutazione numerica, così come previsto dalla normativa e dalle leggi vigenti.

Nello specifico del nostro caso, sono stati considerati **cavi posati in linea** come "worst-case". Tale scelta è stata dettata dal fatto che al momento non è nota la disponibilità sul mercato e quindi quelle

che potranno essere le scelte in fase di progettazione esecutiva, e che la modalità di posa dei cavi in linea è comunque più semplice e più generalmente adottata anche rispetto a quella a trifoglio.

Nella tabella che segue si schematizza la configurazione dei cavidotti MT all'interno del campo, specificandone la tipologia, la lunghezza, la corrente in esso circolante, la sezione e la portata nominale del cavo stesso nonché il tratto di appartenenza.

Per la valutazione del campo magnetico generato da tali elettrodotti occorre innanzitutto individuare le possibili diverse configurazioni che si presentano nel caso in esame, e sulla base di questi individuare i diversi casi sui quali effettuare la valutazione del campo.

Nel nostro caso, consideriamo i tratti di elettrodotti che accolgono le sezioni di cavo maggiore e in cui fluisce il valore di corrente maggiore.

- rete MT interna all'Impianto Fotovoltaico. Il "worst case" è individuato nel tratto in cui il cavo MT che va **dalla Cab B3 alla CdS** e il cavo che va **dalla Cab B1 alla CdS** percorrono lo stesso cavidotto.

LINEA 1 - Area A											
Cab.	Potenza cumulata kVA	Tratti	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm ²)	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)	
Cab A2	2.250	Cab A2 - Cab A1	30,00	44,18	95,00	212 A	300,00	315,00	10,00	325,00	350,00
Cab A1	4.500	Cab A1 - CsS	30,00	88,37	95,00	212 A	6,00	6,30	10,00	16,30	20,00

LINEA 2 - Area B											
Cab.	Potenza cumulata kVA	Tratti	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm ²)	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. In Cabina (m)	Stima finale (m)	
Cab B5	2.250,00	Cab B5 - Cab B4	30,00	44,18	95,00	212 A	30	31,50	10,00	41,50	50,00
Cab B4	4.750,00	Cab B4 - Cab B3	30,00	93,28	95,00	212 A	100,00	105,00	10,00	115,00	120,00
Cab B3	7.000,00	Cab B3 - CdS	30,00	137,46	95,00	212 A	615,00	645,75	10,00	655,75	700,00
Cab B2	2.000,00	Cab B2 - Cab B1	30,00	39,28	95,00	212 A	275,00	288,75	10,00	298,75	260,00
Cab B1	4.250,00	Cab B1 - CdS	30,00	83,46	95,00	212 A	450,00	472,50	10,00	482,50	30,00

Come si vede dalle tabelle sopra riportate, nella CdS si attestano

- il cavo di sezione pari a 95 mm², della tipologia ARP1H5(AR)E, proveniente dalla Cab B1 nel quale fluisce una corrente di 83,46 A
- il cavo di sezione pari a 95 mm², della tipologia ARP1H5(AR)E, proveniente dalla Cab B3 nel quale fluisce una corrente di 137,46 A.

- cavidotto di collegamento tra Cabina di Smistamento e SSE.

La linea MT esterna sarà costituita da 1 terne di cavi MT della tipologia ARP1H5(AR)E, della sezione di 240 mm².

DORSALE ESTERNA								
Tratti	Tensione (kV)	Corrente (A)	Sezione (mm ²)	Portata	Lunghezza CAD (m)	5%	Ingr. Cabina (m)	Stima finale (m)
CdS - SSE	30,00	309,29	240,00	357,6 A	4.950,00	5.197,50	10,00	5.207,50

Come si vede dalla tabella sopra riportata, nel locale MT della SSE dalla CdS arriva un cavo di sezione pari a 240 mmq, della tipologia ARP1H5(AR)E, nel quale fluisce una corrente di 309,29 A.

- cavo AT di collegamento tra **SSE e CP Enel**.

<u>Potenza CdS</u> kVA	<u>Cavo AT</u>					
	<u>Tratti</u>	<u>Tensione (kV)</u>	<u>Corrente (A)</u>	<u>Sezione</u> (mm ²)	<u>Lunghezza CAD (m)</u>	<u>5%</u>
15.750,00	SSE-CP Enel	132,00	70,29	1.000,00	90,00	94,50

Per quanto riguarda il cavo AT di sezione 1.000 mmq, esso fornisce una corrente di 70 A circa ad una tensione di 132 kV alla CP Enel "Treia".

3.1.1 Calcolo del campo di induzione elettromagnetica generato dagli Elettrodotti MT interni all'impianto fotovoltaico

Il calcolo dell'induzione magnetica e della relativa DpA sarà riferito al caso peggiore ovvero due terne di cavi sezione 95 mmq affiancate con portata di 83,46 A e 137,46 A.

In linea generale, nel caso di cavidotti in cui sono posate più terne di cavi, è possibile fare ricorso ad un modello matematico che tenga conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

Il modello costituito, secondo quanto previsto e suggerito dalla norma CEI 211-4 cap. 4.3, tiene conto delle componenti spaziali dell'induzione magnetica, calcolate come somma del contributo delle correnti nei diversi conduttori.

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right] \quad B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_i - x}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello, che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna, della quale sono note le caratteristiche geometriche. Si terrà conto nel seguito per l'applicazione del modello **di una doppia terna di cavi unipolari posati in linea**. E' questo da considerare il caso peggiore poiché:

- il campo magnetico generato dal un cavo elicordato meno intenso di quello di una terna posata a trifoglio.
- il campo magnetico generato da una terna di cavi postai a trifoglio è meno intenso di quello di una terna posata in linea.

Infatti per i cavi unipolari posati a trifoglio la norma CEI 106-12 indica la seguente espressione approssimata (per eccesso):

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

Per terna di cavi unipolari posati in piano (uno affiancato all'altro) percorsi da correnti equilibrate e simmetriche, la stessa CEI 106-12 indica la seguente espressione approssimata (per eccesso):

$$B = 0,346 * \frac{S * I}{R^2}$$

dove:

B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante;

R [m] dal conduttore centrale;

S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti pari a I [A].

Si precisa che R è la distanza dal conduttore misurata in piano, cioè al livello del suolo, quindi a quota 0.

Considerata la natura vettoriale del campo magnetico, è possibile sommare i contributi dovuti alle singole terne e calcolare, attraverso il modello semplificato di cui prima, il valore del campo magnetico nello spazio circostante l'elettrodotto, nel caso in cui abbiamo più terne affiancate.

