

DISEGNI DI RIFERIMENTO					
CODIFICA		DESCRIZIONE			
LOGOS REN	CLIENTE				
00	Prima emissione	SINTECNICA	D.Barbarigo	E.Sonno	08/11/2023
Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
INDICE DELLE REVISIONI					
 		Impianto	PASCOLO SOLARE MACCABOVE		
		Cliente			
		Titolo	Relazione campi elettromagnetici e DPA		
Commessa	N° documento	Nome file		REV	
6201.	AV.MAN.DE.AM.R.040	AV.MAN.DE.AM.R.040 _ Relazione campi elettromagnetici e DPA		A	
DOCUMENTO DI PROPRIETA' LOGOS REN srl - RIPRODUZIONE VIETATA SENZA AUTORIZZAZIONE					

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA NAZIONALE	4
2.2	NORMATIVA TECNICA	5
3	DEFINIZIONI.....	6
4	INQUADRAMENTO GENERALE	8
4.1	AREA DI PROGETTO	8
5	VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO	9
5.1	VALORI LIMITE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA.....	9
5.2	VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO	9
6	DESCRIZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE E DEGLI IMPIANTI	10
6.1	SCHEMA DELLE LINEE ELETTRICHE	10
6.2	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO E QUADRI MT	14
6.3	DESCRIZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE UTENTE.....	14
7	METODOLOGIE DI CALCOLO.....	15
7.1	CALCOLO DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA.....	15
7.2	CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO	16
8	CALCOLO DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE.....	17
8.1	DPA MODULI FOTOVOLTAICI.....	17
8.2	DPA CABINE DI CAMPO E QUADRI MT	18
8.3	DPA CAVIDOTTO MT DI COLLEGAMENTO TRA CABINE DI CAMPO E QMT-G.....	18
8.4	DPA CAVIDOTTO MT DI COLLEGAMENTO TRA CAMPO E SOTTOSTAZIONE UTENTE.....	19
8.5	DPA CAVIDOTTO AT DI COLLEGAMENTO TRA SOTTOSTAZIONE UTENTE E SSE-EDP.....	20
8.5.1	DPA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA UTENTE	21
9	CONCLUSIONI.....	22

1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato costituisce la relazione di calcolo volta alla determinazione delle distanze di prima approssimazione (DPA) dei campi elettromagnetici, relativamente alla fase di esercizio, di un impianto agrivoltaico denominato “Manciano”, che la società EDPR – Energias De Portugal (di seguito anche Proponente) ha in progetto di realizzare nel Comune di Manciano, in Provincia di Grosseto (GR).

L’impianto agrivoltaico (di seguito anche impianto AFV) interesserà un’area di circa 70,2 ha, in cui verranno installati 71136 moduli, per una potenza di picco complessiva dell’impianto pari a circa 44,46 MWp. L’impianto sarà suddiviso in 7 sottocampi e ad ognuno di essi sarà associata una cabina di trasformazione MT/bt. Nella parte nord dell’area di progetto sarà installato un impianto di accumulo BESS (dall’acronimo inglese Battery Energy Storage System) composto da 27 moduli. Per la connessione alla RTN è prevista la realizzazione di nuova sottostazione elettrica di utenza (SSU) di conversione AT/MT (132/30 kV), a cui arriverà il cavidotto MT (30 kV) interrato della lunghezza di circa 560 metri e da cui partirà il cavidotto AT (132 kV), della lunghezza di circa 3,7 km per la connessione alla nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV “Montalto – Suvereto”.

La nuova SE della RTN non è oggetto di questa procedura autorizzativa.

Per l’esecuzione del presente studio, è stato sviluppato un modello per il calcolo nello spazio dei valori di campo elettromagnetico prodotti dalle cabine di trasformazione MT/bt, dai cavidotti in MT e AT e dalla SSU.

Il presente Studio, oltre all’Introduzione, contiene:

- una sintesi della normativa di riferimento (Capitolo 2);
- la definizione delle grandezze oggetto di verifica (Capitolo 3)
- l’individuazione dell’area di studio, in cui vengono effettuate la caratterizzazione geografica dell’area interessata dall’impianto AFV in oggetto (Capitolo 4);
- l’individuazione dei valori limite di riferimento per gli impianti (Capitolo 5);
- la descrizione delle linee elettriche e degli impianti (Capitolo 6);
- la descrizione della metodologia di calcolo (Capitolo 7);
- la presentazione dei risultati di calcolo delle Distanze di Prima Approssimazione (Capitolo 8);

rimandando al Capitolo 9 le conclusioni del lavoro.

Le valutazioni circa il rispetto dei limiti normativi e la redazione della presente relazione sui campi elettromagnetici sono conformi a quanto stabilito dalla normativa nazionale e dalla normativa tecnica di settore.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nel presente capitolo viene riportata una panoramica dei principali riferimenti di legislazione nazionale e della normativa tecnica pertinente alle analisi oggetto del presente elaborato.

2.1 **NORMATIVA NAZIONALE**

- 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.";
- 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".

Ai fini della protezione della popolazione dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati da linee e cabine elettriche, suddetto Decreto (artt. 3 e 4) fissa, in conformità alla L. 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 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

Il valore di attenzione si riferisce a luoghi tutelati esistenti presso 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. L'art. 6, in attuazione della legge 36/01 (art 4 c.1 lettera h), introduce la metodologia di calcolo della fascia 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

- 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"

Suddetto Decreto introduce la metodologia di calcolo semplificata delle fasce di rispetto, con l'introduzione della Distanza di Prima Approssimazione (DPA). Detta DPA, nel rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T del campo magnetico, si applica nel caso di:

- Realizzazione di nuovi elettrodotti in prossimità di luoghi tutelati;
- Progettazione di nuovi luoghi tutelati in prossimità di elettrodotti esistenti.

