



REGIONE
PUGLIA



PROVINCIA
DI BRINDISI



COMUNE
DI CELLINO SAN MARCO

Realizzazione di impianto agrivoltaico con produzione agricola e produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile fotovoltaica da ubicarsi in agro di Cellino San Marco (BR) e delle relative opere di connessione alla Stazione di connessione elettrica SE nel Comune di Cellino San Marco (BR)

Potenza nominale cc: 34,095 MWp - Potenza in immissione ca: 30,00 MVA

ELABORATO

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello progetto	Codice Pratica	documento	codice elaborato	n° foglio	n° tot. fogli	Nome file	Data	Scala
PD		R	2.3			R_2.3_CAMPIELETTROMAGNETICI.pdf	01/2023	n.a.

REVISIONI

Rev. n°	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/2023	1° Emissione	SCARDIGNO	AMBRON	AMBRON

PROGETTAZIONE:

MATE System Unipersonale srl

Via Papa Pio XII, n.8 70020 Cassano delle Murge (BA)
tel. +39 080 5746758
mail: info@matesystemsrl.it pec: matesystem@pec.it

DIRITTI Questo elaborato è di proprietà della Ambra Solare 22 S.r.l. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

PROPONENTE:
AMBRA SOLARE 22 S.R.L.
Via TEVERE n.°41
00198 ROMA

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

REALIZZAZIONE DI IMPIANTO AGRIVOLTAICO CON PRODUZIONE AGRICOLA E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE FOTVOLTAICA DA UBICARSI IN AGRO DI CELLINO SAN MARCO (BR) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA STAZIONE DI CONNESSIONE ELETTRICA SE NEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

Impianto FV:Potenza nominale cc: 34,095 MWp – Potenza nominale ca: 30,00 MVA

COMMITTENTE:

AMBRA SOLARE 22 S.r.l.

Via TEVERE, 41 00198 –
ROMA

PROGETTAZIONE a cura di:

MATE SYSTEM S.R.L.

Via Papa Pio XII, 8
70020 – Cassano delle Murge (BA)

Ing. Francesco Ambron

RELAZIONE SPECIALISTICA CAMPI ELETTROMAGNETICI

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

Sommario

1.	<i>OGGETTO</i>	3
2.	<i>COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA</i>	7
2.1.	<i>Riferimenti normativi</i>	7
2.2.	<i>Valutazione dell'esposizione umana. Valori limite</i>	7
3.	<i>CAMPO ELETTROMAGNETICO</i>	9
3.1.	<i>Campo elettrico</i>	11
3.2.	<i>Campo magnetico</i>	11
4.	<i>DIFFERENZE TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAMPI INDOTTI DA CAVI INTERRATI</i>	12
4.1.	<i>Campo elettrico</i>	12
4.2.	<i>Campo magnetico</i>	12
5.	<i>FASCIA DI RISPETTO PER GLI OBIETTIVI DI QUALITÀ</i>	14
5.1.	<i>Cavi MT</i>	14
5.2.	<i>Cabine di Consegna e Trasformazione</i>	16
5.3.	<i>Determinazione della fascia di rispetto linee/sbarre AT</i>	19
5.4.	<i>Recettori prossimi all'area o al cavidotto</i>	21
6.	<i>CONCLUSIONI</i>	22

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

1. OGGETTO

L'impianto fotovoltaico della potenza pari a 34,095 MWp, da realizzarsi in agro di Cellino San Marco (BR), sarà collegato alla Stazione Elettrica di Trasformazione AT/MT dell'utente a mezzo di un cavidotto prevalentemente interrato di media tensione con una lunghezza pari a circa 8.820 mt, il cui tracciato ricade interamente nel comune di Cellino San Marco, lungo viabilità esistente. La stazione di raccolta è a sua volta collegata alla Stazione RTN "Cellino San Marco" mediante cavo AT interrato, di lunghezza pari a circa 375m. Si evidenzia che la realizzazione delle opere di utenza per la connessione alla Rete Elettrica Nazionale di proprietà Terna S.p.A. permetteranno l'immissione nella stessa dell'energia prodotta dal campo fv del produttore.

I riferimenti catastali del sito sono:

- Comune di Cellino San Marco: Foglio di mappa n.°04 p.lle 110 - 198 – 199 – 258 – 322 - 613
- Comune di Cellino San Marco: Foglio di mappa n.°27, p.lle 127 – 128 – 129 – 214 – 213 – 323 - 424
- Comune di Cellino San Marco: Foglio di mappa n.°33 p.lle 86 – 168 – 169 – 170 – 87 – 147 – 141 - 140;

L'obiettivo di tale impianto è incentivare l'utilizzo da fonti rinnovabili per la produzione di energia pulita, nonché associare ad esso, in un'ottica di coesistenza territoriale, una produzione agricola che soddisfi i fabbisogni della comunità. Infatti, tali impianti hanno una vita utile variabile dai 20 ai 30 anni ed hanno il vantaggio di non generare inquinamento e per i quali non occorre particolare manutenzione;

Inoltre, la realizzazione dell'impianto sul territorio limita i rischi per la sicurezza e riduce le dispersioni energetiche derivanti dal trasporto delle materie, immettendo in rete l'energia prodotta. In associazione a quanto espresso, va valutata la produzione

agricola, compatibile con flora e fauna locali, che restituisce al suolo la sua natura ed i suoi ecosistemi.

L'impianto agrivoltaico in progetto contemplerà la produzione di energia e la produzione agricola, con redditività elettrica dei pannelli di cui è composto con una vita utile stimata di circa 30 anni.

Oltre la sua vita utile, l'impianto dovrà essere rinnovato oppure dismesso, nel rispetto delle normative di settore e conseguente ripristino dello stato dei luoghi.

