



REGIONE
PUGLIA

COMUNE DI SAN
GIOVANNI ROTONDO

PROVINCIA DI
FOGGIA

COMUNE DI
MANFREDONIA

COMUNE DI SAN
MARCO IN LAMIS

IMPIANTO AGRIVOLTAICO “LA FEUDALE” ED OPERE DI CONNESSIONE

RELAZIONE DI CAMPO ELETTROMAGNETICO

00	29/09/2021	PRIMA EMISSIONE	A.D.G.	P.E.	L.S.
<i>REV.</i>	<i>DATE</i>	<i>DESCRIPTION</i>	<i>PREPARED</i>	<i>VERIFIED</i>	<i>APPROVED</i>

VALIDO PER IMPIANTO AGRIVOLTAICO LA FEUDALE **PROGETTO** DEFINITIVO

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. INTRODUZIONE	3
3. TIPOLOGIA INVERTER.....	5
4. TRASFORMATORE DI POTENZA	7
5. CONVERSION UNIT (CABINA DI CAMPO).....	8
6. RIFERIMENTI NORMATIVI	11
7. COMPATIBILITA' ELETTRICITÀ	11
7.1. Campo elettromagnetico	12
7.2. Campo elettrico	14
7.3. Campo magnetico	15
7.4. Fascia di rispetto.....	15
7.4.1. Linee cavi aerei	16
7.4.2. Cavidotti per cavi in corrente continua	17
7.4.3. Calcolo Dpa	20
7.4.4. Cavidotti di media tensione.....	23
8. CONCLUSIONI	28

1. PREMESSA

L'impianto agrovoltaico denominato "LA Feudale" sarà di tipo grid-connected con allaccio trifase in alta tensione a 150kV su rete TERNA a mezzo di sottostazione elettrica elevatrice 30/150kV. Di seguito si riportano le potenze nominali dell'impianto:

- P_{dc}: 32294.08 kWp;
- P_{ac}: 29363 kW a cosφ=1.

L'impianto ha una produzione di energia pari a **51216000 kWh** al primo anno (equivalente a 1586.0 kWh/kWp).

L'energia dell'impianto complessivo è derivante da 53376 moduli che occupano una superficie fotovoltaica di 151060.27m² ed è composto da 22 gruppi di conversione.

Catastalmente le opere sono di seguito localizzate:

- Aree di Impianto: Comune di Manfredonia, foglio 64 particelle 108, 74, 106, 73, 80 e 91 foglio 65 particelle 54, 51, 180 e 48;
- Aree di Impianto: Comune di San Giovanni Rotondo, foglio 149 particelle 34, 35.

Le aree risultano essere nella disponibilità di Luminora La feudale s.r.l. e localizzabili con le seguenti coordinate baricentriche nel sistema di riferimento UTM – WGS84 33N:

- Impianto agrovoltaico: latitudine 566159.96 e longitudine 4600422.53;
- Sottostazione: latitudine 557309.18 e longitudine 4602711.04.

2. INTRODUZIONE

L'impianto agrovoltaico insiste su n° 9 aree denominate Area A1.1, A1.2, A2, A3.1, A3.2, A4.1, A4.2, A5.1 e A5.2. Ogni area è dotata di un numero intero di Conversion Unit (CU), per cui non si prevede che parte dell'energia elettrica in DC venga prodotta in un'area e convertita in energia elettrica AC in un'altra area. Tale scelta consente di contenere le cadute di tensione, le perdite per dissipazione oltre che razionalizzare l'impiego di cavi elettrici.

Ogni generatore fotovoltaico è responsabile della conversione dell'energia radiante solare in energia elettrica (in corrente continua) con moduli fotovoltaici in silicio monocristallino monofacciale da 120 (6x20) celle e potenza 605Wp. Le stringhe sono costituite da 32 moduli ed ogni stringa è posizionata su strutture tracker; le strutture denominate 2x32 moduli supportano due stringhe, mentre la struttura denominata 2x16 supporta una stringa

Il parallelo di stringhe è realizzato in appositi quadri di parallelo stringa, detti string box (SB), ogni string box è connesso ad un numero di stringhe collocate su un numero intero di tracker.

L'energia prodotta dalla singola stringa è in corrente continua, a tensione inferiore a 1500V (bt) e corrente non superiore a 17.49A, ed è trasportata a mezzo di cavi aerei ancorati ai tracker e/o cavidotti agli String Box di riferimento. Ogni String Box è caricato con al più 20 stringhe fotovoltaiche ed è connesso all'inverter di riferimento a mezzo di cavidotto in corrente continua, a tensione inferiore a 1500V (bt).