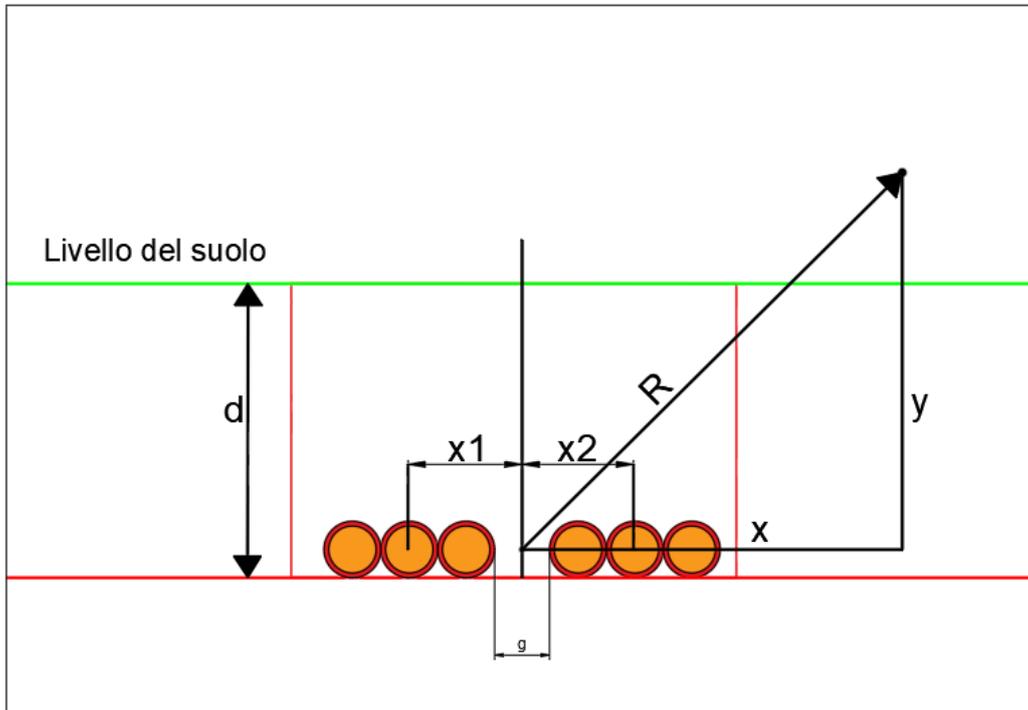
Possiamo quindi riscrivere la formula nella maniera seguente:

$$B_i = 0,346 * \frac{S_i * I_i}{(x - x_i)^2 + (y - d)^2}$$

Dove

x= è la distanza dal baricentro delle terne, baricentro che si assume come punto da cui viene calcolato il campo di induzione magnetica

d= è la profondità di posa



Geometria di due terne posate in linea all'interno della stessa trincea

Per cui applicando la formula di cui sopra si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente.

B1-Induzione magnetica	0,62	0,42	0,39	0,28	0,19	0,14
l1 - Corrente (A)	83,46					
S1 - Diametro massimo conduttore (m)	0,039					
x1 - Distanza del centro terna dal baricentro (m)	0,1085					
d - Profondità di posa (m)	1,2					
g - Distanza tra terne (m)	0,10					
x - Distanza dal baricentro-Proiezione sul livello del suolo (m)	0,5	1	1,1	1,5	2	2,5
B2	1,16	0,83	0,77	0,55	0,37	0,26
l2 - Corrente (A)	137,46					
S2 - Diametro massimo conduttore (m)	0,039					
x2 - Distanza del centro terna dal baricentro (m)	0,1085					
d - Profondità di posa (m)	1,2					
g - Distanza tra terne (m)	0,10					
x - Distanza dal baricentro-Proiezione sul livello del suolo (m)	0,5	1	1,1	1,5	2	2,5
Btot=B1+B2	1,79	1,25	1,15	0,83	0,56	0,40

Il calcolo è stato effettuato considerando:

1. applicando il vettore induzione magnetica al baricentro geometrico delle due terne di cavi posati in piano

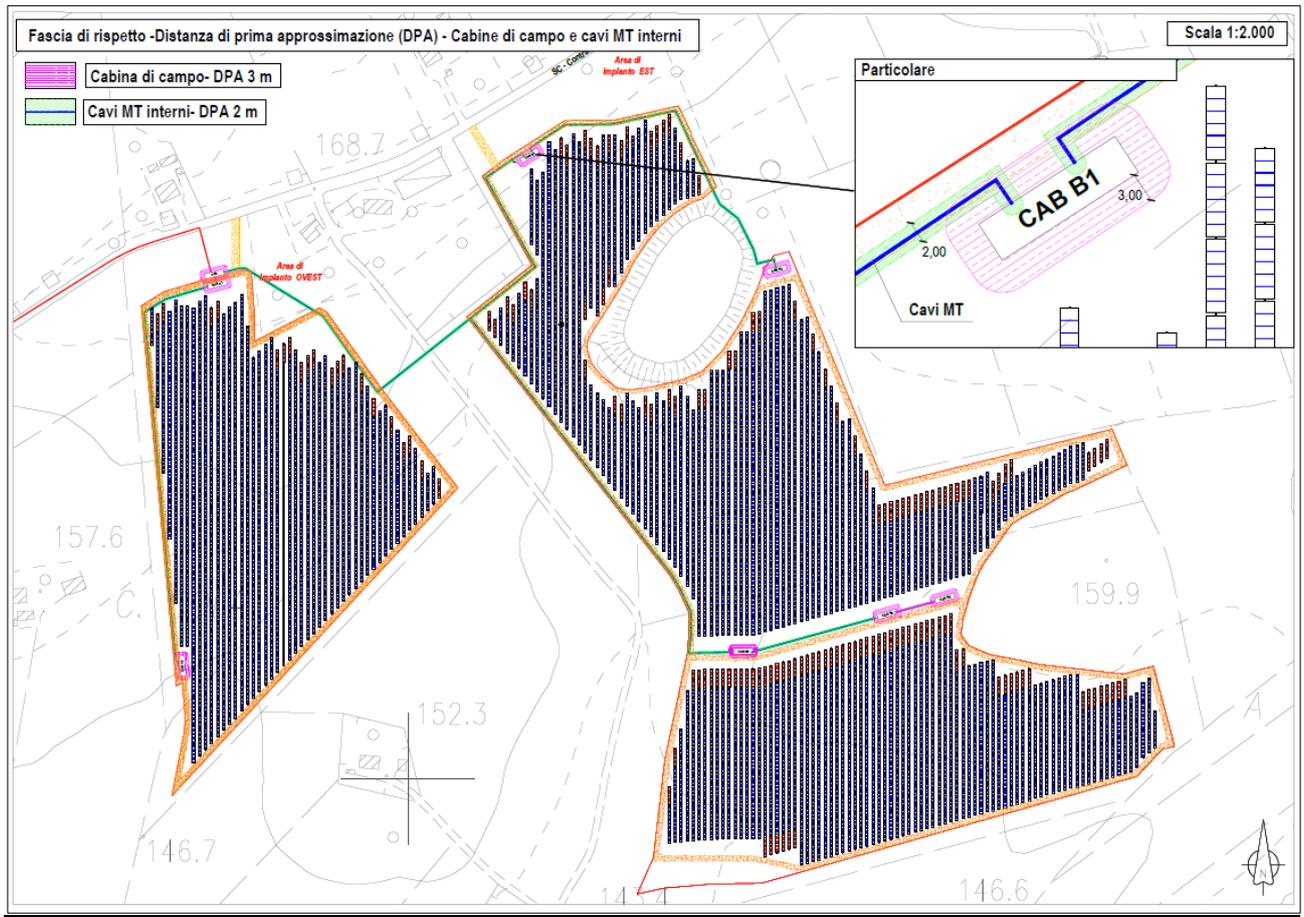
2. una distanza **g= 10 cm** tra le due terne
3. un diametro massimo dei cavi conduttori **S= 39 mm**, ottenuto dalle specifiche tecniche di cavi ARP1H5(AR)E della sezione di 95 mmq
4. considerando una profondità di posa **d=1,2 m**
5. considerando che una terna è percorsa da **I=83,46 A**, e l'altra terna da una corrente **I=137,46 A**