Scopo del progetto è la realizzazione di un campo agro-fotovoltaico per la produzione sia agricola, sfruttando colture locali, che di energia elettrica da fonte rinnovabile (energia fotovoltaica) e

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

l'immissione, attraverso un'opportuna connessione, dell'energia prodotta nella Rete di Trasmissione Nazionale.

Il campo agrivoltaico di questo impianto sarà costituito da n. 1722 stringhe da 30 moduli cadauna, per un totale di 51660 moduli e 34,095 MWp di potenza di picco; tutti i moduli sono della Canadian Solar Inc. modello HiKu7 Mono monofacciali della potenza di 660 Wp cadauno (o similari).

I moduli sono composti da celle in silicio monocristallino, il loro rendimento è 21,2 % e inoltre sono conformi alle normative IEC 61215 e IEC 61730.

Per garantire la produzione di energia del parco, è stata prevista l'installazione di n° 4 power station (TWIN Skid) della INGECON SUN modello FSK C Series (o similari), le cui caratteristiche sono di seguito riportate:

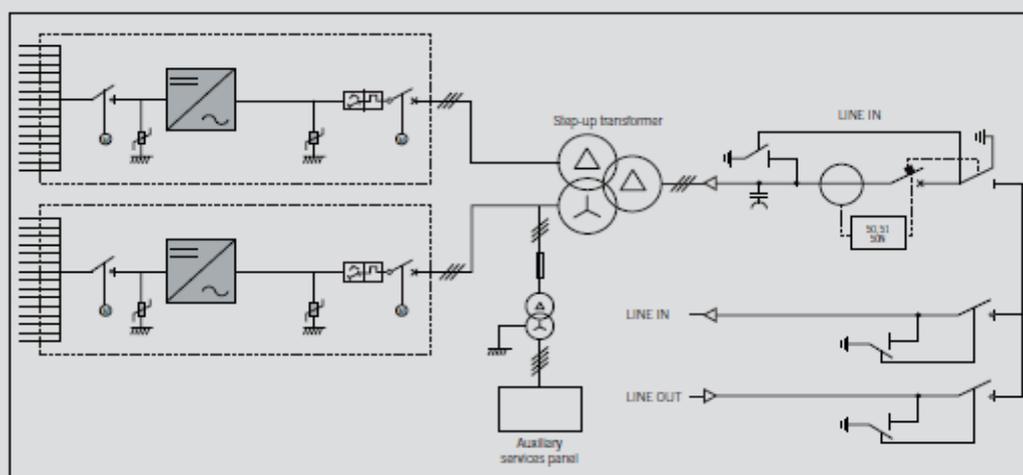
Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

INGECON SUN PowerStation FSK C Series 1,500 Vdc

	3825 FSK C Series	7650 FSK C Series
General Information		
Number of inverters	1	2
Max. power @35 °C / 95 °F ¹⁾	3,824 kVA	7,648 kVA
Operating temperature range	from -5 °C to +50 °C	
Relative humidity (non condensing)	0 - 100%	
Maximum altitude	3,000 masl (power derating starting at 1,000 masl)	
LW/MV Transformer		
Medium voltage	From 20 kV up to 36 kV, 50-60 Hz	
Cooling system	ONAN (KNAN optional)	
Minimum PEI (Peak Efficiency Index) ²⁾	99.50%	
Protection degree	IP54	
MV Switchgear (RMU)		
Medium voltage	24 kV / 36 kV / 40.5 kV	
Rated current	630 A	
Cooling system	Natural air ventilation	
Protection degree	IP54 (IP55 optionally)	
Equipment		
Auxiliary services panel	Standard version (optional monitoring system)	
Slap-up transformer	Oil-immersed hermetically sealed transformer	
MV Switchgear	11LA cells (21LA optional)	
Mechanical Information		
Structure type	Hot dip galvanized steel skid	
Dimensions Full Skid (W x D x H)	11,390 x 2,100 x 2,460 mm	11,390 x 2,100 x 2,460 mm
Full Skid	16 T	25 T
Standards	IEC 62271-212, IEC 62271-200, IEC 60076, IEC 61439-1	

Notes: ¹⁾ Maximum power calculated with the inverter model INGECON® SUN 3825TL C600. For other inverter models, please contact Ingeteam's Solar sales department. ²⁾ For European installations, ECO design according to the EU 549/2014 and EU 2019/1783 standards.

Configuration with two C Series solar inverters



Ingeteam

Figura 1 – Datasheet power station

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

Data l'estensione del parco, è stata prevista la suddivisione in n. 4 sezioni.

L'uscita degli inverter sarà connessa, a due a due direttamente al trasformatore della relativa PS, ad un quadro di parallelo AC, a sua volta connesso al secondario di un trasformatore MT/BT tramite un interruttore magneto-termico.

La distribuzione nel quadro generale avverrà tramite un sistema di sbarre.

Il quadro dovrà essere realizzato con componenti modulari trattato con vernici epossidiche ed avrà grado di protezione non inferiore a IP30.

La misura dell'energia ceduta alla rete avverrà nella stazione di consegna in alta tensione; i contatori saranno installati nel locale misure; le morsettiere dei trasformatori amperometrici e voltmetrici (verificati UTF) saranno corredate di copertura antifrode. Per la contabilizzazione dell'energia impiegata per i servizi ausiliari, data la conformazione della linea di alimentazione del QAux, la stessa attraverserà trasformatori amperometrici posti all'interno di appositi quadri.

I quadri di parallelo inverter dovranno essere dotati di scaricatori di sovratensione opportunamente dimensionati.

Il quadro di gestione dei servizi ausiliari, ha il compito di gestire la protezione ed il sezionamento di tutti i servizi di supporto alla sezione di produzione del campo quali:

- sistema antintrusione e video controllo;
- gruppo di continuità per l'alimentazione delle protezioni di interfaccia SPI e SPG sui quadri MT;
- sistema di monitoraggio della produzione;
- illuminazione.