Il parallelo degli string box (SB) è realizzato in appositi quadri di parallelo dc presenti negli inverter, detti combiner box (QPPI).

Nell'area complessiva dell'impianto sono presenti come principali componenti all'aperto:

- N. 53376 moduli fotovoltaici ;
- N. 783 strutture tracker 2x32 moduli;
- N. 102 strutture tracker 2x16 moduli;
- N. 1668 stringhe da 32 moduli;
- N.100 string box denominati SB X.Y.Z.W;
- N.22 Conversion Unit;

Le aree A4.1, A4.2. A5.1 e A5.2 hanno un totale di 6 CU connesse tra loro in modalità entra-esci in un unico raggruppamento (cluster 1), dalla CU 17 l'energia elettrica con livello di tensione 30kV è inviata alla sottostazione 150/30kV (Step-up station).

Le aree A2, A3.1 e A3.2 hanno un totale di 6 CU connesse tra loro in modalità entra-esci in un unico raggruppamento (cluster 2), dalla CU 11 l'energia elettrica con livello di tensione 30kV è inviata alla sottostazione 150/30kV (Step-up station).

Le aree A1.1 e A1.2 hanno un totale di 10 CU connesse tra loro in modalità entra-esci in un unico raggruppamento (cluster 3), dalla CU 1 l'energia elettrica con livello di tensione 30kV è inviata alla sottostazione 150/30kV (Step-up station).

Di seguito si sintetizza in forma tabellare quanto precedentemente descritto.

Pv Plant	Line	From	To
CLUSTER 1	Line 22-21	CU 22	CU 21
	Line 21-20	CU 21	CU 20
	Line 20-19	CU 20	CU 19
	Line 19-18	CU 19	CU 18
	Line 18-17	CU 18	CU 17
	Line 17-SSE	CU 17	SSE
CLUSTER 2	Line 16-15	CU 16	CU 15
	Line 15-14	CU 15	CU 14
	Line 14-13	CU 14	CU 13
	Line 13,12	CU 13	CU 12
	Line 12-11	CU 12	CU 11
	Line 11-SSE	CU 11	SSE
CLUSTER 3	Line 6-7	CU 6	CU 7
	Line 7-8	CU 7	CU 8
	Line 8-5	CU 8	CU 5
	Line 5-4	CU 5	CU 4
	Line 4-2	CU 4	CU 3
	Line 4-2	CU 3	CU 2
	Line 2-10	CU 2	CU 10
	Line 10-9	CU 10	CU 9
	Line 9-1	CU 9	CU 1
	Line 1-SSE	CU 1	SSE

3. TIPOLOGIA INVERTER

L'inverter ha il compito di trasformare la corrente continua proveniente dai moduli fotovoltaici in corrente alternata da immettere in rete. Gli inverter sono da interno e collocati in apposite cabine di campo (Conversion Unit, CU) e nell'ambito della progettazione si sono utilizzate le seguenti tipologie di CU e di inverter:

- N.7 CU tipo xxx STATION 2000 1500V – 640LS ognuna con l’inverter potenza 1995kVA tipo xxx TG1800 1500V TE- 640 STD;
- N.8 CU tipo xxx STATION 1500 1500V – 640LS ognuna con l’inverter potenza 1500kVA tipo xxx TG1800 1500V TE- 640 STD.
- N.1 CU tipo xxx STATION 1000 1500V – 640LS ognuna con l’inverter potenza 998kVA tipo xxx TG1800 1500V TE- 640 STD.
- *N.3 CU tipo xxx STATION 500 1500V – 640LS ognuna con l’inverter potenza 500kVA tipo xxx TG1800 1500V TE- 640 STD.*
- N.3 CU tipo xxx STATION 300 1500V – 640LS ognuna con l’inverter potenza 300kVA tipo xxx TG1800 1500V TE- 640 STD.

Di seguito si riporta il legame tra le CU e la taglia degli inverter d’impianto.