Le DPA permettono, nella maggior parte delle situazioni, una valutazione esaustiva dell'esposizione ai campi magnetici. Si precisa, inoltre, che secondo quanto previsto dal Decreto 29 maggio 2008 sopra citato, la tutela in merito alle fasce di rispetto di cui all'art. 6 dei DPCM 8 luglio 2003 si applica alle linee elettriche aeree ed interrate, esistenti ed in progetto ad esclusione di:

- linee esercite a frequenza diversa da quella di rete di 50 Hz (ad esempio linee di alimentazione dei mezzi di trasporto);
- linee di classe zero ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (come le linee di telecomunicazione);
- linee di prima classe ai sensi del DM 21 marzo 1988, n. 449 (quali le linee di bassa tensione);
- linee di media tensione in cavo cordato ad elica in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta inferiore alle distanze previste dai DM marzo 1988, n 449 e s.m.i.

2.2 **NORMATIVA TECNICA**

- CEI 11-60 "Portata al limite termico delle linee elettriche esterne con tensione maggiore di 100 kV".
- CEI 20-21 "Calcolo della portata di corrente" (IEC 60287).
- 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"
- CEI 211-6 "Guida per la misura e la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana"

3 DEFINIZIONI

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 2.2.a. 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.
- 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 2.2.a.

Si ricorda che le Regioni (fermi i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità) nella definizione dei tracciati degli elettrodotti che ricadono nella loro competenza autorizzativa, devono tener conto anche delle fasce di rispetto determinate secondo la metodologia in allegato al Decreto 29 maggio 2008 (art. 8, c. 1, lett. B) della Legge 36/2001).

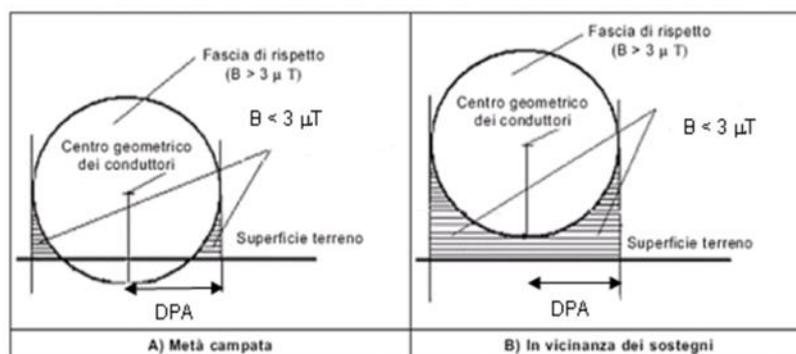


Figura 2.2.a Schema fasce rispetto e DPA in corrispondenza di metà campata e in vicinanza dei sostegni

- Impianto: officina elettrica destinata, simultaneamente o separatamente, alla produzione, allo smistamento, 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 μ T 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 § 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 § 3.5 e § 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)

4 INQUADRAMENTO GENERALE

4.1 AREA DI PROGETTO

L'area oggetto di studio è sita all'interno del Comune di Manciano (GR), al confine tra la Regione Toscana e la Regione Lazio, in una zona sub-pianeggiante, con pendii dolci ed altitudine compresa fra gli 80 m.s.l.m. e i 100 m.s.l.m., inserita in un contesto prevalentemente rurale, caratterizzato da una bassa densità insediativa. Il centro abitato più vicino risulta Montalto di Castro (VT) distante circa 10 km in direzione sud. La viabilità circostante è costituita principalmente dalle SP105, la SP107 e la SP67, le quali si diramano a partire da un incrocio ubicato in prossimità dell'area di impianto, a circa 1 km in direzione sud-est. La SP67, denominata Strada Provinciale Campagnola, delimita la parte est dell'area di impianto. A circa 8 km in direzione sud-ovest scorre l'autostrada E80.

Le coordinate dell'impianto sono indicativamente:

- Latitudine 42° 26' 38.09" N
- Longitudine 11° 36' 4.48" E

Nella successiva Figura 4.1.a è riportato l'inquadramento generale dell'area di studio. Sono individuate le cabine di trasformazione, i moduli BESS, il cavidotto, la SSU e la SE Terna.

