

REGIONE TOSCANA

PROVINCIA DI LIVORNO

COMUNE DI PIOMBINO

**OGGETTO:**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DENOMINATO "PIOMBINO" DELLA POTENZA DI 32.062,80 kWp, IN LOCALITA' ALTURETTA E PADULETTO DEL COMUNE DI PIOMBINO (LI) E DELLE RELATIVE OPERE PER LA CONNESSIONE ALLA RETE RTN.

PROPONENTE:

ORTA ENERGY 14 Srl
Viale Luigi Sturzo n. 43
20154 Milano (MI)
P.IVA 11898340960

PROGETTISTA:

Ing. ALBERTO VILLA
VIA GIORGIO STEPHENSON N.29
20157 MILANO
iscritto all'Ordine degli Ingegneri
della prov. Como al n. 2482 sez. A

**SVILUPPATORE:**

HQ ENGINEERING ITALIA SRL
VIA G. STEPHENSON N.29
20157 MILANO
P.IVA 06997160962
Tel. 02 29062210

**PROFESSIONISTI:**

Dott. Fausto Grandi (Agronomo)
Dott. Ing. Camillo Genesi (Soc. GF Projects Innovation Engineering S.r.l.s. - Ingegneria opere di rete)
Dott.ssa Gloriana Pace (Archeologo PhD)
Dott. Geologo Luca Finucci (Geologo)
Marco Gianfreda (Tecnico Competente in Acustica)
Dott. Ing. Matteo Tirelli Csillag (Ingegnere opere elettriche e di rete)

ELABORATO:

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

Elaborato N.	Codice	NOME FILE	DATA	SCALA	
REL.10_REL.CAMP.ELET	LI01	REL.10_Relazione_Campi_elettromagnetici	08/01/2024		
REVISIONI					
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	08/01/2024	PRESENTAZIONE VIA	LN	EB	AV

Comune di Piombino

Provincia di Livorno

Regione Toscana

Impianto Agrivoltaico “Piombino”

della potenza di 32.062,80 kW in DC

Relazione Campi Elettromagnetici

Dott. Ing. Matteo Tirelli Csillag

Soc. HQ Engineering Italia S.r.l

Dott. Ing. Camillo Genesi

Soc. GF Project Innovation Engineering S.r.l.



Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	LE LINEE GUIDA E-DISTRIBUZIONE IN APPLICAZIONE DEL PARAGRAFO 5.1.3 DELL'ALLEGATO AL DM 29.05.2008.....	3
3	OBIETTIVO ED AMBITO DI APPLICAZIONE.....	3
4	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
5	DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI.....	6
6	METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO/DPA.....	10
7	DPA DI LINEE E CABINE.....	11
8	ALLEGATI.....	13
9	QUADRO PROGETTUALE.....	15
10	VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI MAGNETICI.....	19
10.1	Tratta moduli fotovoltaici – string box (corrente continua).....	20
10.2	Tratta String Box –Inverter (SKID).....	20
10.3	Sezione conversione e trasformazione (SKID).....	21
10.4	Elettrodotti in Media Tensione (all'interno del campo agrivoltaico).....	24
10.5	Altri cavi.....	25
11	VALUTAZIONE CAMPI ELETTRICI.....	26
12	CONCLUSIONI.....	26

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla descrizione degli effetti che la Sotto Stazione Elettrica Utente (SSEU) dell'impianto fotovoltaico "PIOMBINO" indurrà in termini di inquinamento elettromagnetico, rispetto alle prescrizioni della vigente normativa in materia.

L'impianto sarà collegato elettricamente tramite un linea in antenna tramite un cavo a 132 KV che collega la Stazione Elettrica (SE) di Populonia (di proprietà Terna) alla citata SSEU.

2 LE LINEE GUIDA E-DISTRIBUZIONE IN APPLICAZIONE DEL PARAGRAFO

5.1.3 DELL'ALLEGATO AL DM 29.05.2008

Enel Distribuzione S.p.A. ha realizzato una Linea Guida ad uso pubblico, al fine di semplificare ed uniformare l'approccio al calcolo della Distanza di Prima Approssimazione (procedimento semplificato per il calcolo della fascia di rispetto) dei propri impianti, fruibile sia da parte di privati in sede di realizzazione di nuovi insediamenti, che da parte degli organi di controllo in sede di verifica.

La valenza della suddetta Linea Guida è nelle schede sintetiche riferite alla visualizzazione grafica e numerica delle DPA (calcolata in conformità alla norma CEI 211-4) per le tipologie standard di linee e cabine elettriche AT ed MT di proprietà Enel Distribuzione S.p.A.

3 OBIETTIVO ED AMBITO DI APPLICAZIONE

Ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50Hz) generati da linee e cabine elettriche, il DPCM 8 luglio 2003 (artt. 3 e 4) fissa, in conformità alla Legge 36/2001 (art. 4, c. 2):

- i limiti di esposizione del campo elettrico (5 kV/m) e del campo magnetico (100 μ T) come valori efficaci, per la protezione da possibili effetti a breve termine (*Il campo elettrico al suolo*)

in prossimità di elettrodotti a tensione uguale o inferiore a 150 kV, come da misure e valutazioni, non supera mai il limite di esposizione per la popolazione di 5 kV/m);

- il valore di attenzione (10 μ T) e l'obiettivo di qualità (3 μ T) del campo magnetico da intendersi come mediana nelle 24 ore in normali condizioni di esercizio, per la protezione da possibili effetti a lungo termine connessi all'esposizione nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere (luoghi tutelati).

Il **valore di attenzione** si riferisce ai luoghi tutelati ricadenti nei pressi di elettrodotti esistenti; **l'obiettivo di qualità** si riferisce, invece, alla progettazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati esistenti o alla progettazione di nuovi luoghi tutelati nei pressi di elettrodotti esistenti. Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01 (art. 4 c. 1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti). Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

“La metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti” prevede una procedura semplificata di valutazione con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA), oggetto della citata Linea Guida. Detta DPA, nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T del campo magnetico (art. 4 del DPCM 8 luglio 2003), si applica nel caso di:

- realizzazione di nuovi elettrodotti (inclusi potenziamenti) in prossimità di luoghi tutelati;
- progettazione di nuovi luoghi tutelati in prossimità di elettrodotti esistenti.

In particolare, al fine di agevolare/semplificare:

- l'iter autorizzativo relativo alla costruzione ed esercizio degli elettrodotti (linee e cabine elettriche);

- le attività di gestione territoriale relative a progettazioni di nuovi luoghi tutelati e a richieste di redazione dei piani di gestione territoriale, inoltrate dalle amministrazioni locali;

Sono state elaborate le schede sintetiche con le DPA per le tipologie ricorrenti di linee e cabine elettriche di nuova realizzazione e che possono essere prese a riferimento anche per gli elettrodotti in esercizio. Dette distanze sono state calcolate in conformità al procedimento semplificato per il calcolo della fascia di rispetto di cui al paragrafo 5.1.3 del Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008).