Il risultato del calcolo è che in ogni caso sul piano di campagna, a causa della profondità di posa, il campo magnetico indotto complessivamente dalle due terne di cavi è minore di 3 μT , quindi in ogni caso è rispettato il limite di qualità. Ad una distanza di 50 cm dall'asse geometrico delle due terne il campo di induzione magnetica complessivo è di 1,79 μT

Con ampio margine di sicurezza possiamo definire che la fascia di rispetto che definisce la DPA sia pari a 1 m a destra e 1 m a sinistra dell'asse del cavidotto.

Si prevedono comunque, nelle fasi di esercizio e manutenzione alla linea o alle Cabine dell'impianto, tempi di permanenza di personale addetto inferiori alle 4 ore. Per tempi che dovessero prospettarsi superiori, si prevede comunque la disalimentazione di parte o di tutto l'impianto, a seconda della zona sulla quale si andrà ad operare.

In **fase di esercizio**, pertanto, il funzionamento dei cavidotti elettrici produrrà campi elettromagnetici di entità modesta ed inferiore ai livelli di qualità previsti dal DPCM 8 luglio 2003. Inoltre i cavidotti saranno installati in gran parte al di sotto di strade secondarie in aree agricole dove non vi è presenza di abitazioni, e dove non è prevista la permanenza continuativa di persone.



Inquadramento area di impianto (DPA cavi MT interni e cabine)

Elettrodotto MT esterno

L'elettrodotto esterno che collegherà la Cabina di Smistamento (CdS) alla Sottostazione Elettrica Utente (SSE), avrà una lunghezza pari a circa 4,95 km. Si svilupperà interamente nel territorio Comunale di Treia e sarà costituito da una terna di cavi MT in alluminio da 240 mm² del tipo ARP1H5(AR)E.

La metodologia per il calcolo del valore del campo di induzione elettromagnetica generato dal detto elettrodotto, è la medesima utilizzata per gli elettrodotti interni all'impianto che afferiscono alla Cabina di Smistamento.

In particolare il cavidotto esterno avrà le seguenti caratteristiche principali:

DORSALE ESTERNA								
<i>Tratti</i>	<i>Tensione (kV)</i>	<i>Corrente (A)</i>	<i>Sezione (mm²)</i>	<i>Portata</i>	<i>Lunghezza CAD (m)</i>	<i>5%</i>	<i>Inqr. Cabina (m)</i>	<i>Stima finale (m)</i>
CdS - SSE	30,00	309,29	240,00	357,6 A	4.950,00	5.197,50	10,00	5.207,50

Come nel caso precedente utilizziamo per il calcolo del campo B la formula:

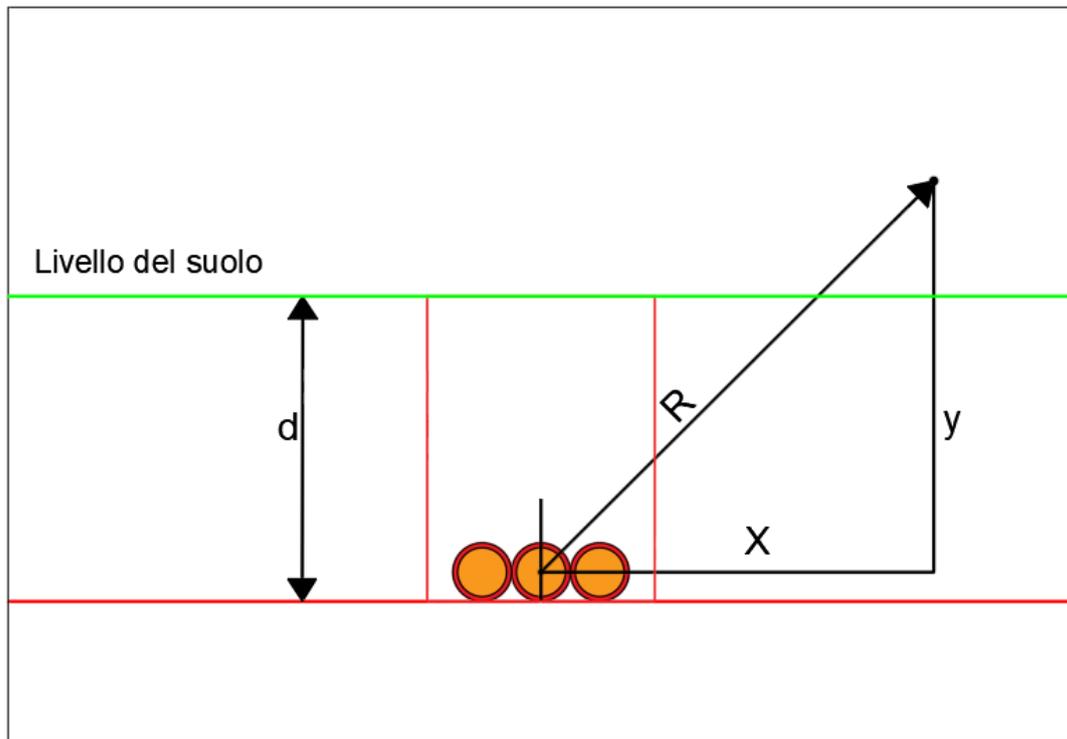
$$B = 0,346 * \frac{S*I}{R^2} \quad (1)$$

dove:

B [μT] è l'induzione magnetica in un generico punto distante **R** [m] dal conduttore centrale;

S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di intensità pari a **I=357,6 A**. In considerazione del fatto che i conduttori di ciascuna terna saranno affiancati, tale distanza corrisponde al diametro massimo del conduttore, pari nel nostro caso a **0,045 m** (dal *data sheet* dei cavi ARP1H5(AR)E della sezione di 240 mmq).