CU 1	Inverter	500kVA
CU 2	Inverter	1995kVA
CU 3	Inverter	1500kVA
CU 4	Inverter	998kVA
CU 5	Inverter	1995kVA
CU 6	Inverter	1995kVA
CU 7	Inverter	1995kVA
CU 8	Inverter	1995kVA
CU 9	Inverter	1995kVA
CU 10	Inverter	300kVA
CU 11	Inverter	300kVA
CU 12	Inverter	1500kVA
CU 13	Inverter	1500kVA
CU 14	Inverter	500kVA
CU 15	Inverter	500kVA
CU 16	Inverter	1500kVA
CU 17	Inverter	1500kVA
CU 18	Inverter	300kVA
CU 19	Inverter	1500kVA
CU 20	Inverter	1500kVA
CU 21	Inverter	1500kVA
CU 22	Inverter	1995kVA

I modelli scelti nella progettazione sono idonei al trasferimento della potenza dal campo fotovoltaico alla rete del distributore, in conformità ai requisiti normativi tecnici (in particolare alla CEI 0-16) e di sicurezza applicabili. I valori della tensione e della corrente di ingresso di questa apparecchiatura sono compatibili con quelli del rispettivo campo fotovoltaico, mentre i valori della tensione e della frequenza in uscita sono compatibili con quelli della rete alla quale verrà connesso l'impianto.

Le caratteristiche principali dell'inverter sono:

- inverter a commutazione forzata con tecnica PWM (pulse-width modulation), senza clock e/o riferimenti interni di tensione o di corrente, assimilabile a "sistema non idoneo a sostenere la tensione e frequenza nel campo normale", in conformità a quanto prescritto per i sistemi di produzione dalla norma CEI 11-20 e dotato di funzione MPPT (inseguimento della massima potenza);
- ingresso lato DC dal generatore fotovoltaico gestibile anche con poli non connessi a terra, ovvero con sistema IT;
- rispondenza alle norme generali su EMC e limitazione delle emissioni RF: conformità norme CEI 110-1, CEI 110-6, CEI 110-8;
 - conformità marchio CE;
 - conformità alla CEI 0-16;
 - grado di protezione IP20;
 - dichiarazione di conformità del prodotto alle normative tecniche applicabili, rilasciato dal costruttore, con riferimento a prove di tipo effettuate sul componente presso un organismo di certificazione abilitato e riconosciuto;
- campo di tensione di ingresso adeguato alla tensione di uscita del generatore FV;
- rendimento europeo 98.4%.

4. TRASFORMATORE DI POTENZA

Il trasformatore di potenza sarà idoneo all'installazione da interno, ogni CU avrà un trasformatore di potenza in resina.

Le tipologie di trasformatori in uso nell'impianto fotovoltaico sono:

- S=2000kVA; 30/0.64/0.64kV; Dy11y11; Vcc=6%; f=50 Hz;
- S=1500kVA; 30/0.64/0.64kV; Dy11y11; Vcc=6%; f=50 Hz;
- S=1000kVA; 30/0.64/0.64kV; Dy11y11; Vcc=6%; f=50 Hz;
- S=500kVA; 30/0.64/0.64kV; Dy11y11; Vcc=6%; f=50 Hz;
- S=300kVA; 30/0.64/0.64kV; Dy11y11; Vcc=6%; f=50 Hz;

I trasformatori dovranno essere a marchio CE e conformi alla Direttiva Eco design 2009/125/EC, le taglie dei trasformatori soddisfano I requisiti della CEI 0-16.

Di seguito si riporta il legame tra le CU e la taglia dei trasformatori d'impianto.

CU 1	Trasformatore	500kVA
CU 2	Trasformatore	2000kVA
CU 3	Trasformatore	1500kVA
CU 4	Trasformatore	1000kVA
CU 5	Trasformatore	2000kVA
CU 6	Trasformatore	2000kVA
CU 7	Trasformatore	2000kVA
CU 8	Trasformatore	2000kVA
CU 9	Trasformatore	2000kVA
CU 10	Trasformatore	300kVA
CU 11	Trasformatore	300kVA
CU 12	Trasformatore	1500kVA
CU 13	Trasformatore	1500kVA
CU 14	Trasformatore	500kVA
CU 15	Trasformatore	500kVA
CU 16	Trasformatore	1500kVA
CU 17	Trasformatore	1500kVA
CU 18	Trasformatore	300kVA
CU 19	Trasformatore	1500kVA
CU 20	Trasformatore	1500kVA
CU 21	Trasformatore	1500kVA
CU 22	Trasformatore	2000kVA

5. CONVERSION UNIT (CABINA DI CAMPO)

L'impianto fotovoltaico è composto da 22 Conversion Unit.

Ogni Cabina di campo si compone di:

- Locale inverter contenente i, quadri bt, il trasformatore dei servizi ausiliari e i servizi ausiliari;
- Locale Trasformatore contiene un trasformatore di potenza;

- Locale quadri MT contenente i quadri MT.