Nelle schede sintetiche sopra citate, allegate alla Linea Guida, richiamata in premessa di questo capitolo, sono tabellate le DPA, in relazione alla geometria dei conduttori e alla portata di corrente in servizio normale, delle linee AT, Cabine Primarie (CP) e delle sottostazioni elettriche in genere, richiamate nel seguito della presente relazione (cfr capitolo 8).

Anche per casi complessi, individuati dal suddetto paragrafo 5.1.3 (parallelismi, incroci tra linee, derivazioni o cambi di direzioni) è previsto un procedimento semplificato che permette di individuare aree di prima approssimazione (secondo quanto previsto nel successivo paragrafo 5.1.4), che hanno la medesima valenza delle DPA.

Le DPA permettono, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dell'esposizione ai campi magnetici.

4 RIFERIMENTI NORMATIVI

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

- DPCM 8 luglio 2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, valori di attenzione ed obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
- DM 29 maggio 2008, GU n. 156 del 5 luglio 2008, “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”.
- DM 21 marzo 1988, n. 449 “Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee aeree esterne” e s.m.i.”.
- CEI 11-60 “Portata al limite termico delle linee elettriche esterne con tensione maggiore di 100 kV”.
- CEI 11-17 “Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo”.
- CEI 106-11 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6). Parte I”.
- CEI 211-4 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati dalle linee e da stazioni elettriche”.
- Rapporto CESI-ISMES A7034603 “Linee Guida per l’uso della piattaforma di calcolo – EMF Tools v. 3.0”.
- Rapporto CESI-ISMES A8021317 “Valutazione teorica e sperimentale della fascia di rispetto per cabine primarie”.

5 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI

Valgono le definizioni di seguito riportate, per la maggior parte contenute nella Legge 36/2001, nel DPCM 8 luglio 2003 e nel Decreto 29 maggio 2008.

- **Autorità competenti ai fini dei controlli:** sono le autorità di cui all’art. 14 della Legge 36/2001 (*le amministrazioni provinciali e comunali, al fine di esercitare le funzioni di controllo e di vigilanza*

sanitaria e ambientale, utilizzano le strutture delle Agenzie Regionali per la Protezione dell' Ambiente).

- **Autorità competenti ai fini delle autorizzazioni:** sono le autorità competenti al rilascio delle autorizzazioni per la costruzione e/o l'esercizio di elettrodotti e/o insediamenti e/o aree di cui all'art. 4 del DPCM 8 luglio 2003 (*aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore*).

- **Campata:** elemento minimo di una linea elettrica sotteso tra due sostegni.

- **Distanza di Prima Approssimazione (DPA):** per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più della DPA si trovi all'esterno delle fasce di rispetto (*Figura 1*). Per le cabine secondarie è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti della cabina stessa che garantisce i requisiti di cui sopra (*Scheda B10*).

- **Elettrodotto:** è l'insieme delle linee elettriche delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

- **Fascia di rispetto:** è lo spazio circostante un 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 ($3 \mu T$). Come prescritto dall'articolo 4, c. 1 lettera h) della Legge Quadro n. 36 del 22 febbraio 2001, all'interno delle fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario e ad uso che comporti una permanenza non inferiore a quattro ore (*Figura 1*).

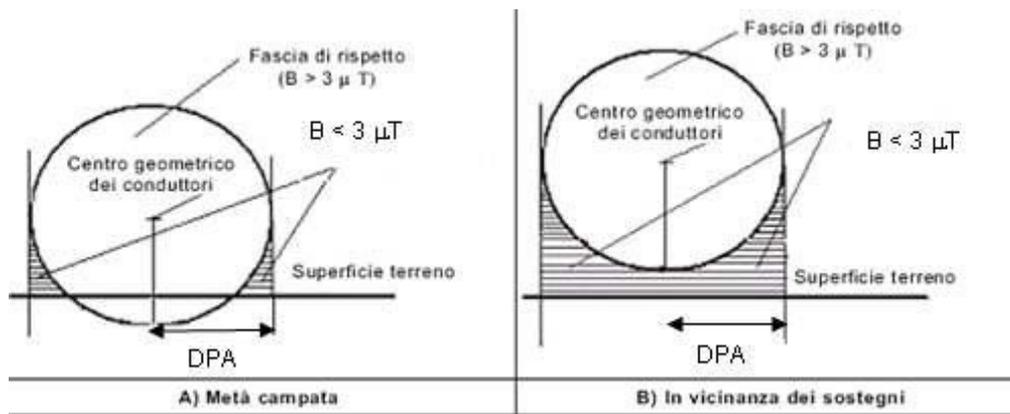


Figura 1 - Schema Fasce di rispetto e DPA in corrispondenza di metà campata e in vicinanza dei sostegni. (N.B. La dimensione della DPA delle linee elettriche viene fornita approssimata per eccesso al metro superiore (interpretazione prevalente delle ARPA).

- **Impianto:** officina elettrica destinata, simultaneamente o separatamente, alla produzione, alla raccolta, alla regolazione e alla modifica (trasformazione e/o conversione) dell'energia elettrica transitante in modo da renderla adatta a soddisfare le richieste della successiva destinazione. Gli impianti possono essere: Centrali di produzione, Stazioni elettriche, Cabine di Primarie e Secondarie e Cabine Utente.
- **Limiti di esposizione** (DPCM 8 luglio 2003 art. 3 c. 1): nel caso di esposizione, della popolazione, a campi elettrici e magnetici, alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- **Linea:** collegamento con conduttori elettrici, delimitato da organi di manovra, che permettono di unire due o più impianti.
- **Luoghi tutelati** (Legge 36/2001 art. 4 c.1, lettera h): aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenza non inferiore a 4 ore giornaliere.

- **Obiettivo di qualità** (DPCM 8 luglio 2003 art. 4): 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 giornaliere 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 *della popolazione* 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.

- **Portata in corrente in servizio normale**: è la corrente che può essere sopportata da un conduttore per il 100% del tempo con limiti accettabili del rischio di scarica sugli oggetti mobili e sulle opere attraversate e dell'invecchiamento. Essa è definita nella norma CEI 11-60 paragrafo 2.6.

La corrente di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto è la "portata di corrente in servizio normale relativa al periodo stagionale in cui essa è più elevata":

- per le linee con tensione >100 kV, è definita dalla norma CEI 11-60;
- per gli elettrodotti aerei con tensione <100 kV, i proprietari/gestori fissano la portata in corrente in regime permanente in relazione ai carichi attesi con riferimento alle condizioni progettuali assunte per il dimensionamento dei conduttori;
- per le linee in cavo è definita dalla norma CEI 11-17 paragrafo 3.5 e paragrafo 4.2.1 come **portata in regime permanente** (massimo valore della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato).