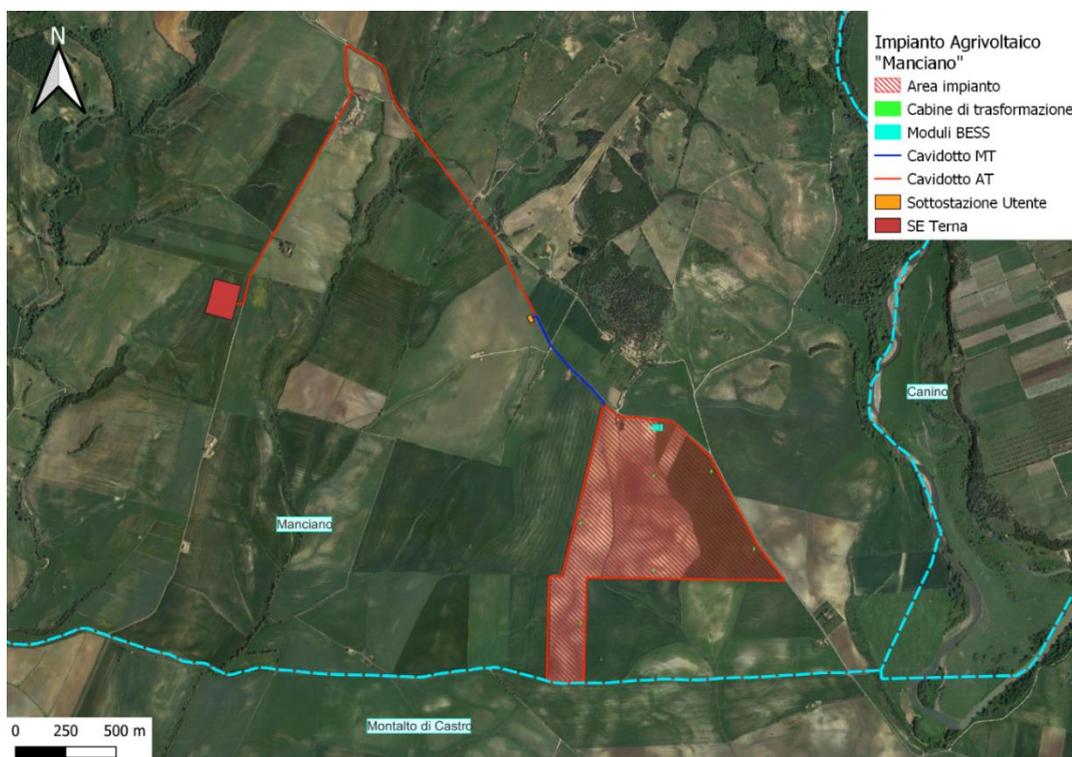


Figura 4.1.a Inquadramento generale dell'area di studio

5 VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO

Nella redazione della relazione tecnica sui campi elettromagnetici è stato tenuto conto della normativa vigente in materia.

In particolare, sono state recepite le indicazioni contenute nel DPCM 08/07/2003, il quale fissa i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete generati dagli elettrodotti. Si è, inoltre, tenuto conto di quanto previsto dal DM 29/05/2008 per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti (metodologia di calcolo indicata dall'APAT), e della Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n.55.

5.1 VALORI LIMITE DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA

Per quanto riguarda il campo di induzione magnetica generato dagli elettrodotti, esistono tre differenti tipologie di soglia cui fare riferimento, fissate attraverso il DPCM 8/07/2003. L'art. 3 del citato decreto indica i valori dell'induzione magnetica mostrati nella successiva Tabella 5.1.a

Tipologia di limite	Descrizione	Indicatore	Valore limite
Limite di esposizione	valore da non superare in alcuna situazione	valore efficace	100 μ T
Valore di attenzione	misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, nelle aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere	mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio	10 μ T
Obiettivo di qualità	nella progettazione di nuovi elettrodotti in aree di gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e nella progettazione di nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità delle linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio	mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio	3 μ T

Tabella 5.1.a Valori limite del campo di induzione magnetica

5.2 VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO

In riferimento al campo elettrico, il DPCM 8/07/2003 stabilisce il valore limite pari a 5kV/m, da considerarsi come valore efficace.

6 DESCRIZIONE DELLE LINEE ELETTRICHE E DEGLI IMPIANTI

Nel presente capitolo sono riassunti i parametri di linee elettriche e impianti. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato 6201PDP000_A-PlanimetriaGenerale, all'elaborato 6201PDS001_A-SchemaUnifilare e all'elaborato 6201PDP010_A_Layout SSE.

6.1 SCHEMA DELLE LINEE ELETTRICHE

Lo schema sintetico delle connessioni elettriche dell'impianto è riportato in Figura 6.1.a.

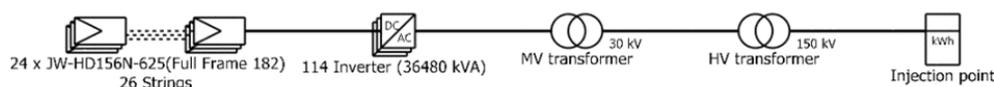


Figura 6.1.a Schema unifilare sintetico

I moduli fotovoltaici sono raggruppati ogni 24 unità e compongono una stringa, 26 stringhe sono raggruppate e collegate ad un inverter, per un totale di 114. A loro volta gli inverter sono raggruppati in numero variabile (12, 14, 16, 20) e collegati ad un trasformatore MT/bt. Sono presenti un totale di 7 trasformatori (TX-1 – TX-7) collocati, insieme agli inverter, all'interno delle cabine elettriche di campo.

In Tabella 6.1.a si riassumono i raggruppamenti dei moduli con le relative potenze elettriche di picco, in Figura 6.1.b è riportato un particolare dello schema elettrico unifilare con i collegamenti elettrici dai moduli fotovoltaici alle cabine elettriche di campo.

Cabina - trasformatore	Inverter	Moduli fotovoltaici	Potenza (DC) [kWp]	Potenza (AC) [kWp]
TX1	16	9984	6240	5632
TX2	14	8736	5460	4928
TX3	12	7488	4680	4224
TX4	20	12480	7800	7040
TX5	20	12480	7800	7040
TX6	20	12480	7800	7040
TX7	12	7488	4680	4224
TOTALE	114	71136	44460	40128