Come accennato in precedenza, l'energia ceduta alla rete di distribuzione sarà contabilizzata da un unico contatore installato nella stazione di elevazione AT/MT. Questa stazione sarà connessa con sbarra rigida in alluminio ad una sbarra AT di condivisione con altri produttori; tale sbarra raccoglierà l'energia complessivamente prodotta dall'impianto fv in questione e da altri impianti e sarà connessa ad uno stallo della stazione RTN attraverso un cavo AT interrato di lunghezza modesta (circa 375 mt).

Le prime due tipologie di contatori saranno installate dalla proponente del parco fv, mentre il terzo contatore sarà installato a cura del gestore.

La presente relazione è riferita all'impatto elettromagnetico prodotto dall'impianto con particolare riferimento a:

- 1) linee MT ed AT interrate;
- 2) PS e consegna.

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

2. COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

2.1. Riferimenti normativi

- D.M. del 29 maggio 2008;
- 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

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

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= 3μT**) 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 5 kV/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 μT.

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

3. CAMPO ELETTROMAGNETICO

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 e, 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 di elettromagnetismo 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.

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.R.L. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/01/2023			Scala: n.a.

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 50 Hz. 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 50 Hz, 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
ULTRAVIOLETTO		UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI		X	> 3000THz	< 100nm

Tabella 1 - Spettro elettromagnetico

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

3.1.Campo elettrico

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, con 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.

3.2.Campo magnetico

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende invece dall'intensità della corrente circolante nel conduttore. Tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore quale quella stagionale. Per le linee elettriche aeree, il campo magnetico assume il valore massimo in corrispondenza della minima distanza dei conduttori dal suolo, ossia al centro della campata, e decade molto rapidamente allontanandosi dalle linee.

Non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea: quindi all'interno di eventuali edifici circostanti si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Quindi, sia il campo elettrico che il campo magnetico decadono all'aumentare della distanza dalla linea elettrica, ma mentre il campo elettrico, è facilmente schermabile da oggetti quali legno, metallo, ma anche alberi ed edifici, il campo magnetico non è schermabile dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

4. DIFFERENZE TRA CAMPI INDOTTI DA LINEE ELETTRICHE AEREE E CAMPI INDOTTI DA CAVI INTERRATI

4.1.Campo elettrico

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. La riduzione così operata del campo elettrico consente agli individui di avvicinarsi maggiormente ai conduttori stessi, i quali, come già detto, sono di solito interrati a circa un metro di profondità.

Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati.

4.2.Campo magnetico

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- 1) distanza dalle sorgenti (conduttori);
- 2) intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- 3) disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- 4) presenza di sorgenti compensatrici;
- 5) suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Nel caso di elettrodotti aerei in media ed alta tensione, i valori di campo magnetico, pur al di sotto dei valori di legge imposti, sono notevolmente al di sopra della soglia di attenzione epidemiologica (SAE) che è di $0,2 \mu\text{T}$. Infatti, solo distanze superiori a circa 80 m dal conduttore permettono di rilevare un valore così basso del campo magnetico. È necessario notare inoltre che aumentare l'altezza dei conduttori da terra permette di ridurre il livello massimo generato di campo magnetico ma non la distanza dall'asse alla quale si raggiunge la SAE.

È possibile ridurre questi valori di campo interrando gli elettrodotti. Questi vengono posti a circa 1,2 metri di profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, i quali sono più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento protettivo. I cavi vengono

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

posti a circa 25 cm l'uno dall'altro e possono assumere disposizione lineare (terna piana) o triangolare (trifoglio).

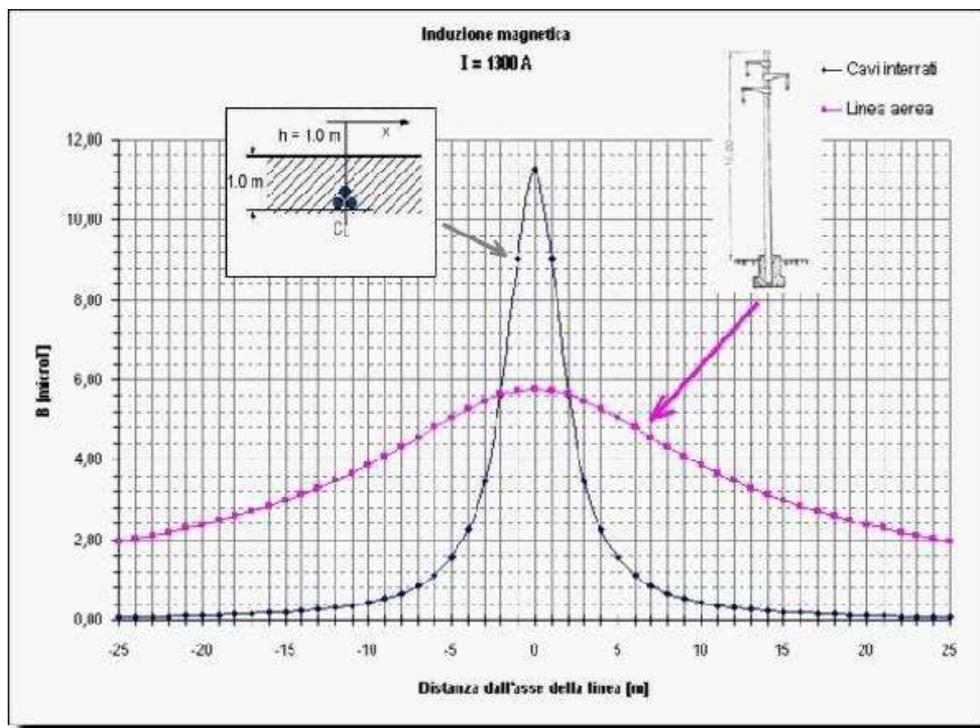


Figura 2 - Attenuazione dell'induzione magnetica dovuta all'interramento dei cavi