- **Sostegno**: elemento di supporto meccanico della linea aerea.

- **Tratta**: porzione di tronco (campate contigue) avente caratteristiche omogenee di tipo elettrico, di tipo meccanico (tipologia del conduttore, configurazione spaziale dei conduttori sui tralicci, ecc.) e relative alla proprietà.

- **Tronco**: collegamento metallico che permette di unire fra loro due impianti (corrisponde alla

linea a due estremi).

- **Valore di attenzione** (DPCM 8 luglio 2003 art. 3 c. 2): a titolo di misura di cautela per la protezione della popolazione 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.

6 METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE FASCE DI RISPETTO/DPA

Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, prevede che il proprietario/gestore dell'elettrodotto comunichi alle autorità competenti l'ampiezza delle fasce di rispetto ed i dati utilizzati per il calcolo dell'induzione magnetica, che va eseguito, ai sensi del paragrafo 5.1.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (G.U. n. 156 del 5 luglio 2008), sulla base delle caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche della linea, tenendo conto della presenza di eventuali altri elettrodotti. Detto calcolo delle fasce di rispetto va eseguito utilizzando modelli:

1. bidimensionali (2D), se sono rispettate le condizioni di cui al paragrafo 6.1 della norma CEI 106-11 Parte I;
2. tridimensionali (3D), in tutti gli altri casi (I modelli 3D non sono ancora standardizzati. Al momento si stanno valutando i software disponibili in commercio che siano in grado di soddisfare i requisiti definiti nel DM 29.05.08)

Le dimensioni delle fasce di rispetto devono essere fornite con una approssimazione non superiore a 1 m.

Al fine di agevolare la gestione territoriale ed il calcolo delle fasce di rispetto il Decreto introduce una procedura semplificata (paragrafo 5.1.3), per il calcolo della DPA ai sensi della CEI 106-11 che fa

riferimento ad un modello bidimensionale semplificato, valido per conduttori orizzontali paralleli, secondo il quale il proprietario /gestore deve:

1. calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco di linea (la configurazione ottenuta potrebbe non corrispondere ad alcuna campata reale);
2. proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
3. comunicare l'estensione rispetto alla proiezione al centro linea: tale distanza (DPA) sarà adottata in modo costante lungo il tronco.

Nel caso di cabine elettriche, ai sensi del paragrafo 5.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008) generalmente la DPA rientra nel perimetro dell'impianto (paragrafo 5.2.2) in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.

Come prescritto all'art. 6 del DPCM 8 luglio 2003 E-Distribuzione provvede a comunicare non solo l'ampiezza delle fasce di rispetto, ma anche i dati per il calcolo delle stesse ai fini delle verifiche delle autorità competenti. **I dati sono riportati negli allegati (A15 e A16), reperibili anche nelle Linee Guida di cui in premessa.**

7 DPA DI LINEE E CABINE

Le Distanze di Prima approssimazione di cui agli allegati, sono state simulate ed elaborate con il software EMF Tools v. 3.0 del CESI, che raccoglie, in unica piattaforma diversi moduli di calcolo dei campi elettrici e magnetici, associabili alle varie tipologie di sorgenti esistenti (EMF v. 4.06, CEM Cabine v. 1.0, Fasce v. 1.0, ecc.).

La modellizzazione delle sorgenti fa riferimento alla normativa tecnica CEI 211-4 ed è bidimensionale per le linee elettriche e tridimensionale per le cabine elettriche. Per la

determinazione delle DPA si è fatto riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto.

Dagli stessi allegati e dalla planimetria si evince che la DPA considerata come segue:

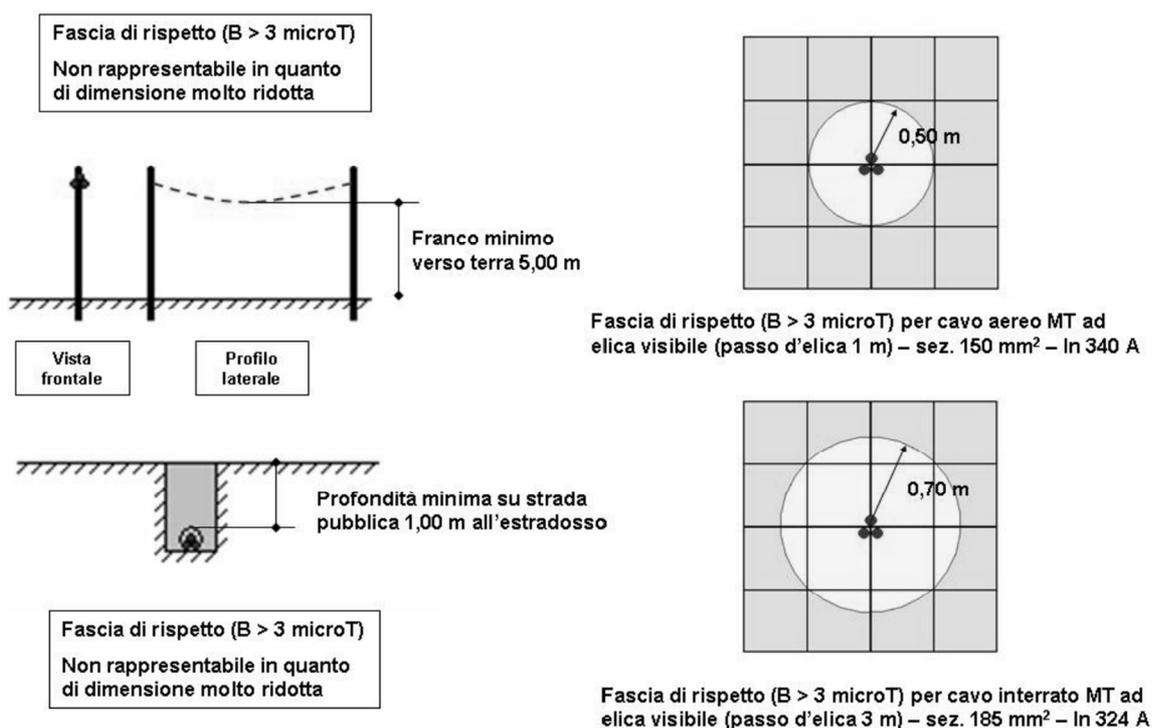
- 14 m dall'asse delle sbarre di AT in aria;
- 7 m dall'asse delle sbarre di MT in aria.

ricade per larghissima parte all'interno della SSEU.