Di seguito si riporta la geometria riferita al caso di una unica terna posata in piano



Geometria di una terna posata in linea all'interno di una trincea

Ponendo ora

B=3 μ T (indice di qualità)

I= 357,6 A (corrente che percorre la terna di cavi)

S=0,045 m (sezione esterna del cavo)

e risolvendo la (1) rispetto a R, abbiamo

$$\mathbf{R= 1,36\ m}$$

Ovvero ad una distanza di 1,36 m dal conduttore centrale della terna di cavi il campo di induzione magnetica sarà pari al valore di qualità di 3 μ T.

Approssimando per eccesso porremo e **non considerando la profondità di posa pari a 1,2 m**

$$\mathbf{DpA= 1,5\ m}$$

In altri termini ponendosi al di fuori della fascia di 3 m (1,5 m a sx e 1,5 m a dx) il campo di induzione magnetica è sicuramente inferiore a 3 μ T, e pertanto è rispettato l'indice di qualità.

I cavidotti esterni correranno in corrispondenza di strada secondarie extraurbane esistenti, lontano da abitazioni, scuole, uffici ed edifici in genere, più in generale di luoghi in cui non è prevista la permanenza continuativa di persone.

3.1.1 Cavidotto AT 132 kV

Per la connessione della SSE alla CP Enel "Treia" da 132 kV, sarà utilizzata una terna di cavi unipolari AT interrati ad una profondità di 1,5m, con le seguenti caratteristiche.

<u>Potenza CdS</u> kVA	<u>Cavo AT</u>					
	<u>Tratti</u>	<u>Tensione (kV)</u>	<u>Corrente (A)</u>	<u>Sezione</u> (mm ²)	<u>Lunghezza CAD (m)</u>	<u>5%</u>
15.750,00	SSE-CP Enel	132,00	70,29	1.000,00	90,00	94,50

La formula utilizzata per la distanza di prima approssimazione è la stessa per le linee MT interrate, dal momento che il campo di induzione magnetica dipende, con approssimazione conservativa, dalla corrente e non dalla tensione di rete, pertanto trattandosi di una sola terna di cavi, abbiamo:

$$B = 0,346 * \frac{S*I}{R^2} \quad (1)$$

dove:

B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante **R** [m] dal conduttore centrale;

S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di intensità pari a **I=70,29 A**. In considerazione del fatto che i conduttori di ciascuna terna saranno affiancati, tale distanza corrisponde al diametro massimo del conduttore, pari nel nostro caso a **0,045 m** (dal *data sheet* cavo AT 150-132 kV della sezione di 1.000 mmq).

Ponendo

B=3 μ T (indice di qualità)

I= 70,29 A (corrente che percorre la terna di cavi)

S=0,12 m (sezione esterna del cavo)

e risolvendo la (1) rispetto a R, abbiamo

$$R = 0,98 \text{ m}$$

Ovvero ad una distanza di 0,98 m dal conduttore centrale della terna di cavi il campo di induzione magnetica sarà pari al valore di qualità di 3 μ T.

Approssimando per eccesso porremo

$$DpA = 1,0 \text{ m}$$

Considerando che il cavidotto AT è interrato ad una profondità di 1,5m, il valore del Campo di Induzione Elettromagnetica sul piano stradale o di campagna è comunque al di sotto dell'obiettivo di qualità, pari a $3\mu\text{T}$.

Possiamo affermare quindi che l'impatto elettromagnetico è limitato o trascurabile.

Rammentiamo lungo tutto il percorso, di circa 90 m, l'elettrodotta AT "correrà" in un'area tra la SSE e la CP Enel "Treia". Si tratta pertanto di luoghi (terreno a seminativo) dove non vi è presenza di abitazioni, e dove non è prevista la permanenza continuativa di persone, di fatto l'impatto sulla salute umana è pressoché nullo.

Ad ogni modo con ampio margine di sicurezza possiamo definire che la fascia di rispetto che definisce la DPA (Distanza di Prima Approssimazione) sia pari a 1 m a destra e 1 m a sinistra dell'asse del cavidotto.

In caso di manutenzione dei cavidotti, avviene sempre, per ovvi motivi di sicurezza elettrica, con le linee disalimentate.

In **fase di esercizio**, pertanto, il funzionamento dei cavidotti elettrici produrrà campi elettromagnetici di entità modesta ed inferiore ai livelli di qualità previsti dal DPCM 8 luglio 2003. Inoltre i cavidotti saranno installati in aree dove non vi è presenza di abitazioni, e dove non è prevista la permanenza continuativa di persone.

3.2 Cabine di Campo e Trasformazione

Nel caso delle Cabine di Campo e Trasformazione, determiniamo direttamente il valore della **DPA**. La **DPA**, Distanza di Prima Approssimazione, per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa, che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del perimetro di cabina più di DPA, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto.

Per fascia di rispetto s'intende, in questo caso, lo spazio circostante la cabina che comprende tutti i punti, al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un'induzione magnetica d'intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità (**3μT**). Il calcolo della DPA deve essere effettuato anche per le *Cabine di Campo*, all'interno delle quali avviene la trasformazione da BT in MT a mezzo di un Trasformatore BT/MT. Si prende a tale scopo in considerazione, il trasformatore di taglia maggiore previsto all'interno dell'impianto e che risulta avere una potenza pari a 2.500kVA.

Ai sensi del DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, la **DPA** si determina applicando la formula di seguito riportata.