I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza (i circa 80 m sopra riportati diventano in questo caso circa 24 m). Tra i vantaggi quindi si annoverano i valori di intensità di campo magnetico che decrescono molto più rapidamente con la distanza, ma tra gli svantaggi rientrano i problemi di perdita di energia legati alla potenza reattiva (produzione, oltre ad una certa lunghezza del cavo, di una corrente capacitiva, dovuta all'interazione tra il cavo ed il terreno stesso, che si contrappone a quella di trasmissione). Altri metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico sono quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro in quanto questi sono isolati con delle membrane isolanti. Queste portano ad una riduzione del campo magnetico. Confrontando quindi il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si può notare che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata. Tuttavia nella pratica in generale si può affermare che l'intensità a livello del suolo immediatamente al di sopra dei cavi di una linea interrata è inferiore a quella immediatamente al di sotto di una linea aerea ad alta tensione. Ciò è dovuto soprattutto ad

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

una maggiore compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi, per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, che essendo isolati, possono essere accostati l'uno all'altro, come non può farsi per una linea aerea.

5. FASCIA DI RISPETTO PER GLI OBIETTIVI DI QUALITÀ

L'impatto elettromagnetico indotto dall'impianto fotovoltaico oggetto di studio può essere determinato da:

- 1) Linee MT e AT in cavidotti interrati;
- 2) Cabine di consegna e di trasformazione.

5.1.Cavi MT

Con riferimento ai cavi MT, al fine di avere una stima della Distanza di Prima Approssimazione (DPA) in condizione di assenza d'interferenze (parallelismi, incroci, deviazioni, ecc.) ovvero in condizioni imperturbate, sono state effettuate alcune simulazioni con il programma “*EMF Tools Versione 4.0*” con cui è stata individuata una dimensione di massima della DPA. Tali simulazioni sono state effettuate sulla linea con le condizioni di carico peggiori (ossia con maggiore corrente), vale a dire la dorsale che collega la cabina di raccolta alla stazione di elevazione AT/MT, costituita da 3 terne con conduttore in alluminio e formazione 3x300 mmq; sono state considerate le configurazioni geometriche ed i valori delle grandezze elettriche di seguito riportati:

$$P_n = 30,00 \text{ MVA}$$

$$\cos\phi = 0,9 \text{ (cautelativo)}$$

$$V_n = 30 \text{ kV}$$

$$I_{max} \sim 200,3 \text{ A}$$

Avendo previsto una linea costituita come sopra indicato, è possibile suddividere la corrente in maniera simmetrica tra gli stessi, in modo che ogni terna trasporti circa 200,3 A.

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R_2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