Le linee elettriche interratoe AT ed MT che afferiscono alla SSEU, hanno le seguenti DPA:

- Linea AT in ingresso (arrivo da Stazione Elettrica di Populonia) 3,10 m;
- Linea MT in uscita (verso campo fotovoltaico) 1,5 m

La distanza di prima approssimazione per la linea MT, in uscita dalla SSEU, non ricadente nelle tabelle della Guida Enel è possibile stimarla per estensione utilizzando la seguente figura:



Il campo magnetico generato dal cavo MT, tra la SSEU e il campo fotovoltaico, è una funzione approssimativamente lineare della corrente. Considerando una corrente pari a 578,7 A (30 MW a

30 kV), si possono estendere i risultati della figura precedente per il cavo interrato ottenendo una fascia di rispetto di circa 1,25 m. A favore di sicurezza si considera una fascia di rispetto sul cavo MT di 1,5 m e quindi una quota di interramento non inferiore a 1,5 m da piano della strada.

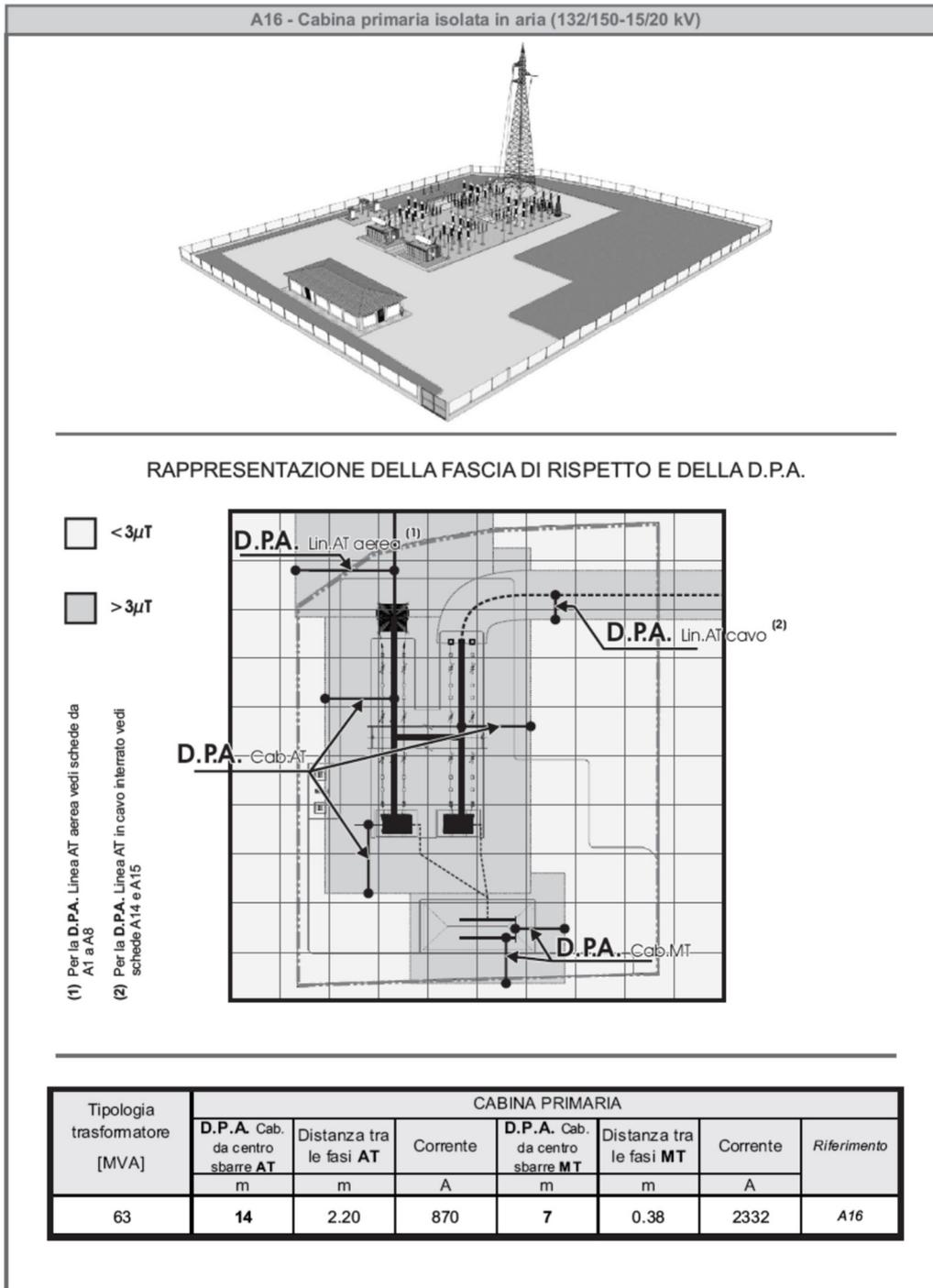
8 ALLEGATI

Si allegano alla presente:

- Planimetria con evidenza delle distanze di rispetto, “Planimetria DPA SSE Utente”;
- Slide A16 – Cabina Primaria isolata in aria 132/150 KV (schema esemplificativo);
- Scheda A15 – Cavi interruttori semplice terna cavi disposti a trifoglio 132/150 kV.

Le slide di cui sopra sono estratte dalla Linea Guida di ENEL Distribuzione per l’applicazione del paragrafo 5.1.3 dell’allegato al DM 29.05.2008.

Slide A16



Scheda A15

CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV) <u>Scheda A15</u>	108 mm 1600 mm²		1110	3.10	A15
---	---------------------------------------	---	------	-------------	-----

Nel seguito vengono esplicitate le valutazioni fatte per determinare la DPA relativamente alle possibili sorgenti presenti all'interno del campo fotovoltaico in studio.

9 QUADRO PROGETTUALE

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da 48.580 pannelli con potenzialità di 660 Wp, installati su trackers ad inseguimento monoassiale, suddivisi in stringhe aventi ognuna 28 moduli in serie, occupando nel suo complesso circa 150.600 mq. Il sistema di generazione elettrica sarà costituito complessivamente da 12 inverter trifase; ciascun inverter farà capo a 7 String Box (SB) che a loro volta raccolgono 20, 21, 22, 23 o 24 stringhe.

Gli inverter, impiegati nel progetto in studio, avranno tensione massima lato DC pari a 1500V, tensione nominale lato AC pari a 690V e potenza elettrica massima di 2300 kVA @35°C.