Le cabine CU2, 5, 6, 7, 8, 9, 22 da 1995 kW, di dimensioni 8,25m x 2,40m accolgono al loro interno:

- Locale inverter contenente i quadri bt, il trasformatore dei servizi ausiliari e i servizi ausiliari;
- Locale Trasformatore contenente un trasformatore di potenza;
- Locale quadri MT contenente i quadri MT.

Le cabine CU12, 13, 16, 17, 19, 20, 21 da 1500 kW, di dimensioni 8.25m x 2,40m accolgono al loro interno:

- Locale inverter contenente i quadri bt, il trasformatore dei servizi ausiliari e i servizi ausiliari;
- Locale Trasformatore contenente un trasformatore di potenza;
- Locale quadri MT contenente i quadri MT.

La cabina CU4 da 998 kW, di dimensioni 6,50m x 2,40m accolgono al loro interno:

- Locale inverter contenente i quadri bt, il trasformatore dei servizi ausiliari e i servizi ausiliari;
- Locale Trasformatore contenente un trasformatore di potenza;
- Locale quadri MT contenente i quadri MT.

Le cabine CU1, 3, 14, 15 da 500 kW, di dimensioni 6,50m x 2,40m accolgono al loro interno:

- Locale inverter contenente i quadri bt, il trasformatore dei servizi ausiliari e i servizi ausiliari;
- Locale Trasformatore contenente un trasformatore di potenza;
- Locale quadri MT contenente i quadri MT.

Le cabine CU10, 11, 18 da 300 kW, di dimensioni 6,50m x 2,40m accolgono al loro interno:

- Locale inverter contenente i quadri bt, il trasformatore dei servizi ausiliari e i servizi ausiliari;
- Locale Trasformatore contenente un trasformatore di potenza;
- Locale quadri MT contenente i quadri MT.