Tabella 6.1.a Raggruppamento elettrico moduli fotovoltaici

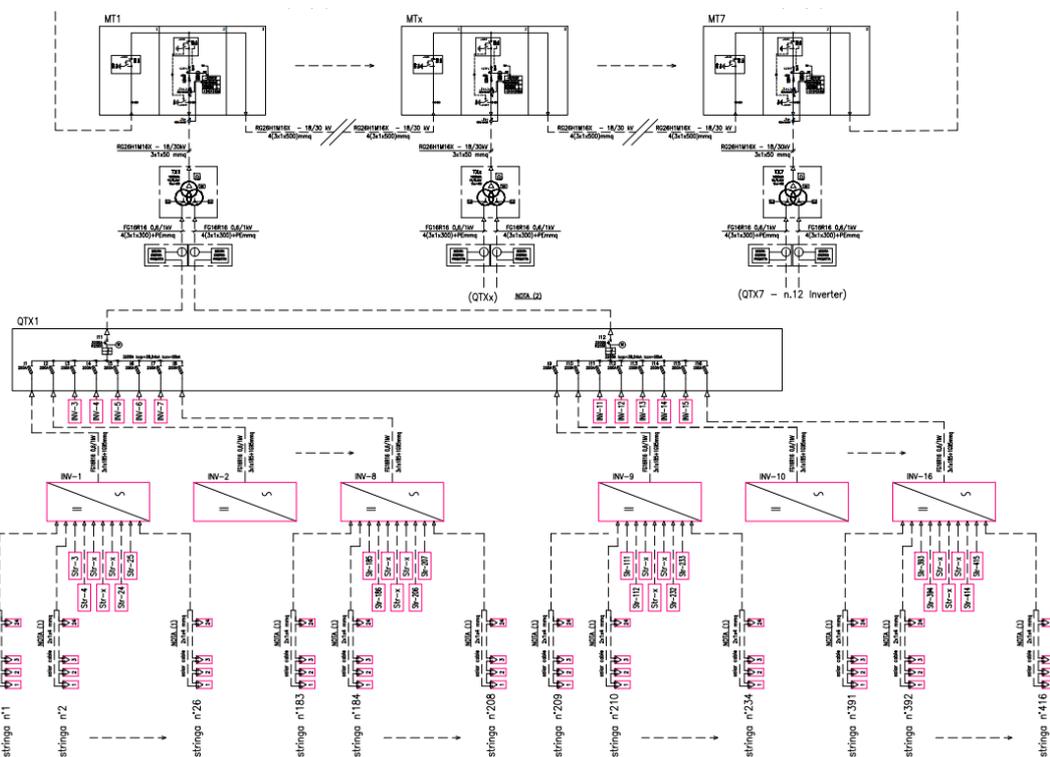


Figura 6.1.b Particolare 1 dello schema elettrico unifilare

Le cabine di campo sono collegate ad anello al quadro di MT (QMT-G) e al sistema di accumulo (entrambi presenti nel campo) da cavidotto di MT. In Figura 6.1.c il particolare dell'unifilare con i collegamenti dalle cabine di campo al QMT-G e in Figura 6.1.d il cavidotto in pianta. Dal QMT-G parte il cavidotto MT per il quadro di MT (QMT) presente nella sottostazione utente (SSE-U).