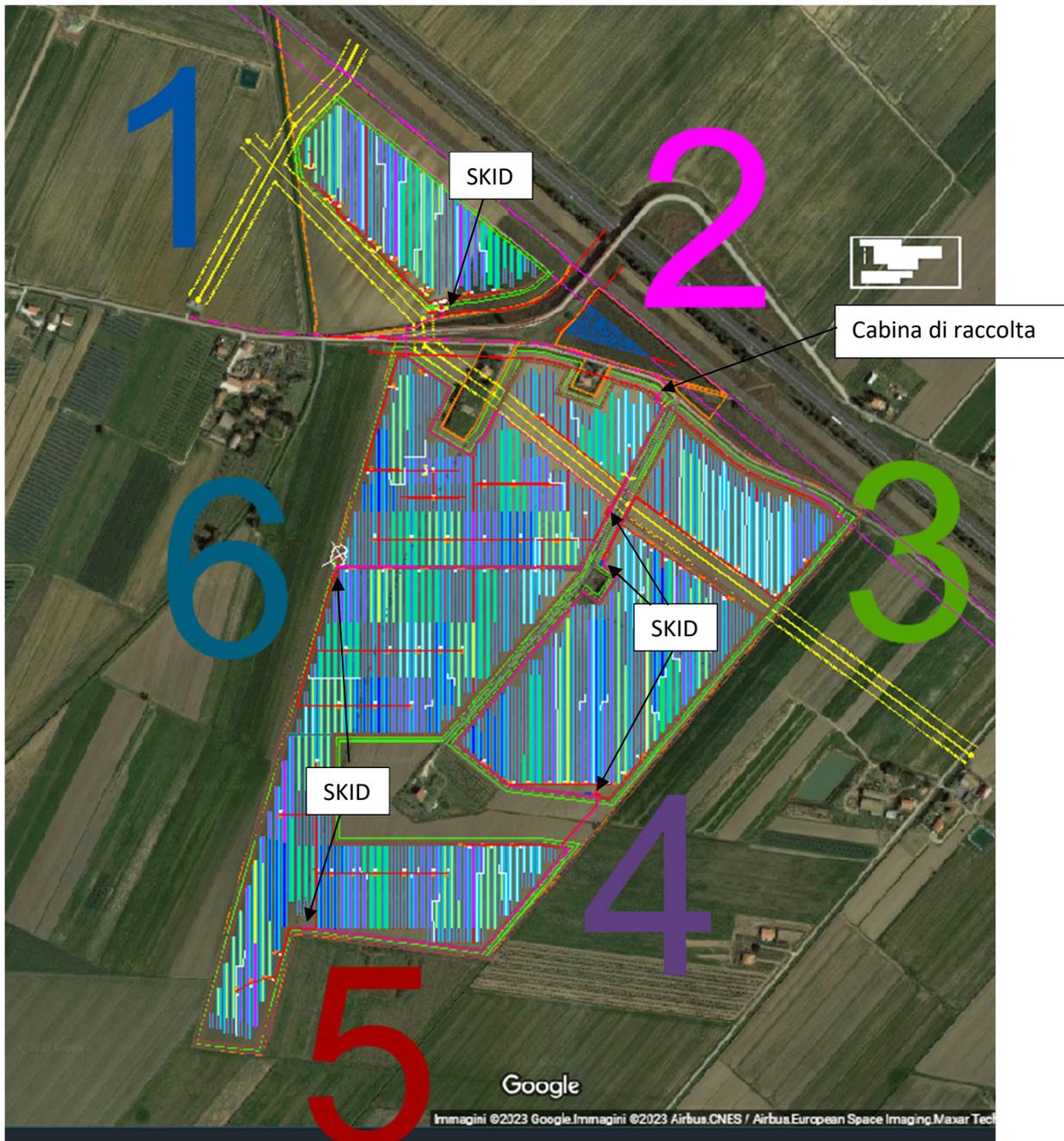


Fig. 1 – Campo fotovoltaico

Gli inverter sono inseriti all'interno di unità "SKID", che integrano, oltre gli inverter, il trasformatore per elevare la tensione in uscita dagli inverter (690Vac) al livello di media tensione (30kV), previsto

per la distribuzione dell'energia all'interno del campo e la trasmissione, attraverso la cabina di raccolta e della conduttura interrata su viabilità pubblica, alla Sottostazione Elettrica Utente di trasformazione (SSEU), prevista in prossimità della Stazione Elettrica di Terna, denominata "Populonia". Nella sottostazione Elettrica Utente di trasformazione verrà realizzato l'innalzamento della tensione a 132kV per introdurre l'energia prodotta sulla RTN di Terna.

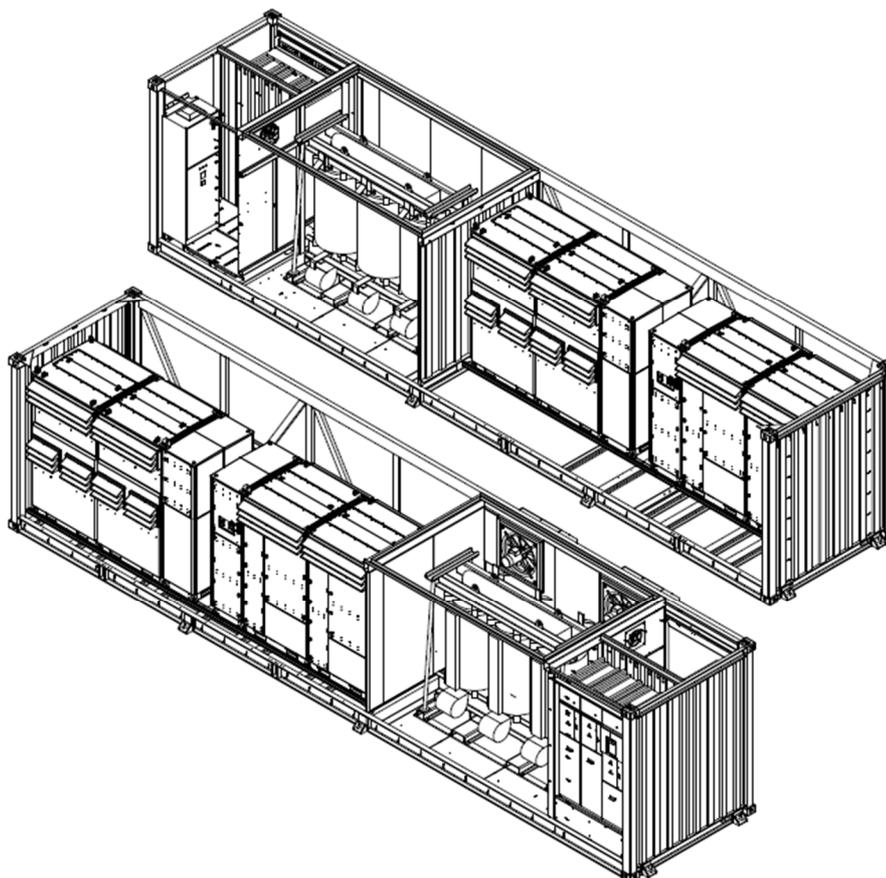


Fig. 3 – layout SKID

Come anticipato, all'interno degli SKID verranno alloggiati gli inverter, il trasformatore BT/MT e le celle MT:

Technical data and types				
Product Type designation	PVS980-58 2.0 MVA -1818kVA-I	PVS980-58 2.1 MVA -1909kVA-J	PVS980-58 2.2 MVA -2000kVA-K	PVS980-58 2.3 MVA -2091kVA-L
Input (DC)				
Maximum recommended PV power ($P_{PV, max}$) ³¹	2909 kWp	3056 kWp	3200 kWp	3346 kWp
Maximum DC current ($I_{max(DC)}$)	2400 A	2400 A	2400 A	2400 A
DC voltage range, mpp ($U_{DC, mpp}$) at 35 °C	850 to 1500 V	893 to 1500 V	935 to 1500 V	978 to 1500 V
DC voltage range, mpp ($U_{DC, mpp}$) at 50 °C	850 to 1100 V	893 to 1100 V	935 to 1100 V	978 to 1100 V
Maximum DC voltage ($U_{max(DC)}$)	1500 V	1500 V	1500 V	1500 V
Number of MPPT trackers	1	1	1	1
Number of protected DC inputs	8 ²⁾ to 24 (+/-)			
Output (AC)				
Maximum power ($S_{max(AC)}$) ³¹	2000 kVA	2100 kVA	2200 kVA	2300 kVA
Nominal power ($S_{N(AC)}$) ⁴⁾	1818 kVA	1909 kVA	2000 kVA	2091 kVA
Maximum AC current ($I_{max(AC)}$)	1925 A	1925 A	1925 A	1925 A
Nominal AC current ($I_{N(AC)}$)	1750 A	1750 A	1750 A	1750 A
Nominal output voltage ($U_{N(AC)}$) ⁵⁾	600 V	630 V	660 V	690 V
Output frequency ⁶⁾	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Harmonic distortion current ⁶⁾	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%
Distribution network type ⁷⁾	TN and IT	TN and IT	TN and IT	TN and IT
Efficiency				
Maximum ⁸⁾	98.8%	98.8%	98.8%	98.8%
Euro-eta ⁹⁾	98.6%	98.6%	98.6%	98.6%
CEC efficiency ⁹⁾	98.0%	98.5%	98.5%	98.5%
Power consumption				
Self consumption in normal operation	≤ 2500 W	≤ 2500 W	≤ 2500 W	≤ 2500 W
Standby operation consumption	235 W	235 W	235 W	235 W
Auxiliary voltage source ³⁰⁾	External, 1-phase	External, 1-phase	External, 1-phase	External, 1-phase

All'uscita di ciascuno SKID, i cavi di media tensione, tipo elicordati ad elica visibile, con sezioni, come desumibile dallo schema unifilare, portano l'energia elettrica prodotta alla cabina di raccolta, sistemata in prossimità del cancello di accesso al sottocampo 2 sul lato nord-est del campo.

La cabina di raccolta verrà quindi collegata alla Sottostazione SSEU posta nelle vicinanze della Stazione Elettrica di Populonia (punto di consegna), tramite linea interrata, realizzata con tripla terna di cavi unipolari, con sezione pari a 300 mm² tipo RG26H1M16 18/30kV

L'elettrodotto in media tensione di collegamento alla Sottostazione Elettrica Utente (SSEU), realizzato con tripla terna di cavi unipolari, con sezione 300mm², posate entro scavi a cielo aperto a sezione ristretta (Scavi a trincea), alloggiati entro tubi in PE, conformi alla Norma CEI EN 50086-2-4 della serie pesante e segnalati superiormente da una rete in PVC e da un nastro segnaletico, si

svilupperà prevalentemente lungo la viabilità esistente salvo alcuni tratti in corrispondenza di interferenze, individuate lungo il tracciato dell'opera (come meglio dettagliato nell'elaborato "TAV.20_PROG. – Sezioni cavidotti e strade") quali: l'attraversamento del Fiume Cornia, di alcuni canali e della SS 398, che verrà realizzato, di preferenza, con la tecnologia TOC (o no DIG) e di un ulteriore breve tratto realizzato su terreno.

10 VALUTAZIONE PREVENTIVA DEI CAMPI MAGNETICI

Dopo aver sinteticamente descritto lo sviluppo dell'impianto in studio, prima di effettuare la valutazione, nel seguito si identificano le possibili sorgenti emmissive e le loro caratteristiche.

Qui di seguito viene riportato lo schema a blocchi delle nuove sorgenti emmissive presenti all'interno del campo. Il diametro dei cavi viene assunto come il massimo possibile in caso di possibili variazioni di configurazione impiantistica in fase esecutiva.

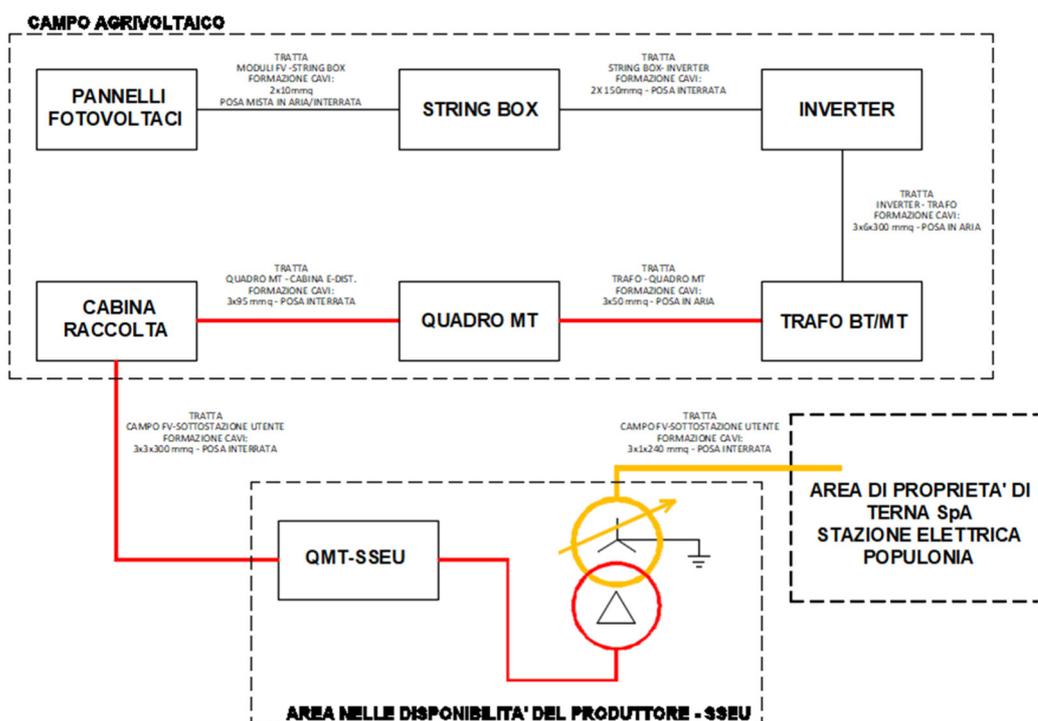


Fig. 4 - Schema a blocchi sorgenti campi elettrici e magnetici oggetto di indagine

10.1 Tratta moduli fotovoltaici – string box (corrente continua)

I moduli fotovoltaici lavorano in corrente e tensione continue (0 Hz), per cui la generazione di campi variabili è limitata ai soli transitori di corrente e sono comunque di brevissima durata. Nella certificazione dei moduli fotovoltaici alla norma CEI 82-8 (IEC 61215) non sono comunque menzionate prove di compatibilità elettromagnetica, poiché irrilevanti. Viste le basse tensioni (nel nostro caso al massimo 1500 V) il campo elettrico statico è trascurabile.