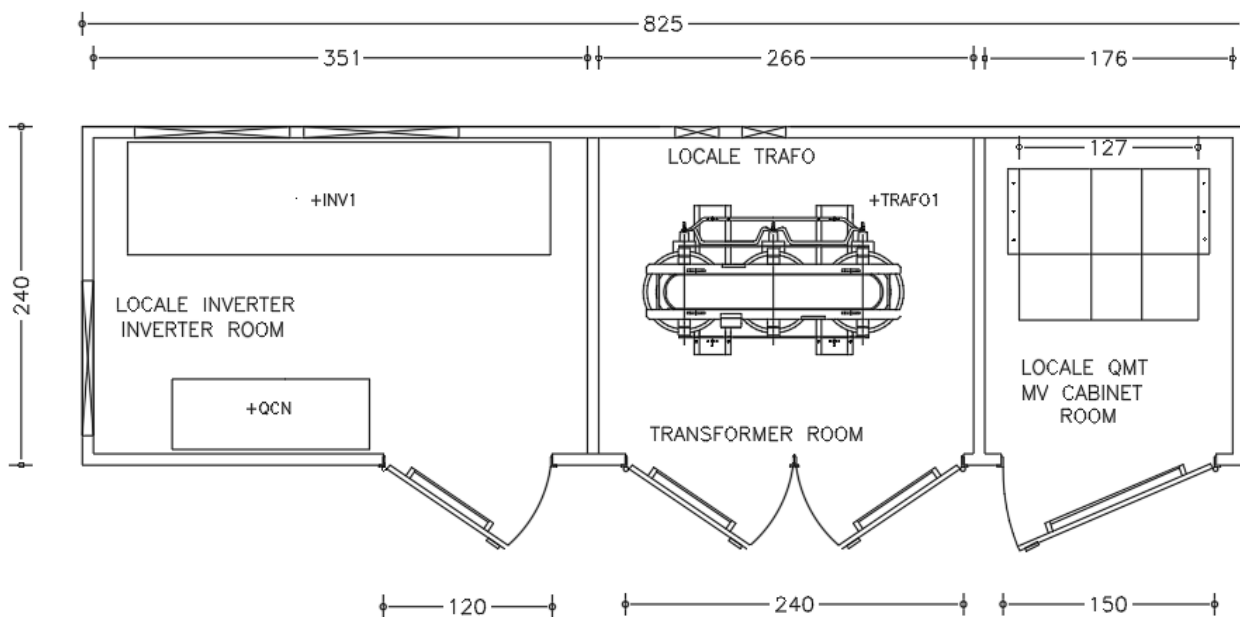


Figura 1: Pianta cabine di campo da 1995kW e 1500kW

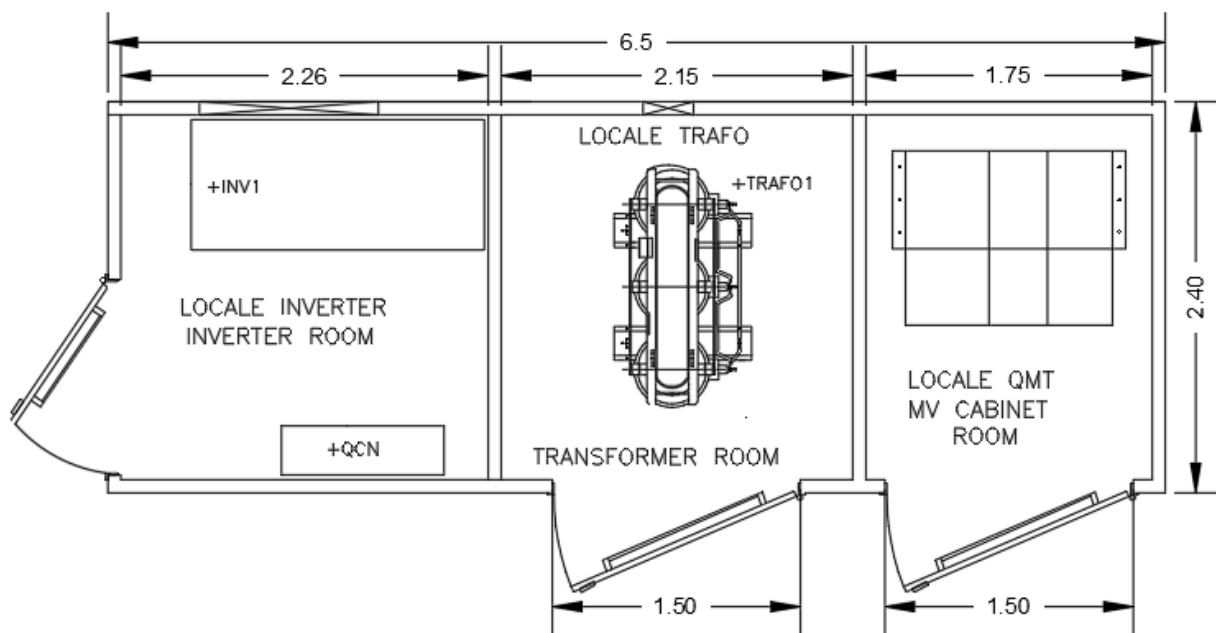


Figura 2: Pianta cabine di campo da 998kW, 500kW e 300kW

All'interno delle cabine sono inoltre presenti:

- sistema di misura fiscale di produzione con contatore
- SCADA di CU;
- sistema di illuminazione di Cabina, sistema antincendio, sistema allarme e antintrusione;
- eventuali sistemi ausiliari dell'Area d'impianto;
- quadri MT, quadri bt, trasformatore dei servizi ausiliari e sistemi di protezione e manovra;

- UPS.

Il costruttore delle cabine è tenuto a rilasciare la dichiarazione di rispondenza dei locali alla CEI EN 61936 (CEI 99-2) oltre che idoneo manuale tecnico composto da:

- relazione tecnica del fabbricato
- disegni esecutivi del locale
- schema di impianto e della messa a terra.

La Cabina è dotata di basamento con funzione di vano cavi, l'ingresso e/o l'uscita di cavi avviene per mezzo di idonee flange atte ad impedire l'infiltrazione di acqua e/o l'ingresso di animali e pulsante di sgancio tensione.

6. 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
- EMC 2014/30/UE
- [Guida non vincolante di buone prassi per l'attuazione della direttiva 2013/35/UE relativa ai campi elettromagnetici. Volume 2: Studi di casi](#), Commissione Europea
- DL 179/2012
- 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 a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz"
- CEI 211-7 (Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana)

7. COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA

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 $10 \mu\text{T}$, 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 $3 \mu\text{T}$ per il valore dell’induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Lo stesso DPCM, all’art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all’obiettivo di qualità ($B=3\mu\text{T}$) di cui all’art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale. L’allegato al Decreto 29 maggio 2008 (Metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti) definisce quale fascia di rispetto lo spazio circostante l’elettrodotto, che comprende tutti i punti al di sopra e al di sotto del livello del suolo, caratterizzati da un’induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all’obiettivo di qualità.

Ai fini del calcolo della fascia di rispetto si omettono verifiche del campo elettrico, in quanto nella pratica questo determinerebbe una fascia (basata sul limite di esposizione, nonché valore di attenzione pari a 5kV/m) che è sempre inferiore a quella fornita dal calcolo dell’induzione magnetica. Pertanto, obiettivo dei paragrafi successivi sarà quello di calcolare le fasce di rispetto dagli elettrodotti del progetto in esame, facendo riferimento alla normativa vigente ed in particolare al limite di qualità di $3 \mu\text{T}$.