La struttura semplificata sulla base della quale si calcola la **DPA** è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale di bassa in uscita dal trasformatore, e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso. Quindi i dati necessari per il calcolo delle **DPA** sono:

- corrente nominale di bassa tensione del trasformatore;
- diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0.40942 * x^{0.5241}$$

Dove:

I è la corrente nominale di bassa tensione del trasformatore in (A);

x il diametro dei cavi in (m).

Nel caso in esame i dati di ingresso saranno assegnati considerando il "worst-case" del nostro progetto:

I = 1.841 A (valore massimo della corrente di bassa in ingresso al trasformatore nelle cabine interne all'area di progetto).

x = diametro esterno massimo del cavo pari a 33 mm trattandosi di un cavo *FG16R16 3 x(1x300 mm²)*.

Dal calcolo si ottiene:

DPA pari a 2,93m

che arrotondata per eccesso all'intero superiore fissa il valore della **Distanza di Prima Approssimazione** pari a **3,0 m**.

Quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'aerea di pertinenza dell'impianto stesso, essendo le cabine sempre ubicate oltre il margine interno delle strade perimetrali, cioè ad una distanza dalla recinzione sempre superiore ai 6 m. Inoltre cabina è posizionata all'aperto e non è permanentemente presidiata.

3.3 Sottostazione Elettrica Utente 30/132 kV

L'energia proveniente dall'Impianto Fotovoltaico, raggiungerà la Sottostazione di Trasformazione, ubicata in prossimità della CP Enel Treia esistente. Qui è previsto:

- un ulteriore innalzamento della tensione con una trasformazione 30/132 kV;
- la misura dell'energia prodotta;
- la consegna a Enel.

Al suo interno sarà presente un edificio adibito a locali tecnici, in cui saranno allocati gli scomparti MT, i quadri BT, il locale comando controllo. Il gruppo elettrogeno, invece, sarà installato in apposito locale, con un unico accesso diretto dall'esterno, nell'ambito dello stesso edificio.

È prevista altresì la realizzazione di uno stallo di trasformazione per la connessione tramite cavo AT alla CP Enel di Treia.

Il trasformatore 30/132 kV avrà potenza nominale di 20 MVA raffreddamento in olio ONAN/ONAF, con vasca di raccolta sottostante, in caso di perdite accidentali.

Oltre al trasformatore MT/AT saranno installate apparecchiature AT per protezione, sezionamento e misura:

- scaricatori di tensione;
- sezionatore tripolare con lame di terra;
- trasformatori di tensione induttivi per misure e protezione;
- interruttore tripolare 132kV;
- trasformatori di corrente per misure e protezione;
- trasformatori di tensione induttivi per misure fiscali.

La recinzione sarà realizzata con elementi prefabbricati "a pettine", che saranno installati su apposito cordolo in calcestruzzo (interrato). La finitura del piazzale interno alla SSE sarà in asfalto. In corrispondenza delle apparecchiature AT sarà realizzata una finitura in ghiaietto.

Per quanto concerne la determinazione della fascia di rispetto, la SSE è del tutto assimilabile ad una Cabina Primaria.

L'impatto elettromagnetico nella SSE è essenzialmente prodotto:

- dall'utilizzo dei trasformatori BT/MT e MT/AT;
- dalla realizzazione delle linee/sbarre aeree di connessione tra il trasformatore e le apparecchiature elettromeccaniche;
- dalla linea interrata AT.

L'impatto generato dalle linee/sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto faremo riferimento alla fascia di rispetto dalle linee/sbarre AT.

3.3.1 Determinazione della fascia di rispetto

Per le **DPA** ci si è rifatti comunque alle “*Linee Guida per l’applicazione del § 5.1.3. dell’Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche*”, redatto da **ENEL** di cui si riporta di seguito lo stralcio per quanto di interesse che pongono la distanza di prima approssimazione dal centro delle sbarre AT pari a **14 m**.

D'altra parte al paragrafo 5.2.2 dell’Allegato al Decreto 29 maggio 2008 che afferma che: per questa tipologia di impianti la DPA e, quindi, la fascia di rispetto, rientrano generalmente nei confini dell’aerea di pertinenza dell’impianto stesso.



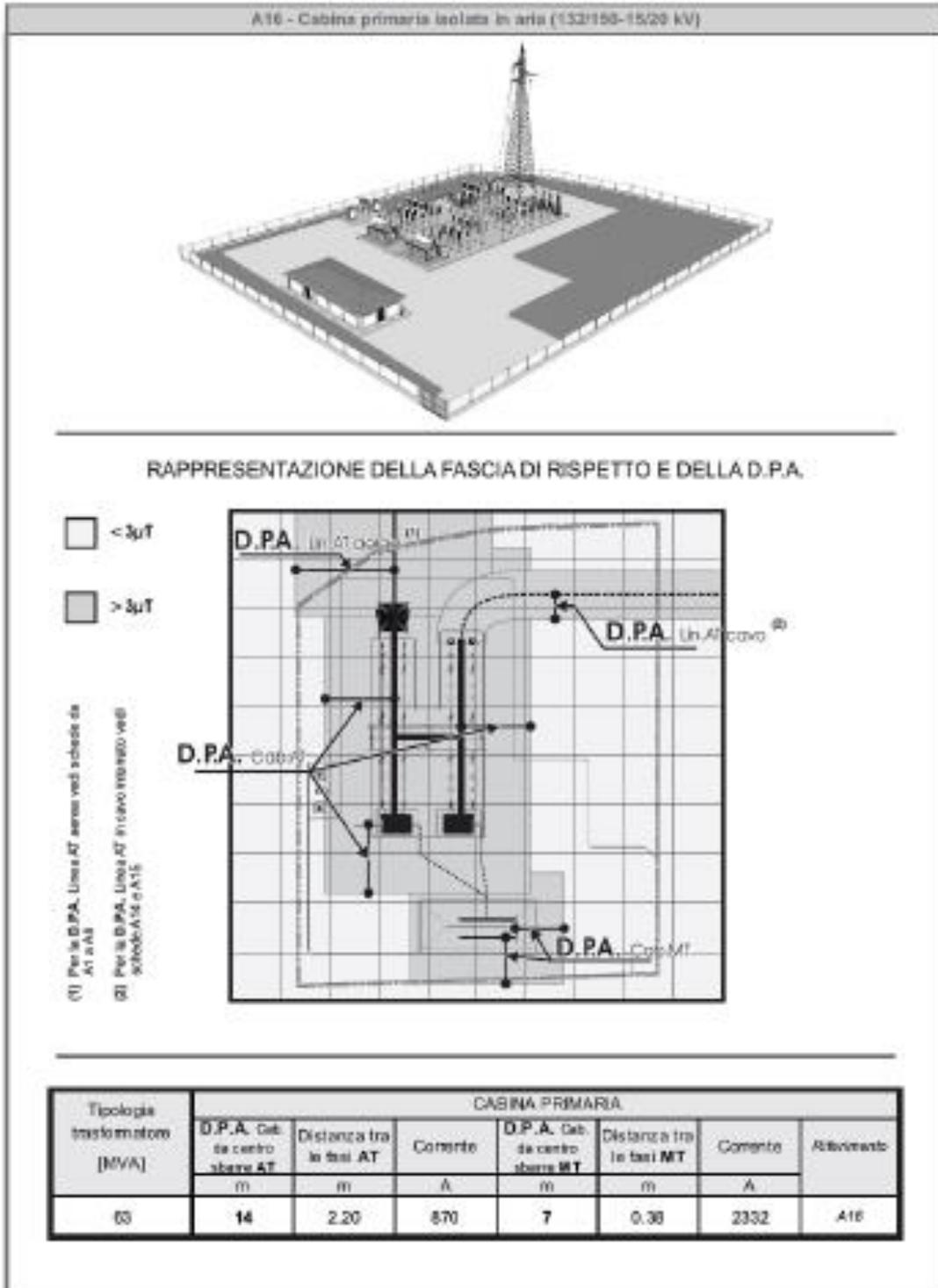
L'ENERGIA CHE TI ASCOLTA.

DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI
QSA/TUN

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)	Rif.
Tubolare Doppia Terna con mensole isolanti (serie 132/150 kV) Scheda A13	22.8 mm 307.75 mm ²		576	22	A13a
			444	19	A13b
	31.5 mm 585.35 mm ²		870	27	A13c
			675	23	A13d
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV) Scheda A14	108 mm 1600 mm ²		1110	5.10	A14
CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV) Scheda A15	108 mm 1600 mm ²		1110	3.10	A15
CABINA PRIMARIA ISOLATA IN ARIA (132/150kV - 15/20kV) Trasformatori 63MVA Scheda A16	Distanza tra le fasi AT = 2.20 m		870	14	A16
	Distanza tra le fasi MT = 0.37 m		2332	7	



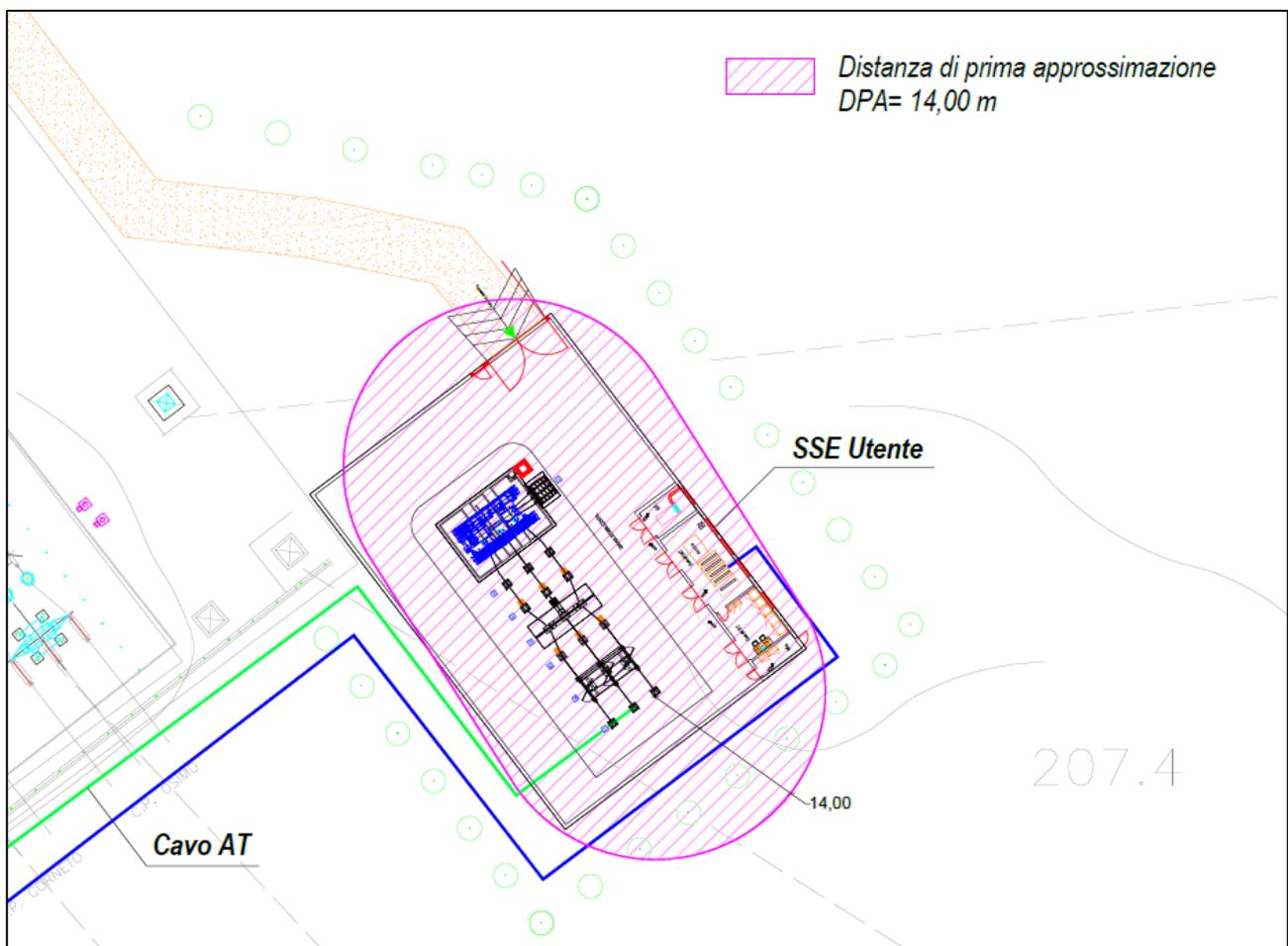
DIVISIONE INFRASTRUTTURE E RETI
 QUALITÀ



Inoltre:

- in conformità a quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 la *Distanza di Prima Approssimazione (DPA)* e, quindi, la fascia di rispetto rientra nei confini dell'area di pertinenza della cabina di trasformazione in progetto;
- la sottostazione di trasformazione è comunque realizzata in un'area agricola, l'edificio abitato più vicino è ubicato a nord della SSE, l'area di pertinenza dista circa 50 m, mentre l'edificio propriamente detto dista circa 90 m;;
- all'interno dell'area della sottostazione non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.