Riguardo al campo magnetico statico, considerando che:

- buona esecuzione vuole che i cavi di diversa polarizzazione (+ e -) viaggino sempre a contatto, annullando reciprocamente quasi del tutto i campi magnetici statici prodotti in un punto esterno (tale precauzione viene in genere presa soprattutto al fine della protezione dalle sovratensioni limitando al massimo l'area della spira che si viene a creare tra il cavo positivo e il cavo negativo);
- per la frequenza 0-1 Hz il limite di riferimento per induzione magnetica, che non deve essere superato, è di 40 mT;
- la massima corrente continua circolante sui cavi in ingresso alle string box è dell'ordine delle decine di Ampere.

Si può certamente escludere il superamento dei limiti di riferimento dei valori di campo magnetico statico per questa porzione di impianto in corrente continua.

10.2 Tratta String Box –Inverter (SKID)

Le linee DC, tra le diverse string box, dislocate nel campo FV e gli inverter, saranno caratterizzate da correnti di entità variabile, in funzione del numero di stringhe in parallelo da esse gestite. Dette linee verranno alloggiare all'interno degli scavi predisposti allo scopo tra ciascuna string box e il corrispondente inverter di sottocampo. Lo sviluppo di tali linee avverrà principalmente all'interno

dell'area recintata del campo fotovoltaico in studio; fanno eccezione brevi tratti di cavidotti che, interrati, collegano tra loro sezioni di sottocampo, lungo tracciati esterni al campo fotovoltaico.

Nelle peggiori condizioni si individua una zona di convogliamento con circa 448,3A @T=70°C, $V_{mpp@STC}=1386V_{dc}$, distribuiti su 24 coppie di cavi di tipo solare, che andranno ad attestarsi sugli ingressi DC degli inverter di riferimento. La profondità di posa delle condotte DC varia in funzione del numero di cavi ospitati al loro interno e comunque non inferiore ad 1,0 m. I cavi in oggetto potranno essere del tipo H1Z2Z2-K con sezione idonea a limitare le cadute di tensione entro il 2%, questo si ottiene mediamente una formazione 2x1x120mmq e in taluni casi con formazione 2x1x150mmq.

Eventuali valutazioni della DPA per questa tipologia di sorgente, verranno fatte considerando i dati sopra riportati.

10.3 Sezione conversione e trasformazione (SKID)

Nella sezione di conversione ha luogo la trasformazione della corrente da DC in AC per il tramite dell'inverter e il suo successivo innalzamento di tensione da 690V 3F 50Hz a 30kV 3F 50Hz. I collegamenti tra i dispositivi, in parte in aria ed in parte in condotte di materiale ferromagnetico, si sviluppano tutti all'interno del volume dello SKID. La corrente massima in uscita da ciascun inverter è pari a circa $I_{MAX}=1925A@35^{\circ}C$ mentre la corrente, in uscita dal trasformatore, raggiunge il livello massimo pari a $I_{30KV}=98,5A$ circa. Il collegamento tra inverter e trasformatore verrà realizzato tramite cavi unipolari, conduttore in alluminio, del tipo ARG16R16, 6 corde per fase da 300mmq, diametro del conduttore pari a 20,7mm e diametro esterno della corda 27,9 mm.

Queste le condizioni per la verifica di eventuali DPA da imporre a causa della sorgente in esame.

Gli inverter sono apparecchiature che al loro interno utilizzano un trasformatore ad alta frequenza per ridurre le perdite di conversione. Essi, quindi, sono costituiti per loro natura da componenti elettronici operanti ad alte frequenze. Il legislatore, d'altro canto, ha previsto che tali macchine, prima di essere immesse sul mercato, dispongano delle necessarie certificazioni, al fine di garantire

sia l'immunità dai disturbi elettromagnetici esterni, sia le ridotte emissioni per minimizzare l'interferenza elettromagnetica con altre apparecchiature elettroniche, posizionate nelle vicinanze o con la rete elettrica stessa (via cavo). **A questo scopo gli inverter prescelti possiedono la certificazione di rispondenza alle normative di compatibilità elettromagnetica (EMC).**

Le linee in bassa tensione, che realizzano il collegamento tra gli inverter e la sezione di trasformazione BT/MT (sede del quadro BT) e le linee di bassa tensione di alimentazione dei vari ausiliari di sistema, sono definite di classe prima (DM 21/03/1988 n. 449, Classe I: linee di trasporto o distribuzione di energia elettrica la cui tensione nominale è inferiore a 1000 V) pertanto, in base al punto 3.2 del Decreto 29 maggio 2008 – Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare – "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione della fasce di rispetto per gli elettrodotti", **tali elettrodotti non risultano rientranti nella tipologia di linee elettriche per le quali si devono avere delle fasce di rispetto.**

Infatti tali aree non prevedono la presenza di lavoratori se non per il tempo strettamente necessario alle operazioni di manutenzione e, inoltre, i cavi, che formano le diverse fasi, saranno in posa ravvicinata, posate in aria o entro cavidotti in materiale ferromagnetico, all'interno del volume dello SKID e comunque all'interno dell'impianto.

Si rammenta, a tal riguardo, che il valore di campo magnetico, generato da un sistema elettrico trifase simmetrico ed equilibrato in un punto dello spazio, è estremamente dipendente dalla distanza esistente tra gli assi dei conduttori delle tre fasi: se i tre conduttori coincidessero nello spazio il campo magnetico esterno risulterebbe nullo per qualsiasi valore della corrente circolante nei conduttori.

Per questo motivo il problema dei campi magnetici è poco sentito nelle reti di bassa e media tensione in cavo, dove gli spessori degli isolanti sono molto contenuti, permettendo alle tre fasi di essere estremamente ravvicinate tra loro se non addirittura inserite nello stesso cavo multipolare.

Dalle considerazioni sopra esposte risulta che le sorgenti emmissive da prendere in considerazione per la DPA sono le sbarre di bassa tensione dei quadri BT, i cavi di collegamento BT ed i trasformatori elevatori.