7.1. 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 campi vettoriali: il campo elettrico, il campo magnetico. 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, 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 elettromagnetismo è descritto dall'insieme delle 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, campi generate dell'impianto fotovoltaico a 50Hz, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi anche senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50Hz. In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici. Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz, costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz. A seguire si riporta la tabella di sintesi dello spettro elettromagnetico.

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

7.2. Campo elettrico

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano; l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico, e in particolare all'interno degli edifici, si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno. Nel caso in oggetto, i cavi di stringa in linee aeree, sono dotati di doppio isolamento ed interessati da deboli correnti. L'andamento e il valore massimo delle intensità dei campi dipenderanno significativamente dalla disposizione dei conduttori, infatti ad esempio l'avvicinamento di conduttori in corrente continua attraversati da correnti di segno differente determinano una riduzione del campo elettrico al crescere della distanza da essi. In generale l'intensità del campo elettrico è inversamente proporzionale dalla sorgente di cariche. Nell'ambito della bassa tensione sia in corrente continua che in corrente alternata: gli strati di isolamento dei cavi, la disposizione dei cavi e la loro modalità di posa, attenuano considerevolmente il campo elettrico. Inoltre nell'ambito della media tensione in corrente alternata, in aggiunta ai punti precedenti, il campo elettrico risulta ulteriormente ridotto per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo MT ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata.

I precedenti accorgimenti, consentono il rispetto della normativa, in particolare per i condotti MT realizzati con cavi MT schermati aventi struttura elicoidale ed interrati ad un metro di profondità, per la frequenza di 50 Hz, risultano attraverso prove sperimentali praticamente nulli.

E' da precisare che il campo elettrico generato dall'impianto fotovoltaico è anche dipendente dal funzionamento dell'impianto stesso ovvero dalle ore di produzione, ragion per cui in corrispondenza dei moduli fotovoltaici è estremamente variabile nell'arco della giornata.

7.3. Campo magnetico

L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende dall'intensità della corrente circolante nel conduttore, con andamento inversamente proporzionale alla distanza dalla linea. È da precisare che il campo magnetico generato dall'impianto fotovoltaico è strettamente connesso alle ore di produzione, ragion per cui è estremamente variabile nell'arco della giornata e dei mesi di produzione dell'impianto.

Il campo magnetico non subisce significative modifiche da parte di materiali diamagnetici e paramagnetici, per cui non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea. All'interno di eventuali edifici privi di schermatura magnetica si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno.

Il campo magnetico subisce significative modifiche da parte di materiali ferromagnetici (ferro, nichel, cobalto, alcuni metalli di transizione e loro leghe).

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 nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo.

Alcuni metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico per cavidotti possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro con disposizione piana o con disposizione triangolare (ad elica). In tal caso per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, la compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi conduce ad una rapida attenuazione del campo magnetico.

7.4. Fascia di rispetto

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

- Linee cavi aerei di stringa ancorati ai tracker (in bassa tensione);
- Cavidotti per i cavi in corrente continua tra String Box e Inverter;
- Cabine di Campo;

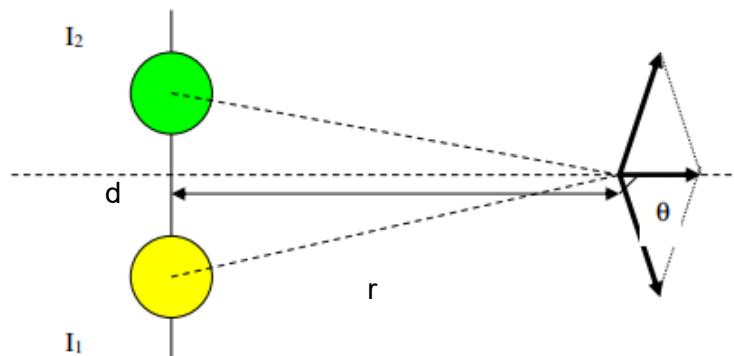
- Cavidotti in media tensione (30kV).

7.4.1. Linee cavi aerei

I cavi aerei in questione sono i cavi di stringa ancorati alla struttura del tracker, interessati da correnti non superiori a 17.49A ciascuno.