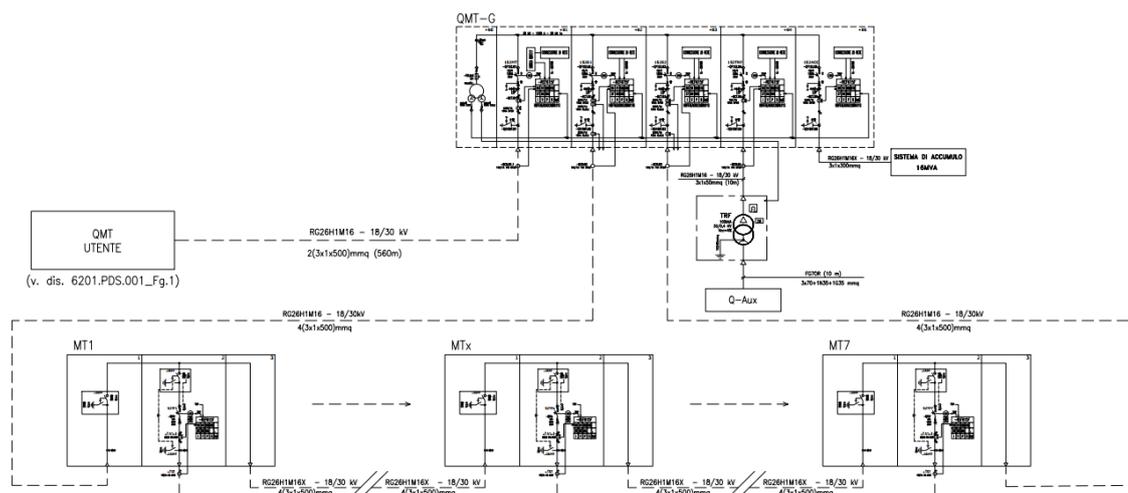


Figura 6.1.c Particolare 2 dello schema elettrico unifilare

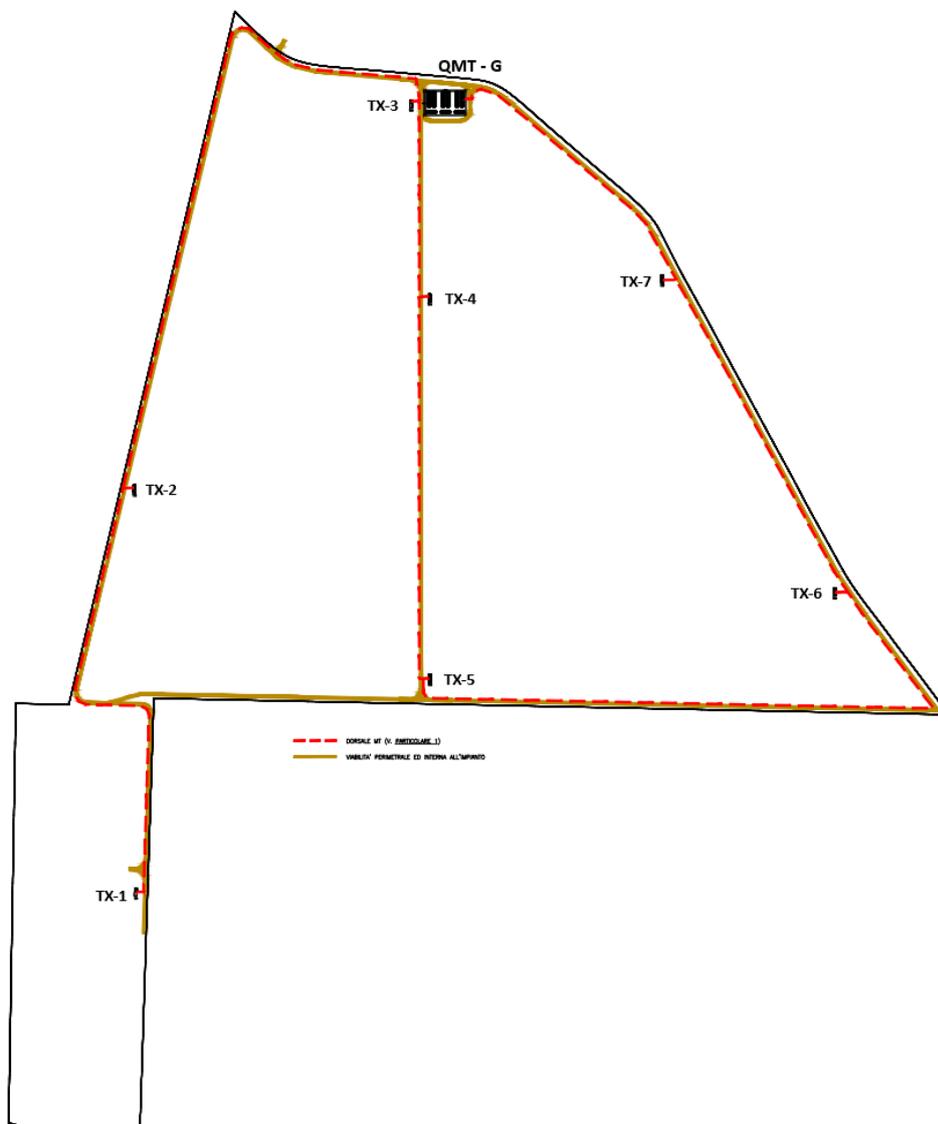


Figura 6.1.d Cavidotto di MT che collega le cabine di campo al QMT-G

Nella SSE utente avviene la trasformazione da 30 kV a 132 kV e infine da qui parte il cavidotto di AT per il collegamento ad una sottostazione (detta SSE-EDP) di altro operatore predisposta per la connessione di più operatori alla RTN. In Figura 6.1.e si riporta il particolare di questi ultimi collegamenti elettrici.

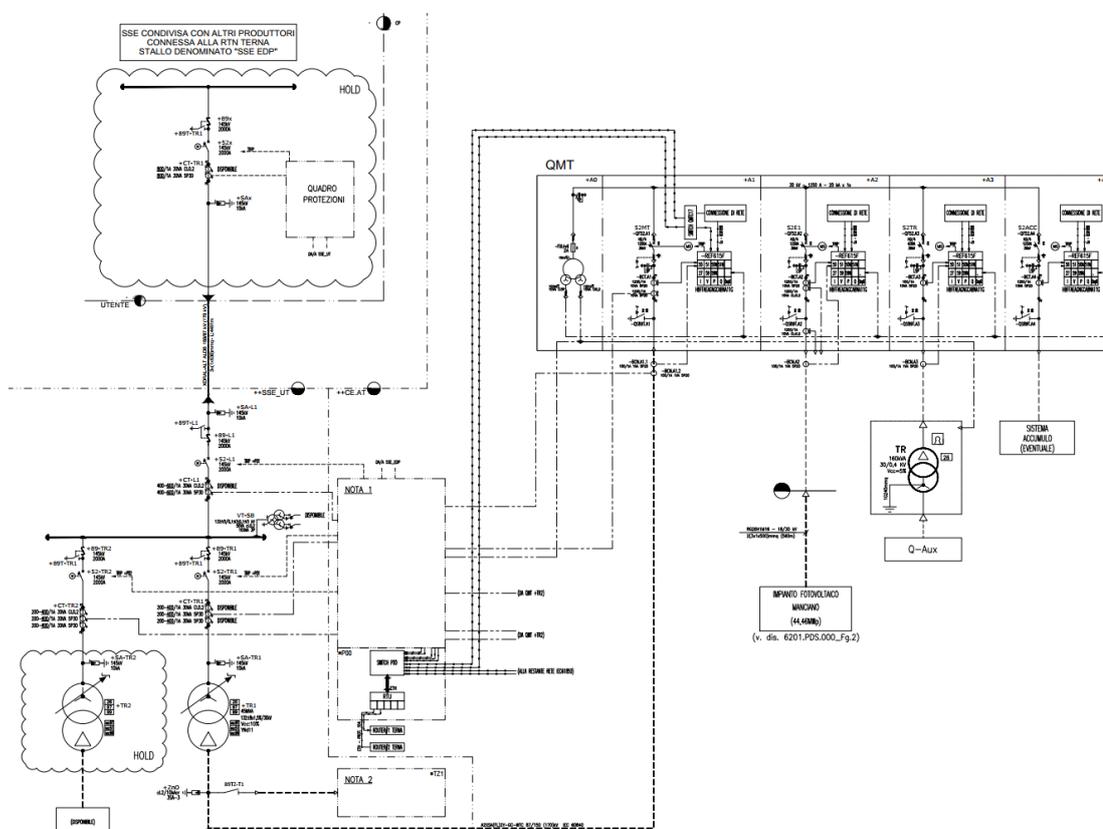


Figura 6.1.e Particolare 3 dello schema elettrico unifilare

I collegamenti elettrici sopra descritti sono effettuati tramite i cavi descritti in Tabella 6.1.b

Linea	Partenza	Arrivo	Sezione cavo [mm ²]	Lunghezza cavo [m]	Tensione nominale [kV]
Stringhe – inverter	24 moduli	inverter	2x1x14	n.d.	< 1
Inverter – TX campo	Inverter	TX campo	3x1x185	n.d.	< 1
Cabine di campo – QMT-G	TX1	QMT-G	4x(3x1x500)	3900	30
QMT-G – QMT (SSE-U)	QMT-G	QMT	2x(3x1x500)	560	30
SSE-U – SSE-EDP	SSE-U	SSE-EDP	3x(1x630)	3100	170

Tabella 6.1.b Cavidotti e caratteristiche dei cavi

7 METODOLOGIE DI CALCOLO

7.1 CALCOLO DEL CAMPO DI INDUZIONE MAGNETICA

L'induzione magnetica B generata da N conduttori filiformi può essere calcolata con l'espressione riportata di seguito; si considera il solo contributo al campo magnetico dei conduttori reali assumendo il suolo perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico potendo così trascurare i conduttori immagine.