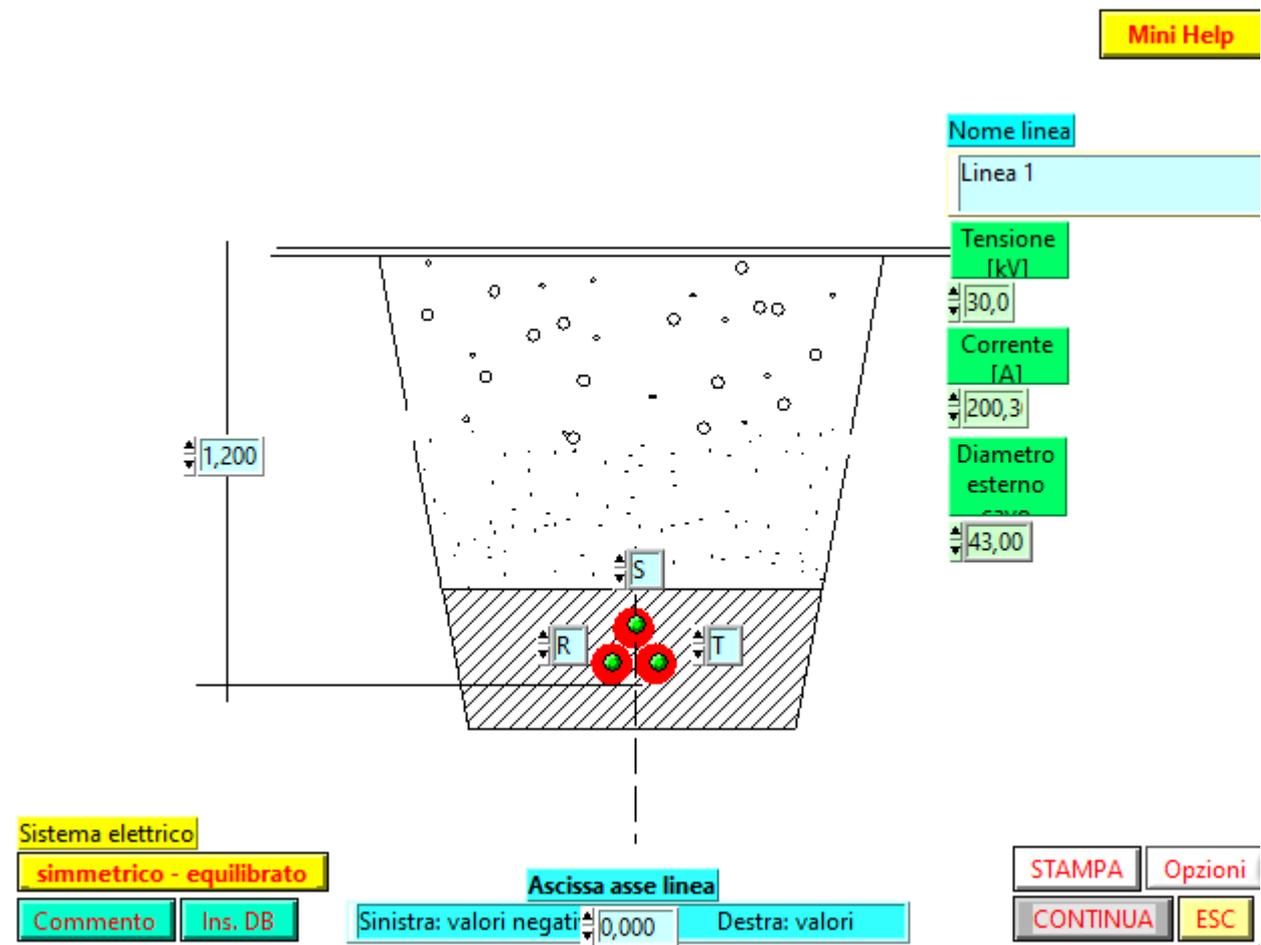
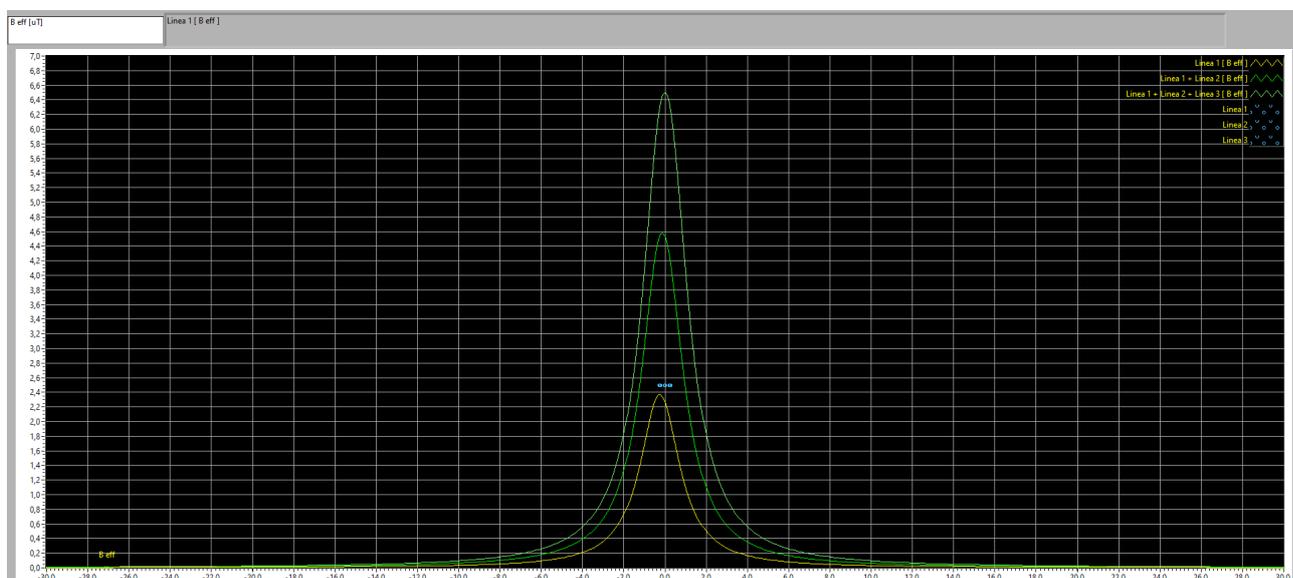


Figura 3 – Sezione tipo cavo MT

Di seguito si riporta una valutazione del campo magnetico generato dalle 3 terne di cavi sul piano di campagna:



Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

Figura 4 – Campo magnetico generato

Le due terne di cavi generano un campo magnetico con la classica distribuzione a “campana di Gauss”; la DPA è pari a circa 1,3 mt per lato rispetto all’asse centrale del cavidotto. Siccome la posa dei cavi è di tipo interrato e le aree in cui viene realizzata sono per lo più agricole o destinate alla pubblica viabilità, è possibile affermare che nella fascia DPA non è prevista la permanenza stabile di persone superiore alle 4 ore e/o la costruzione di edifici, ossia di recettori definiti “sensibili”. Possiamo pertanto concludere che l’impatto elettromagnetico indotto dai cavi MT non è significativo.

Per quanto riguarda l’area interna al campo, si fa presente che in essa non è prevista la presenza di persone, dal momento che l’accesso è interdetto al pubblico, trattandosi di aree private recintate. È consentito l’accesso nelle aree dell’impianto, nei pressi dei pannelli e delle cabine, solo a personale esperto ed addestrato, che comunque accederà sporadicamente e per tempi limitati.

5.2.Cabine di Consegna e Trasformazione

All’interno del parco sono state predisposte 4 power station + 1 cabina di raccolta destinate ad accogliere:

- quadri di parallelo AC;
- quadri MT per il sezionamento dei trasformatori;
- trasformatori MT/BT, uno dedicato alla porzione di impianto fv sottesa ed uno ai corrispondenti servizi ausiliari per ogni mv skid;
- componenti per i servizi ausiliari e sistemi di sicurezza.

La cabina di smistamento sarà suddivisa in due vani:

- locale MT con i relativi scomparti e le apparecchiature di protezione (Dispositivo Generale e Dispositivo di Interfaccia associati ai rispettivi sistemi di protezione), trasformatore MT/BT, quadro generale dei servizi ausiliari e quadro generale per la ricarica elettrica;
- locale BT con le apparecchiature di controllo e monitoraggio dell’impianto fv.

La struttura semplificata sulla base della quale viene calcolata la fascia DPA è un sistema trifase, percorso da una corrente pari alla corrente nominale di BT in uscita dal trasformatore e con distanza tra le fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore stesso.

I dati di ingresso per il calcolo della fascia DPA per le cabine di trasformazione sono pertanto: corrente nominale di bassa tensione del trasformatore e diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore.