Applicando la legge di Biot e Savart per un cavo di stringa percorso da corrente massima 17.49 A, considerando il caso un modello monodimensionale, la relazione di riferimento è:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{\hat{\mathbf{I}} \times \hat{\mathbf{r}}}{|\mathbf{r}|}$$



con:

$I_1=17.49$ A, $I_2=-17.49$ A e I il valore assoluto della corrente

$\mu_0=4 \pi 10^{-7}$ μ T

$d=5$ mm (distanza tra i due conduttori corrispondente al solo spessore dei dielettrici)

Alla distanza di 2m dal centro della struttura, ovvero sul bordo del modulo fotovoltaico, il campo magnetico nella condizione di massima corrente di stringa è pari a $3.498 \cdot 10 \mu$ T mentre alla distanza di 3m, ovvero nella posizione in cui un operatore potrebbe trovarsi, il campo è pari a $1.116 \cdot 10 \mu$ T. Valore inferiore sia all'obiettivo di qualità 3μ T che al limite di legge 100μ T.

Nel caso di più cavi fascettati di diversa polarità, si può asserire che il campo magnetico totale è sempre inferiore a sia inferiore sia all'obiettivo di qualità 3μ T che al limite di legge 100μ T.

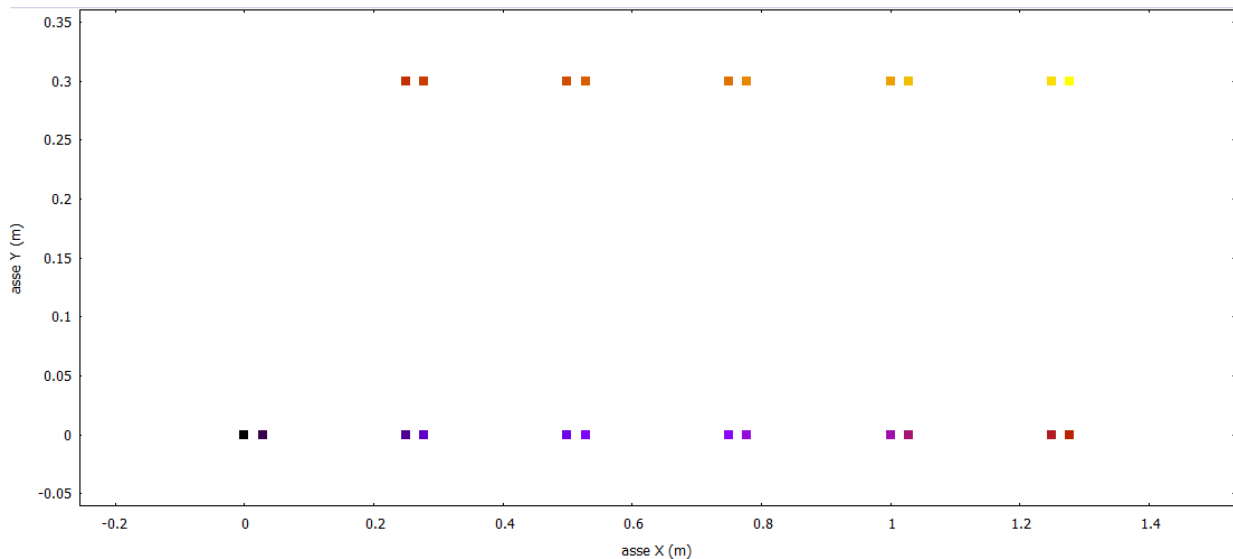
Il campo magnetico prodotto da questi cavi interessati dalla massima corrente (questo accade nelle ore dell'anno ad irraggiamento massimo), è abbondantemente entro i limiti di norma e nella maggior parte dei casi entro la soglia di qualità di 3μ T. Considerando la prossimità di cavi di diversa polarità fascettati sotto la struttura monoassiale, l'effetto risultante è un campo magnetico B che tende a zero già in prossimità dei cavi

7.4.2. Cavidotti per cavi in corrente continua

I cavidotti per cavi in corrente continua tra ogni String Box e la conversion unit (CU), prevedono la posa affiancata di cavi di polarità positiva e negativa con profondità di posa di almeno 80cm.