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{k=1}^N \int_{C_k} \frac{i}{r^3} \vec{r} \times d\vec{l}$$

Dove:

- μ_0 è la permeabilità magnetica del vuoto;
- N è il numero dei conduttori (3 nel caso di una terna, n*3 nel caso di n terne);
- i la corrente in ciascun conduttore;
- C_k il conduttore k-esimo;
- r la distanza tra il tratto elementare di un conduttore k-esimo ed il punto dove si vuole calcolare il campo.

Il modello adottato (conduttori cilindrici rettilinei orizzontali indefiniti paralleli tra di loro) consente di eseguire facilmente l'integrazione e semplificare i calcoli. Indicato con Q il punto dove si vuole determinare il campo, definiamo sezione normale il piano verticale passante per Q e ortogonale ai conduttori; indichiamo quindi con P_k il punto dove il generico conduttore C_k interseca la sezione normale, e con I_k la corrente nel singolo conduttore (si è preso l'asse z nella direzione dei conduttori). Con queste posizioni, per l'induzione magnetica in Q si ottiene l'espressione

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{I_k \vec{z} \times (\vec{Q} - \vec{P}_k)}{|\vec{Q} - \vec{P}_k|^2}$$

La formula indica che l'induzione magnetica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza del punto di interesse dai conduttori; esiste inoltre una proporzionalità diretta tra l'induzione e la distanza tra i singoli conduttori di ogni terna.

7.2 CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO

Il campo elettrico di N conduttori rettilinei paralleli di lunghezza infinita con densità lineare di carica costante può essere espresso come:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^N \frac{(\vec{Q} - \vec{P}_k)}{|\vec{Q} - \vec{P}_k|^2}$$

Dove:

- λ è la densità lineare di carica sul conduttore;
- ϵ_0 è la permittività del vuoto;
- Q è il punto dove si vuole determinare il campo;
- P_k è il punto dove il conduttore interseca la sezione normale.

Nel caso analizzato, per quanto riguarda il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrate, esso è da ritenersi insignificante grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno.

8 CALCOLO DISTANZE DI PRIMA APPROSSIMAZIONE

Gli elementi presi in considerazione per la valutazione della distanza di prima approssimazione sono di seguito riepilogati:

- Moduli fotovoltaici;
- Cabine di campo e quadri MT;
- Cavidotto MT di collegamento tra cabine di campo e QMT-G;
- Cavidotto MT di collegamento tra campo e sottostazione Utente;
- Cavidotto AT di collegamento tra sottostazione Utente e SSE-EDP;
- Sottostazione Elettrica Utente;

Per quanto riguarda la DPA relativa alle cabine e ai cavidotti si esegue il calcolo utilizzando le formule previste nel DM 29/05/08 e nella guida CEI 106-11.

Nei successivi paragrafi si presenta la valutazione analitica del campo di induzione magnetica generato dagli elettrodotti ed il calcolo delle Distanze di Prima Approssimazione, basandosi 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 le linee elettriche viene fornito il calcolo della DPA in corrispondenza di tratti rettilinei come proiezione sul piano di calpestio della isosuperficie di 3 uT. Viene inoltre indicata la DPA in corrispondenza dei cambi di direzione della linea, relativamente al lato in cui il cambio di direzione forma l'angolo concavo, da considerarsi estesa cautelativamente per una lunghezza pari a 3 volte il valore della DPA della sezione rettilinea.

I valori di DPA per linee elettriche sono ottenuti arrotondando i valori al metro superiore, come richiesto dal D.M. 29/05/08.

8.1 DPA MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici e i collegamenti elettrici di questi, tramite le stringhe di raccolta, agli inverter non sono oggetto di valutazione di campi elettrici e magnetici in quanto si configurano come componenti a bassa tensione (bt) e quindi ricadenti nelle categorie di esclusione previste dal D.M. 29/05/2008.

8.2 DPA CABINE DI CAMPO E QUADRI MT

L'elemento che determina la DPA per le cabine di campo è il trasformatore MT/bt 30/0,4 kV dalla potenza nominale di 1600 kVA.

I quadri di MT presenti nel campo FV e nella Sottostazione Utente sono collegati ai trasformatori ausiliari MT/bt 30/0,4 kV dalla potenza nominale di 160 kV, questi ultimi elementi determinano la DPA per le rispettive cabine.

Il valore della distanza di prima approssimazione calcolato è da considerarsi dal filo di ogni parete esterna della cabina.

In Tabella 8.2.a sono riportati i valori calcolati.

Posizione	DPA
Cabine di campo	3,3 m
Cabine con trasformatori ausiliari	1,0 m

Tabella 8.2.a Valori DPA cabine

8.3 DPA CAVIDOTTO MT DI COLLEGAMENTO TRA CABINE DI CAMPO E QMT-G

Il cavidotto di collegamento tra le cabine di campo e il QMT-G è realizzato tramite 4 terne 3x500 mm² disposte a trifoglio con cavo di tipo RG26H1M16 18/30 kV, interrato ad una profondità di 1,2 m.

In Tabella 8.3.a si riporta la scheda di calcolo.

CARATTERISTICHE	UNITÀ	VALORE
Potenza massima che trasporterà la linea	MVA	
Profondità di interramento	m	1,2
Numero di terne		4
Disposizione terna	-	trifoglio
Numero di conduttori		12
Spaziatura orizzontale tra terne	cm	40
Tensione	kV	30
Tipologia Cavo	-	RG26H1M16 18/30 kV
Portata massima in corrente per ogni conduttore	A	630
Sezione conduttori	mm ²	500
Diametro cavo	mm	56
DPA su tratti rettilinei	m	3
DPA in corrispondenza di cambi di direzione	m	5

Tabella 8.3.a Scheda calcolo DPA cavidotto cabine di campo e QMT-G

Si riporta in Figura 8.3.a l'andamento del campo di induzione magnetica calcolato sul piano di giacenza dei conduttori, sul piano di calpestio e ad un metro di altezza dal piano di calpestio, la distanza sulle ascisse è dal punto intermedio tra le terne.