Nel caso delle sbarre in rame dei quadri elettrici BT, dove la disposizione delle tre fasi in piano e le elevate correnti determinano campi magnetici elevati, soprattutto nelle immediate vicinanze dei trasformatori elevatori (lato bassa tensione).

La norma in realtà prevede che si possa valutare la Distanza di Prima Approssimazione (DPA) dalle cabine di trasformazione, e per estensione agli SKID, valutando il solo contributo dei trasformatori BT/MT.

Nonostante quanto disposto dalla norma sarà di seguito effettuato, ugualmente, il calcolo dei campi magnetici generati dalle sbarre di bassa tensione, ovvero generati dai cavi BT di collegamento.

Ci si pone nel caso di una sorgente filiforme a tre conduttori in piano, posti ad una distanza $S=30,7$ mm (diametro esterno dei cavi) percorsi da una corrente di c.a. $I=3850,0$ A (somma della massima corrente fornita dal singolo inverter collegato al gruppo di trasformazione).

Applicando la formula:

$$B_P (\mu T) = 0,346 \times I/D \times S/D \quad (\text{CEI 106-12})^1$$

ponendosi ad una distanza $D=1$ m, si ottengono i seguenti valori di campo magnetico:

$$B_P (\mu T) = 40,89 \mu T$$

Il valore di $3 \mu T$ si raggiunge ad una **distanza di 3,70 metri c.a.**

1 *Induzione magnetica generata in un punto P distante D da una linea trifase con conduttori rettilinei, paralleli e correnti equilibrate e simmetriche (CEI 106-12)*

Nel caso di cabine elettriche tipo box², ai sensi del § 5.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008), la fascia di rispetto DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della cabina (SKID), va calcolata simulando una linea trifase, con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale BT in uscita dal trasformatore (I) e con distanza tra le fasi pari al diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (x) (§ 5.2.1) applicando la seguente relazione:

$$\frac{DPA}{\sqrt{I}} = 0,40942 \cdot x^{0,5242}$$

dove:

DPA= distanza di prima approssimazione (m)

I= corrente nominale (A)

x= diametro reale (conduttore + isolante) del cavo (m)

Considerando che gli SKID alloggiavano tutti un trasformatore con le medesime caratteristiche (trasformatore da 4600 kVA), la corrente di bassa tensione adottata è pari c.a. 4057,0 A e, considerando un diametro dei cavi pari a 0,0307 (cavo in alluminio da 300mm²), si ottiene:
DPA = 4,5 m (approssimazione del valore calcolato pari a 4,2m).

10.4 Elettrodotti in Media Tensione (all'interno del campo agrivoltaico)

I cavi di media tensione tra il Trasformatore BT/MT e gli interruttori MT e tra gli interruttori MT e la cabina di raccolta non si considerano in base al punto 3.2 del Decreto 29 maggio 2008 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, solo se realizzati con cavo

² Per il presente studio, le considerazioni, valide per le cabine elettriche tipo BOX, si estende anche agli SKID

cordato a elica (interrati o aerei). Le fasce associabili hanno, infatti, ampiezza ridotta, inferiori alle distanze prescritte dal Decreto Interministeriale n° 449/88 e dal decreto del Ministro dei lavori Pubblici del 16 Gennaio 1991.

Nel caso in esame, i cavi utilizzati per realizzare il collegamento tra la cabina di raccolta e la cabina di trasformazione MT/BT (SKID), saranno in formazione elicoidale.

All'interno dell'impianto in esame, per realizzare i collegamenti in MT, è previsto l'impiego di cavo tripolare, elicordato ad elica visibile, con isolamento ridotto tipo RE4H1RX (18/30 kV) con sezioni 95 e 240 mm².

Considerate le basse correnti, che interessano i conduttori in MT, per impianti di tale potenza, i campi magnetici generati risultano comunque modesti, anche se si fosse in presenza di terne di cavi in formazione a trifoglio.

A conferma di quanto sopra si svolge il calcolo per la linea di MT che collega lo SKID del sottocampo 2 alla cabina di raccolta (linea più caricata) trascurando qualsiasi perdita lungo la linea MT, la linea trasporta una corrente massima di c.a 197 A. Si ipotizza l'uso di un cavo tipo RG7H1R 18/30 kV da 240 mm², avente un diametro esterno di 45,0 mm ed interrato ad una profondità di 1 metro.

Nel caso venga posata interrata una terna di conduttori unipolari disposti a trifoglio, per il calcolo dell'induzione magnetica la norma CEI 106-12 fornisce la seguente formula:

$$BP (\mu T) = 0,245 \times I/D \times S/D \quad (\text{CEI 106-12})$$

Dai calcoli si evince che il valore di **3 μT** si raggiunge ad una distanza di c.a. **90 cm** dalla sorgente, dunque ad una quota inferiore a quella del terreno.

10.5 Altri cavi

Altri campi elettromagnetici dovuti al monitoraggio e alla trasmissione dati possono essere trascurati, in base al punto 3.2 del Decreto 29 maggio 2008 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

11 VALUTAZIONE CAMPI ELETTRICI

Considerando che la tensione massima del sistema elettrico a servizio del solo campo fotovoltaico, è pari a 30.000 V e che le sorgenti che provocano i campi elettrici sono in gran parte schermate, la loro valutazione è completamente trascurabile.

Per il cavo in alta tensione a 132kV che collega la Stazione Elettrica (SE) di Populonia alla SSEU dell'impianto agrivoltaico "PIOMBINO", 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 di avere effetti trascurabili ad una distanza corrispondente alla distanza di prima approssimazione (DPA).

12 CONCLUSIONI

Dalle valutazioni effettuate è emerso che l'impianto fotovoltaico in esame è stato studiato in modo da rispettare i limiti previsti dalla Legge 36/2001 ed in particolare dal successivo decreto attuativo DPCM 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 di 50 Hz degli elettrodotti" in corrispondenza dei punti sensibili (aree esistenti o in progetto con previsione di permanenza di persone per più di 4h nella giornata).

All'esterno delle DPA individuate infatti:

-- il valore del campo elettrico è sempre inferiore al limite fissato in 5kV/m:

Il campo elettrico generato è trascurabile, a causa dello schermo dei cavi o di valore molto inferiore ai limiti negli altri casi, per distanze superiori a qualche cm dalle parti in tensione.

-- il valore del campo di induzione magnetica, è sempre inferiore a 3 μ T:

Per quel che riguarda il campo di induzione magnetica il calcolo nelle varie sezioni di impianto ha dimostrato come non ci siano fattori di rischio per la salute umana, poiché è esclusa la presenza di

recettori sensibili entro le fasce di rispetto; tali fasce risultano infatti sempre ricomprese all'interno delle recinzioni metalliche dell'impianto, che quindi non interessano luoghi adibiti a permanenza di persone superiori a 4 ore giornaliere.