Pertanto, si può quindi affermare che l'impatto elettromagnetico su persone, prodotto dalla realizzazione della SSE, sarà trascurabile.



Applicazione delle D.P.A. secondo "Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3. dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche"

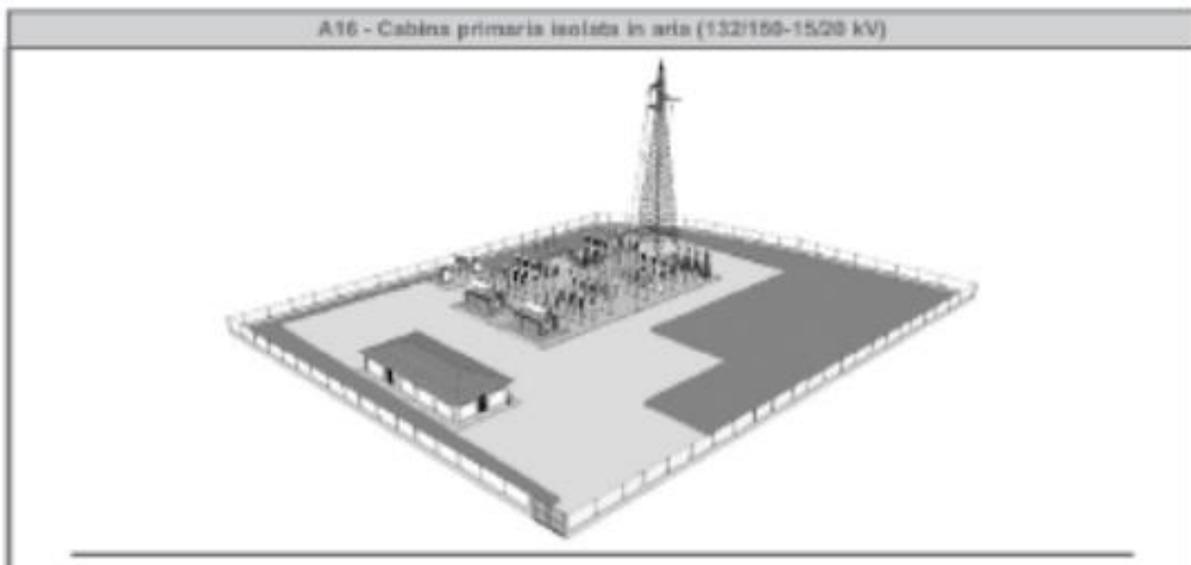
3.4 CP E-distribuzione di Treia 20/132 kV

Nella CP sono presenti due stalli con trasformatori MT/AT 20/132 kV.

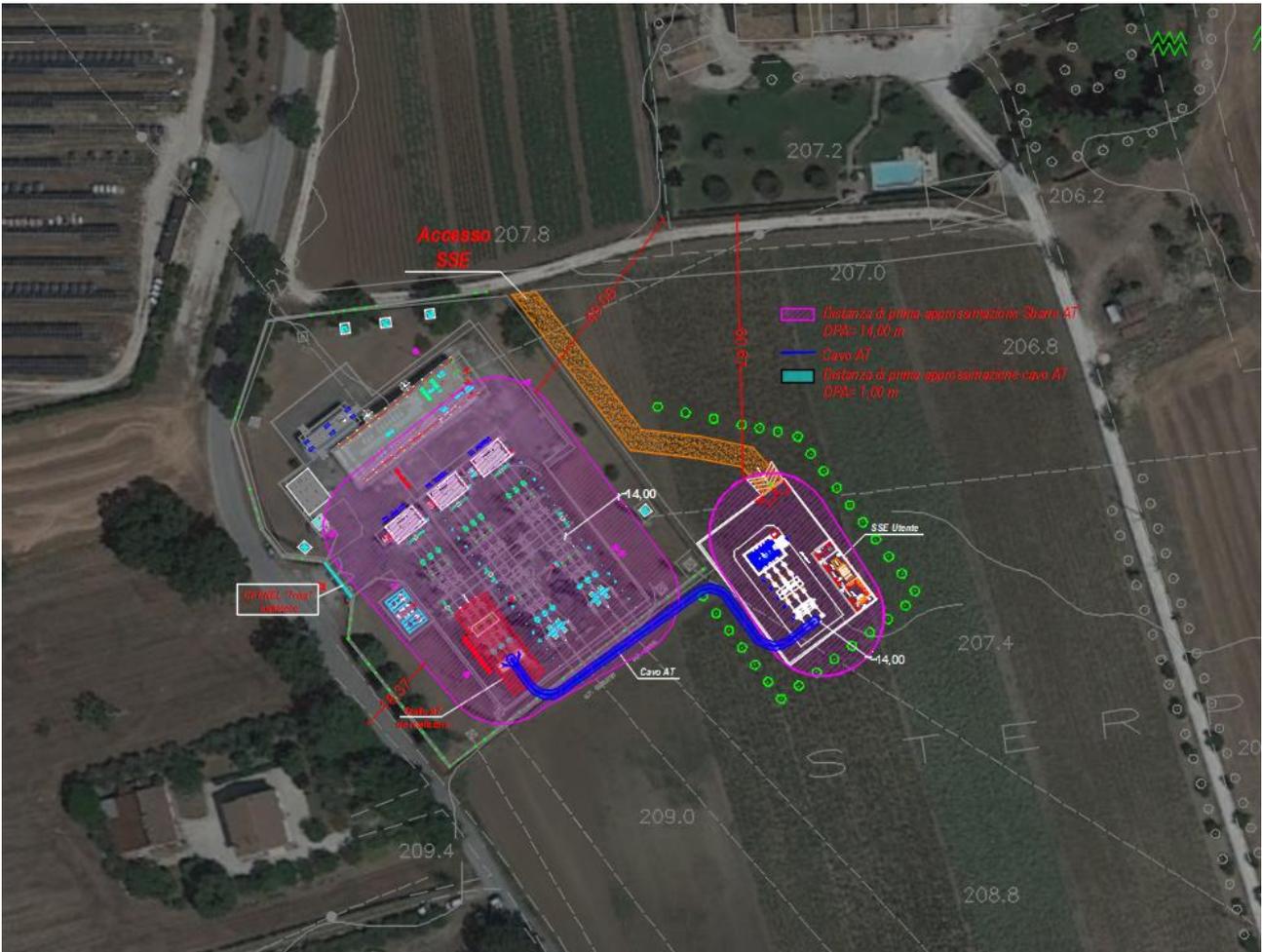
Il progetto prevede la realizzazione di un stallo di arrivo (senza trasformatore) ma completo di tutte le protezioni necessario per la connessione dell'impianto fotovoltaico in progetto.