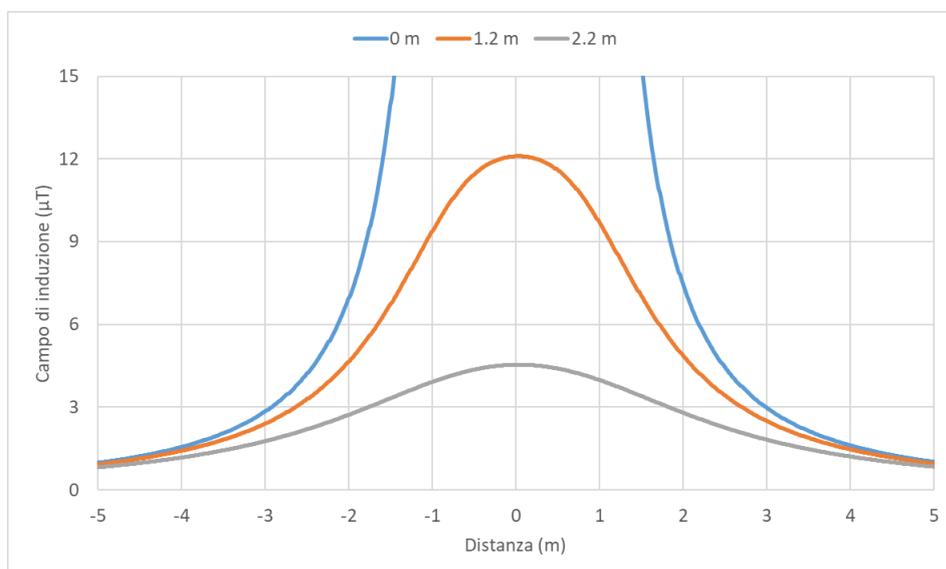


Figura 8.3.a *Andamento del campo di induzione magnetica cavidotto MT cabine di campo e QMT-G*

8.4 DPA CAVIDOTTO MT DI COLLEGAMENTO TRA CAMPO E SOTTOSTAZIONE UTENTE

Il cavidotto di collegamento tra la cabina di campo che ospita il QMT-G e il QMT nella Sottostazione Utente è realizzato tramite 2 terne 3x500 mm² disposte a trifoglio con cavo di tipo RG26H1M16 18/30 kV, interrato ad una profondità di 1,2 m.

In Tabella 8.4.a si riporta la scheda di calcolo.

CARATTERISTICHE	UNITA'	VALORE
Potenza massima che trasporterà la linea	MVA	
Profondità di interramento	m	1,2
Numero di terne	-	2
Disposizione terna	-	trifoglio
Numero di conduttori	-	6
Spaziatura orizzontale tra terne	cm	40
Tensione	kV	30
Tipologia Cavo	-	RG26H1M16 18/30 kV
Portata massima in corrente per ogni conduttore	A	630
Sezione conduttori	mm ²	500
Diametro cavo	mm	56
DPA su tratti rettilinei	m	2
DPA in corrispondenza di cambi di direzione	m	3

Tabella 8.4.a *Scheda calcolo DPA cavidotto QMT-G - QMT*

Si riporta in Figura 8.4.a l'andamento del campo di induzione magnetica calcolato sul piano di giacenza dei conduttori, sul piano di calpestio e ad un metro di altezza dal piano di calpestio, la distanza sulle ascisse è dal punto intermedio tra le terne.

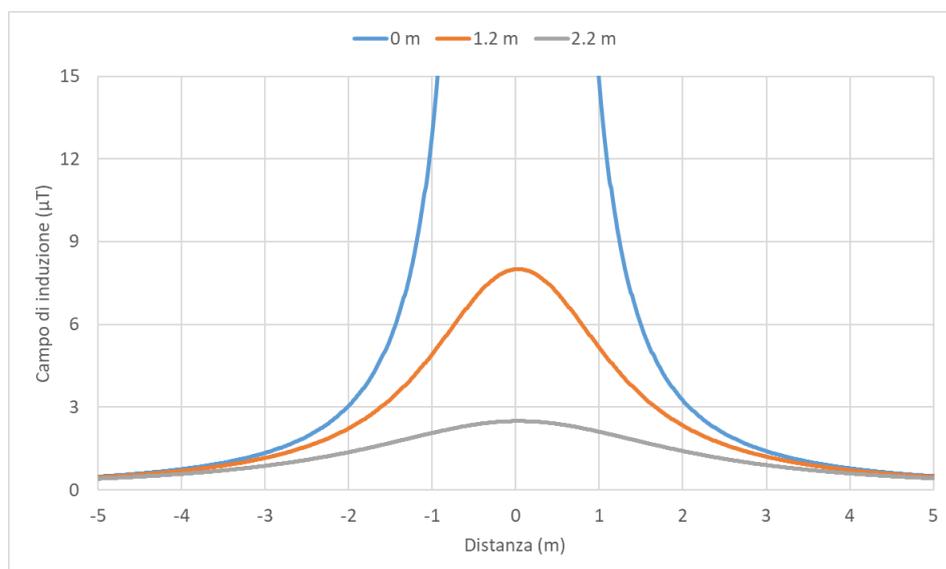


Figura 8.4.a *Andamento del campo di induzione magnetica cavidotto MT QMT-G - QMT*

8.5 DPA CAVIDOTTO AT DI COLLEGAMENTO TRA SOTTOSTAZIONE UTENTE E SSE-EDP

Il cavidotto di collegamento tra la Sottostazione Utente e la Sottostazione EDP è realizzato tramite 1 terna 3x630 mm² disposta a trifoglio con cavo di tipo A2X(F)KLD2Y 170 kV, interrato ad una profondità di 1,2 m.