Per determinare la fascia DPA il proprietario/gestore della cabina deve:

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R_2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

- usare la curva riportata nel grafico seguente per calcolare il valore di DPA / radice della corrente per la tipologia di cavi in uscita dal trasformatore nella cabina in esame;

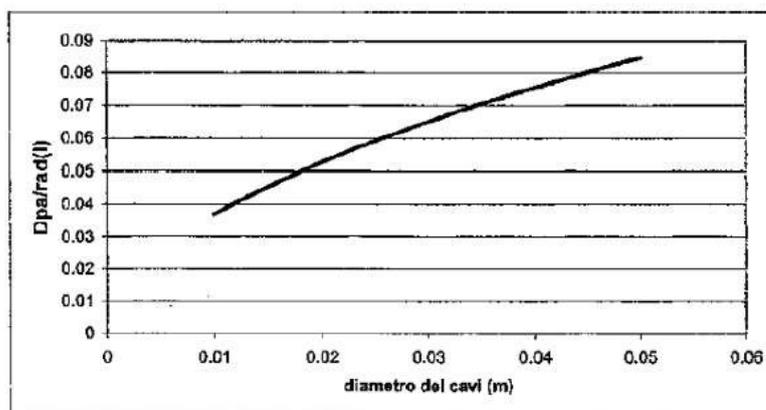
- applicare al valore ricavato le operazioni sotto elencate:

a) moltiplicare per la radice della corrente;

b) arrotondare al mezzo metro superiore.

$$\text{Equazione della curva: } \frac{Dpa}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,524}$$

DPA = Distanza di prima approssimazione [m]; I= corrente nominale [A]; x = diametro dei cavi [m]



Rappresentazione dell'andamento del rapporto tra Dpa e radice della corrente nominale al variare del diametro dei cavi.

Figura 5 – Rappresentazione dell'andamento del rapporto tra DPA e radice della corrente

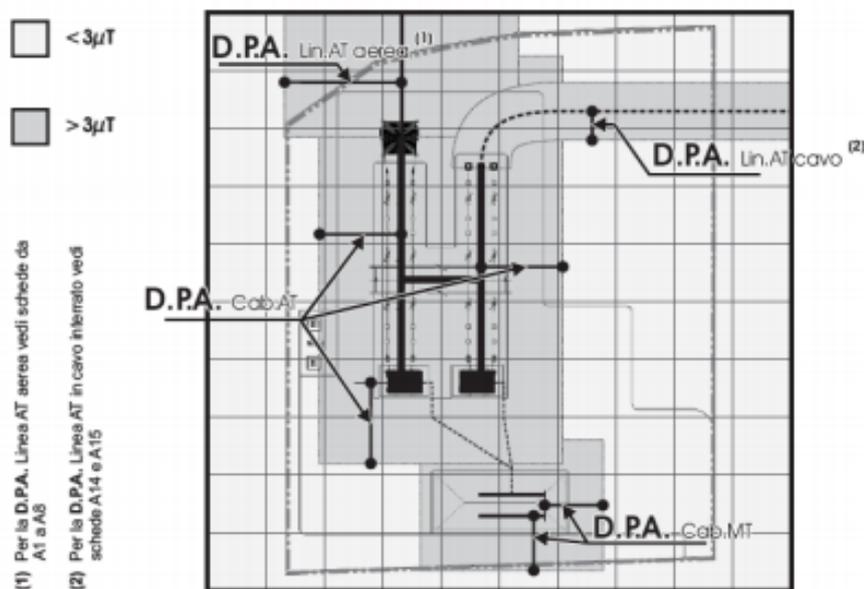
Applicando la formula su esposta al nostro caso specifico, la fascia DPA per la PS risulta:

$$DPA = 0,40942 \times (0,0314)^{0,524} \times \sqrt{6532} = 18,05 \text{ m} \rightarrow 18,5 \text{ m}$$

A completamento di quanto affermato, si segnalano anche le "Linea guida ENEL per l'applicazione del § 5.1.3 dell'allegato al DM 29.05.08". In particolare, nella scheda A16 (cabina primaria isolata in aria 132/150 kV–15/20 kV) sono riportate le seguenti fasce DPA per quanto concerne il locale ospitante le apparecchiature di media tensione:

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						Riferimento
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT m	Distanza tra le fasi AT m	Corrente A	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT m	Distanza tra le fasi MT m	Corrente A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Figura 6 – Linea guida ENEL

La fascia DPA stimata è pari a 7 mt dall'asse del sistema di sbarre MT; tuttavia tale valore è calcolato considerando una corrente che attraversa i cavi pari a 2.332 A, mentre nel caso del presente impianto, come già illustrato nel paragrafo precedente, la corrente che attraverserà le sbarre MT di ciascuna cabina di trasformazione avrà un valore massimo di circa 150 A.

A garanzia di una giusta analisi delle previste influenze dirette dovute alle sorgenti immesse dalla attività di produzione di energia elettrica si segnala che sarà anche misurato il fondo elettromagnetico esistente nelle aree dove verrà realizzato l'impianto per valutare valori dovuti ad altre sorgenti già esistenti, e quindi, saranno svolte misure dell'induzione magnetica in alcuni punti, ed in particolar modo sui tracciati dei cavidotti e nelle aree ove ricadranno le cabine elettriche di trasformazione e consegna. Per tutte le cabine elettriche e i cavidotti previsti in progetto si può affermare che *le Dpa, nel caso esaminato in questa relazione abbiano un ordine di grandezza stimato in poche unità di metri quindi comprendente una ridotta area nell'intorno delle cabine stesse e ricadente dentro la superficie di pertinenza degli impianti* (ricordiamo che la finitura dei piazzali adiacenti le cabine sarà in ghiaietto e che tutto l'impianto fv sarà recintato mediante recinzione esterna con in rete metallica).