Anche per questo caso per la definizione della **DPA** ci si è rifatti comunque alle “*Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3. dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche*”, redatto da ENEL di cui si riporta di seguito lo stralcio per quanto di interesse che pongono la distanza di prima approssimazione dal centro delle sbarre AT pari a **14 m**.

Facciamo presente che il calcolo effettuato da ENEL ed indicato nelle Linee Guida sopra riportate è un calcolo effettuato per eccesso e comunque riferito a Cabine Primaria costituite da più stalli e quindi sicuramente applicabile al caso in esame (vedi immagine sotto).



Come si evince dall'elaborato grafico sotto riportato la DPA resta confinata all'interno delle aree della CP ed in quelle immediatamente adiacenti, rimanendo lontano da edifici esistenti e comunque dalle loro aree di pertinenza (giardini o aree recintate).



DPA della CP Treia e SSE Utente con indicazione delle distanze dalle pertinenze degli edifici più vicini

3.5 Conclusioni e Distanze di prima approssimazione (DPA)

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti del Parco Fotovoltaico in oggetto ed in particolare delle Cabine elettriche, i cavidotti, la Sottostazione Utente (SSE), e la CP e-distribuzione di Treia in merito all'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici. A conforto di ciò che è stato fin qui detto, a lavori ultimati si potranno eseguire prove sul campo che dimostrino l'esattezza dei calcoli e delle assunzioni fatte.

Lo studio condotto conferma la conformità dell'impianto dal punto di vista degli effetti del campo elettromagnetico sulla salute umana.

Per quanto concerne i cavi interrati abbiamo calcolato il campo di induzione magnetica ed abbiamo visto che essa resta confinato in una fascia limitata misurata dall'asse del cavidotto.

E' stato calcolato il valore del campo elettromagnetico indotto dai trasformatori ubicati nelle Cabine di Campo dell'impianto fotovoltaico ed estesa la DPA all'intera cabina.

Per quanto concerne la SSE Utente e la CP il campo elettromagnetico è sostanzialmente indotto dalle sbarre AT presenti all'interno di dette aree. Abbiamo utilizzato come riferimento i valori indicati da ENEL nel documento *Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3. dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche.*

A valle dei calcoli e delle verifiche effettuate possiamo concludere che per quanto concerne

- 1) Le cabine elettriche all'interno dell'area dell'impianto fotovoltaico
- 2) La SSE
- 3) La CP ENEL Treia

la DPA calcolata ricade in gran parte all'interno delle recinzioni che delimitano queste aree e quindi non generano rischi di esposizione prolungata ai campi elettromagnetici, dal momento che si tratta di *Officine Elettriche* a cui è consentito l'accesso di personale specializzato, peraltro in modo saltuario e non continuativo (per tempi non superiori alle 4 ore).

Inoltre per quanto riguarda le DPA che eccedono il limite di dette officine esse non interessano aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici o luoghi adibiti a permanenze di persone superiori a quattro ore, rispondendo pienamente agli obiettivi di qualità dettati dall'art.4 del D.P.C.M 8 luglio 2003.

Inoltre, sono rispettate ampiamente le distanze da fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che comporti tempi di permanenza prolungati, previste dal D.P.C.M. 23 aprile 1992 "*Limiti massimi di esposizione al campo elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale di 50 Hz negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno*".

In definitiva, volendo riassumere, si sono assunte le seguenti Distanze di Prima Approssimazione:

3.5.1 Cabina di Smistamento

Come riportato nel paragrafo ad esse dedicato, per le cabine di trasformazione è stata considerata una fascia di rispetto pari a **3 m**, oltre la quale il valore del Campo di induzione magnetica risulta inferiore a 3 μ T (valore di qualità). In maniera del tutto conservativa, pertanto la **DPA di 3 m** è misurata a partire dalle pareti esterne delle Cabine elettriche.

Per la Cabina di Smistamento si considereranno i medesimi valori.

3.5.2 Cavidotti MT interni

Pure essendo i valori del campo di induzione elettromagnetica ben al di sotto dei limiti di qualità, assumeremo come larghezza della fascia di rispetto 2,00 m, cioè 1,00 metro dall'asse da entrambi i lati.

3.5.3 Cavidotto MT esterno

Anche per il cavidotto MT esterno (da CdS a SSE, pur essendo i valori del campo di induzione elettromagnetica ben al di sotto dei limiti di qualità, assumeremo come larghezza della fascia di rispetto 3,00 m, cioè 1,50 metro dall'asse da entrambi i lati.

3.5.4 Cavidotto AT

Per il cavidotto AT esterno (da SSE a CP Enel 132 kV), pur essendo i valori del campo di induzione elettromagnetica ben al di sotto dei limiti di qualità, assumeremo come larghezza della fascia di rispetto 2,00 m, cioè 1,00 metro dall'asse da entrambi i lati.

3.5.5 Sottostazione Utente (SSE)

Per la sottostazione Utente, sono state assunte come Distanze di Prima approssimazione, quelle indicate nelle *“Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3. dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche”*, che pongono la distanza di prima approssimazione dal centro delle sbarre AT pari a **14 m**.

3.5.6 CP ENEL Treia

Per la CP Enel di Treia, sono state assunte come Distanze di Prima approssimazione, quelle indicate nelle *“Linee Guida per l'applicazione del § 5.1.3. dell'Allegato al DM 29.05.2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche”*, che pongono la distanza di prima approssimazione dal centro delle sbarre AT pari a **14 m**.

3.5.7 Sintesi dei risultati

Di seguito la sintesi dei risultati con l'indicazione delle Distanze di Prima Approssimazione (DPA)

<u>Cabine di Trasformazione:</u>	3 m in tutto il loro intorno;
<u>Cabina di Smistamento:</u>	3 m in tutto l'intorno;
<u>Cavidotti MT interni all'impianto fotovoltaico</u>	1 m a destra e sinistra dall'asse
<u>Cavidotto MT da CdS a SSE 30/132kV</u>	1,5 m a destra e sinistra dall'asse
<u>Cavidotto AT da SSE a CP Enel 132kV</u>	1 m a destra e sinistra dall'asse
<u>SSE Utente</u>	14 m a destra e sinistra dall'asse delle sbarre AT
<u>CP ENELE Treia</u>	14 m a destra e sinistra dall'asse delle sbarre AT