In Tabella 8.5.a si riporta la scheda di calcolo.

CARATTERISTICHE	UNITA'	VALORE
Potenza massima che trasporterà la linea	MVA	
Profondità di interrimento	m	1,2
Numero di terne	-	1
Disposizione terna	-	trifoglio
Numero di conduttori	-	3
Spaziatura orizzontale tra terne	cm	-
Tensione	kV	170
Tipologia Cavo	-	A2X(F)KLD2Y 170 kV
Portata massima in corrente per ogni conduttore	A	545
Sezione conduttori	mm ²	630
Diametro cavo	mm	105
DPA su tratti rettilinei	m	2
DPA in corrispondenza di cambi di direzione	m	3

Tabella 8.5.a *Scheda calcolo DPA cavidotto SSE-U – SSE-EDP*

Si riporta in Figura 8.5.a l'andamento del campo di induzione magnetica calcolato sul piano di giacenza dei conduttori, sul piano di calpestio e ad un metro di altezza dal piano di calpestio, la distanza sulle ascisse è dal centro della terna.

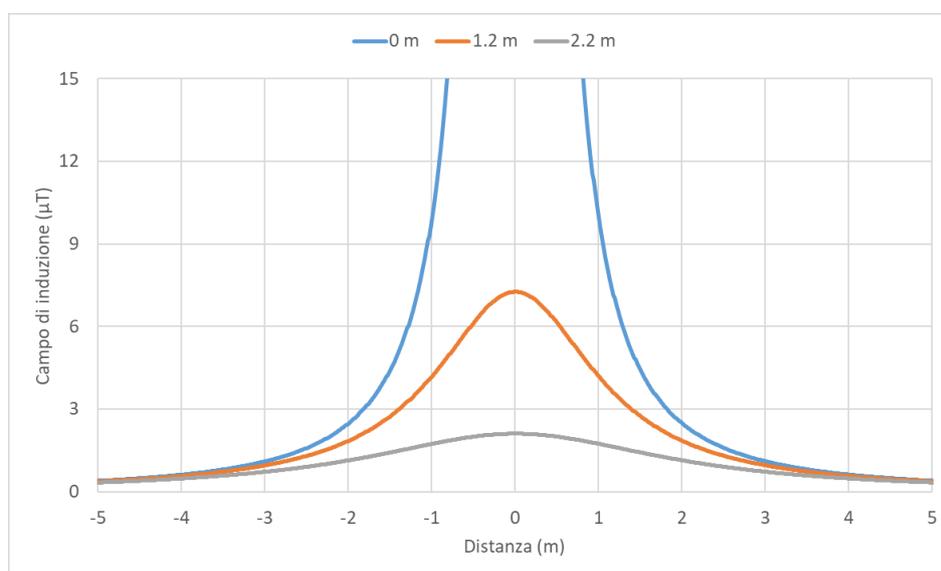


Figura 8.5.a *Andamento del campo di induzione magnetica cavidotto AT SSE-U - SSE-EDP*

8.5.1 DPA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA UTENTE

Le sorgenti di campo presenti all'interno della Sottostazione Utente sono di seguito elencate:

- Condutture in cavo interrato o in aria a tensione nominale 30 kV;
- Trasformatore AT/MT 132/30 kV;
- Sbarre AT 132 kV in aria.
- Sbarre MT 30 kV in aria

Poiché si tratta di cabine primarie isolate in aria, il D.M.29/05/08, non prevede di dover ricorrere al calcolo dei campi generati, in quanto le DPA, e quindi le fasce di rispetto, ricadono all'interno dell'area di pertinenza della stessa cabina.

Applicando le "Linee Guida per l'applicazione del p.5.1.3 dell'Allegato al DM 29-05-2008 – Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche" di ENEL Distribuzione S.p.a, si possono individuare le DPA da applicare per le sottostazioni di trasformazione analoghe a quella oggetto della presente relazione. Nell'allegato A al sopracitato documento, vengono indicate le distanze minime da garantire del centro sbarre AT e dal centro sbarre MT rispetto al perimetro dell'area della sottostazione.

Le distanze sono calcolate dal baricentro dei conduttori e quindi dalla fase centrale delle sbarre in aria. La proiezione al suolo di tale fascia di rispetto determina la distanza di prima approssimazione DPA. Tali distanze, per sistemi con caratteristiche analoghe a quelle della sottostazione in oggetto, sono indicate in tabella sottostante.

ELEMENTO	DPA
Sbarre AT	14 m
Sbarre MT	7 m

Tabella 8.5.1.a *Valori DPA sottostazione rispetto centro sbarre*

9 CONCLUSIONI

Nel presente elaborato sono stati valutati gli effetti sulla componente campi elettromagnetici potenzialmente indotti dall'impianto agrivoltaico denominato "Manciano", che la società EDPR – Energias De Portugal (di seguito anche Proponente) ha in progetto di realizzare nel Comune di Manciano, in Provincia di Grosseto (GR).

Nel documento sono illustrate le caratteristiche elettriche e meccaniche degli elementi analizzati ai fini della determinazione degli andamenti dei campi elettrici e magnetici e delle relative fasce di rispetto, con particolare riferimento al calcolo delle distanze di prima approssimazione (DPA) secondo il modello di calcolo previsto dal DM 29/05/2008.

I risultati ottenuti mostrano la piena conformità dell'impianto previsto con le caratteristiche specifiche del sito, dal momento che, a distanze inferiori a quella di prima approssimazione, non si segnalano abitazioni o fabbricati dove sia contemplata una permanenza di persone superiore alle 4 ore diurne.

La presente valutazione è stata redatta dal Dott. Luca Nencini, fisico specialista.

Autore
Dott. Luca Nencini Fisico specialista 