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

Tutto quanto sopra è in conformità a quanto riportato 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.*

5.3. Determinazione della fascia di rispetto linee/sbarre AT

L'impatto elettromagnetico nella stazione di trasformazione è essenzialmente prodotto:

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

L'impatto generato dalle linee/sbarre AT è di gran lunga quello più significativo e pertanto si propone il calcolo della fascia di rispetto dalle linee/sbarre AT.

Le linee/sbarre AT sono assimilabili ad una linea aerea trifase 150 kV, con conduttori posti in piano ad una distanza reciproca di 2,2 m, ad un'altezza minima di circa 5 m dal suolo, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate.

Nel caso in esame si ha:

- S (distanza tra i conduttori) = 2,2 m;
- P_n = Potenza massima dell'impianto in progetto = 250 MVA (per la stazione di raccolta);
- V_n = Tensione nominale delle linee/sbarre AT = 150 kV
- $\cos\phi = 0,9$ (ipotesi cautelativa)

Si avrà:

$$I = P_n / (V_n \times 1,73 \times \cos\phi) = 1070 \text{ A}$$

ed utilizzando la formula di approssimazione proposta al paragrafo 6.2.1 della norma CEI 106-11, si avrà:

$$R' = 0,34 \times \sqrt{2,2 \times 855} = 16,5 \text{ m}$$

La distanza minima, misurata in pianta, delle linee/sbarre dal perimetro della stazione di raccolta è ~ 4,5 m; ad ogni modo la fascia DPA eccedente tale misura ricade comunque nel lotto di intervento complessivo, che non prevede la presenza continua di persone oltre le 4 ore o la possibilità di edificazioni di immobili ad uso residenziale/pubblico.

In conclusione:

- 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'aerea di pertinenza*

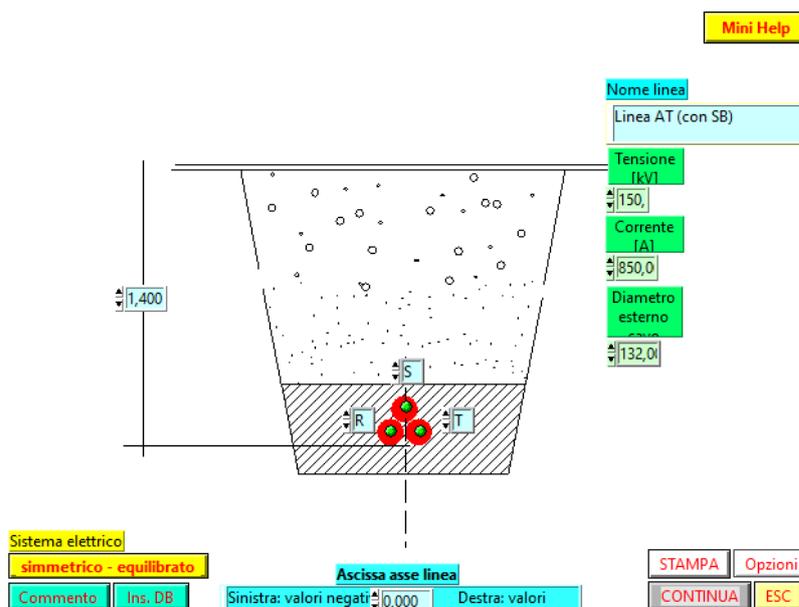
Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R_2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

della cabina di trasformazione in progetto;

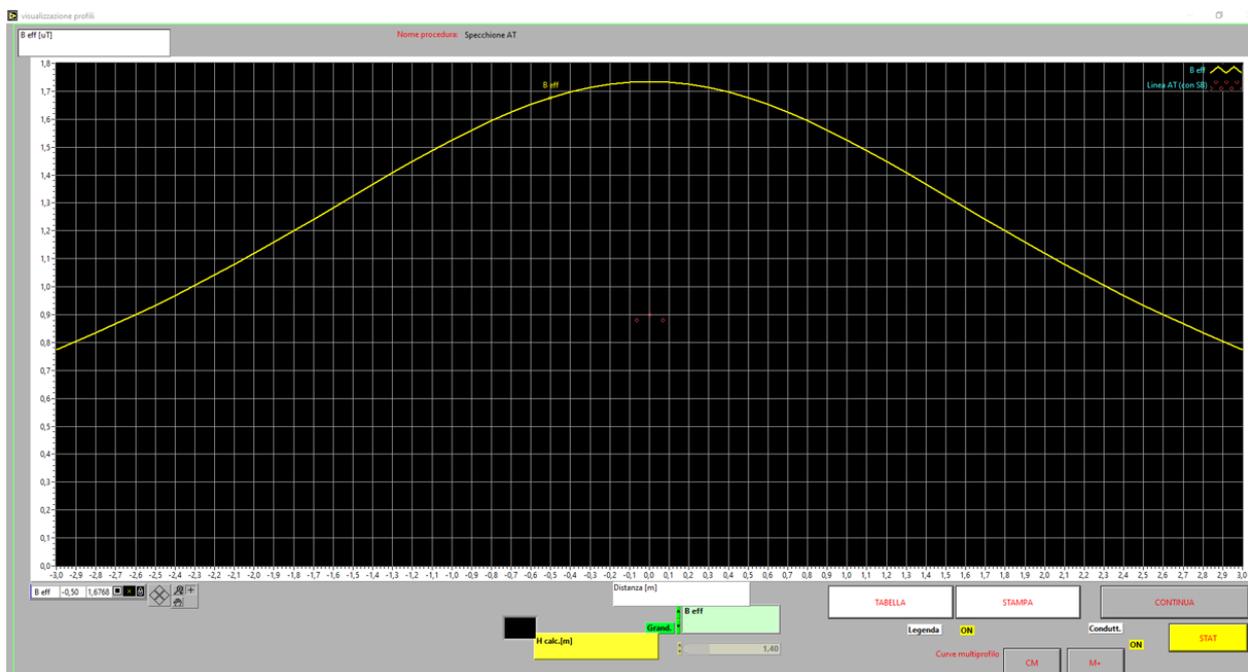
- la sottostazione di trasformazione è comunque realizzata in un'area agricola, con totale assenza di edifici abitati per un raggio di almeno 300 m.
- all'interno dell'area della sottostazione non è prevista la permanenza di persone per periodi continuativi superiori a 4 ore con l'impianto in tensione.

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

Per quanto concerne il collegamento tra la stazione di condivisione e la stazione RTN, lo stesso sarà realizzato mediante tre cavi unipolari con conduttore in alluminio della sezione di 1.600 mmq; tale sezione è stata valutata in funzione della massima portata che occorrerà garantire ossia circa 1070 A (250 MVA). Di seguito si riporta una schematizzazione della posa interrata del cavo AT ed una valutazione del campo magnetico prodotto sul piano di campagna:



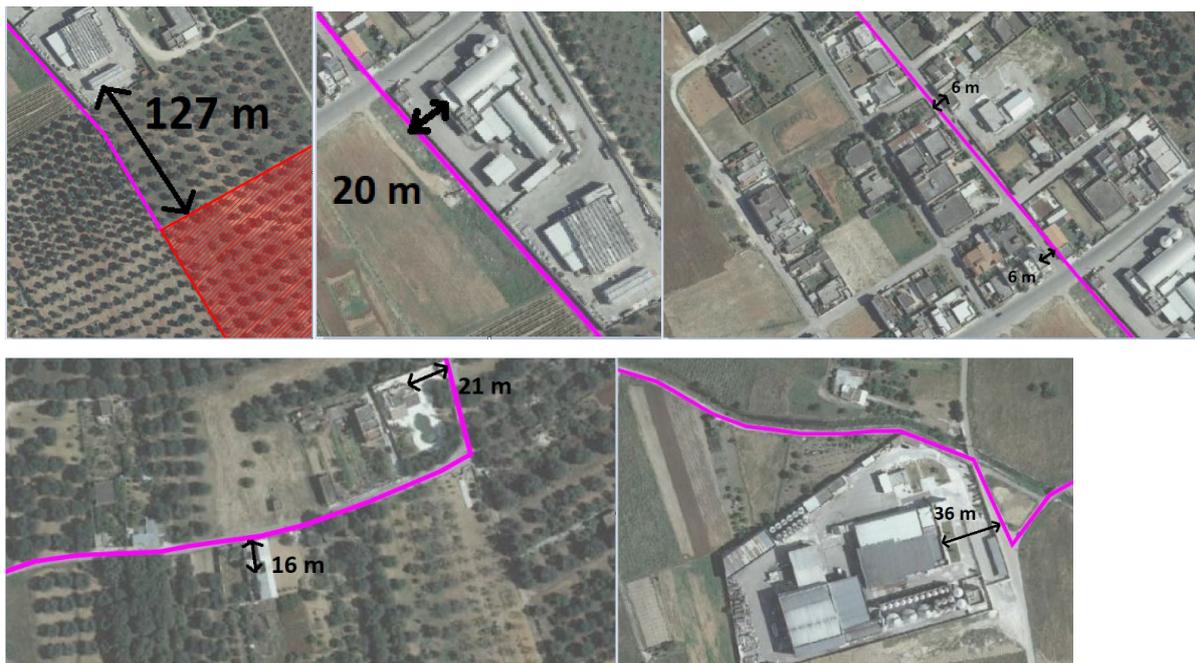
Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.



In tal caso il valore di campo magnetico non raggiunge mai i 3 μT e pertanto la fascia DPA è nulla.

5.4. Recettori prossimi all'area o al cavidotto

Nelle figure seguenti vengono riportati gli agglomerati dei recettori presenti lungo il tragitto del cavidotto MT e vicini all'area dell'impianto agrivoltaico. Viene evidenziata la distanza in metri rispetto a tale tragitto, con la conclusione che il campo magnetico prodotto dal cavidotto (interrato a 1,2 m di profondità e schermato) a quella distanza è inferiore ai limiti delle normative.



Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.



6. CONCLUSIONI

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti dell'impianto agrivoltaico in oggetto ed in particolare alle cabine di trasformazione e raccolta, 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 infatti, considerati gli accorgimenti di progetto adottati relativi a:

- minimizzazione dei percorsi della rete
- disposizione a fascio delle linee trifase

si può escludere la presenza di rischi di natura sanitaria per la popolazione, sia per i bassi valori del campo sia per l'assenza di possibili recettori nelle zone interessate.

Per quanto concerne le linee/sbarre MT all'interno delle cabine, abbiamo visto che la Dpa ricade di fatto in prossimità del perimetro delle cabine stesse e quindi non genera rischi di esposizione prolungata ai campi elettromagnetici dal momento che si tratta di area a cui è consentito l'accesso di personale specializzato, peraltro in modo saltuario e non continuativo.

Le opere elettriche in progetto e relative Dpa 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

Committente: AMBRA SOLARE 22 S.r.l. Via TEVERE, 41 - 00198 ROMA		Progettazione: Mate System S.r.l. Via Papa Pio XII n.8 - Cassano delle Murge (BA)	
Cod. elab.: R 2.3	Relazione Specialistica sui Campi Elettromagnetici		Formato: A4
Data: 30/11/2022			Scala: n.a.

di esposizione al campo elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale di 50 Hz negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno".

Si può quindi concludere che il costruendo impianto agrivoltaico e le opere connesse in oggetto non producono effetti negativi sulle risorse ambientali e sulla salute pubblica nel rispetto degli standard di sicurezza e dei limiti prescritti dalle vigenti norme in materia di esposizione a campi elettromagnetici.

Cassano delle Murge, li 30/11/2022

Il Progettista

Ing. Francesco Ambron