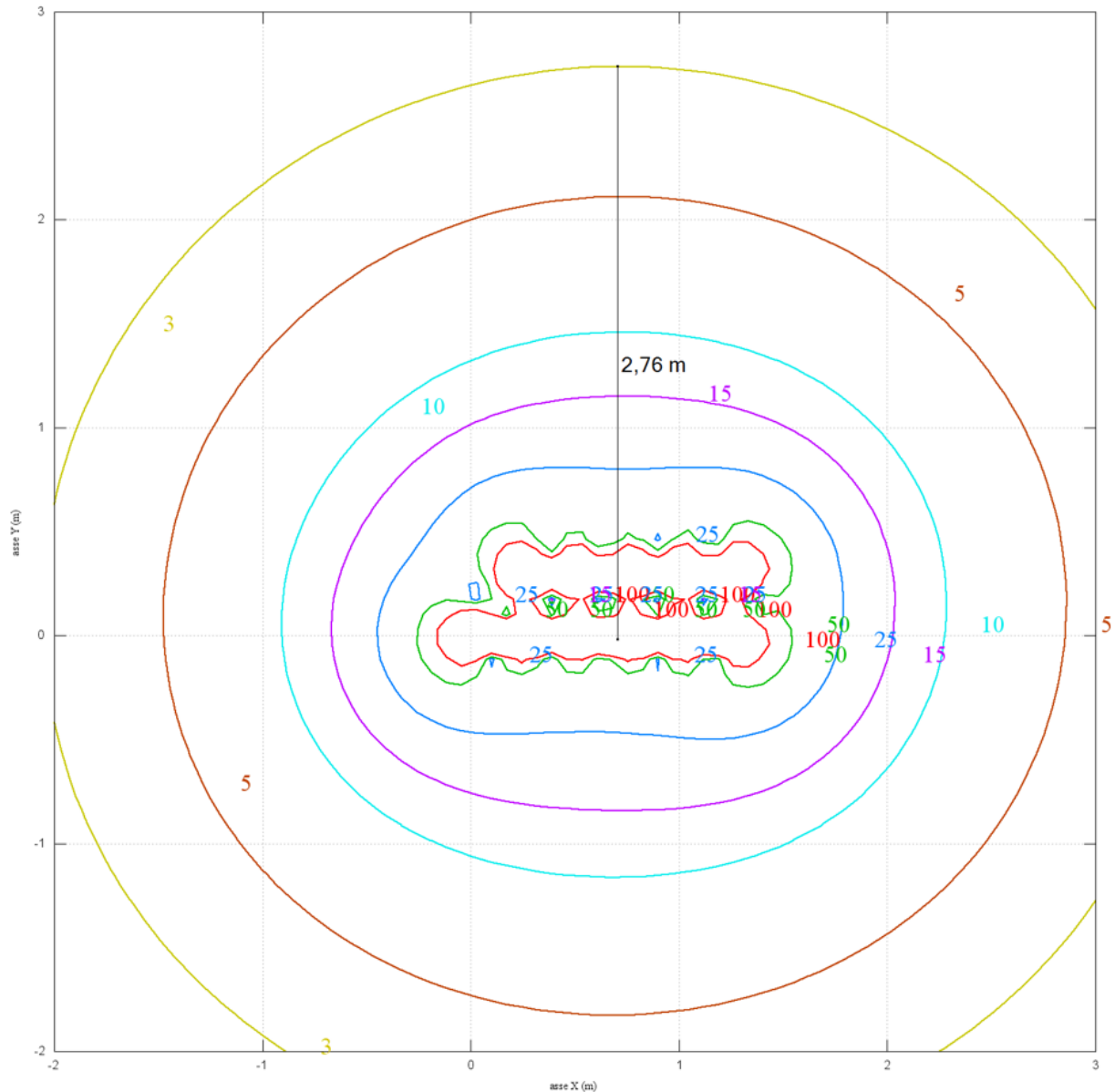
La condizione peggiore, oggetto della seguente analisi è per i cavi DC di polarità positiva e negativa, affiancati del tipo ARG7OR 0.6/1kV interessati da corrente di circa 349.8 A nella condizione di funzionamento ottimale dell'impianto fotovoltaico. Il cavidotto, nel caso peggiore, avrà coppie, disposti a distanza di 30 cm trasversali. I cavi saranno disposti su due file-

Come descritto, di seguito si rappresenta la sezione di cavidotto DC più impattante, oggetto dello studio del campo magnetico B.



Si analizzano i valori di campo magnetico B, per i due cavi affiancati (positivo e negativo precedentemente descritti) lungo una verticale al cavo di polarità positiva interessato da una corrente pari a 349.8 A.

Di seguito si riportano le curve di isolivello.



Come si evince dalle curve sopra, il livello di qualità di 3 μT si trova ad un'altezza pari a 2.79cm dai conduttori. Pertanto, il valore di qualità risulta essere ad una quota di 1.66m dal terreno (considerando la profondità di posa pari a 1.1m dalla quota di campo).

Il valore puntuale a distanza di 1.1m dalla minima profondità di posa risulta essere pari a 16.05 μT . In conclusione, ne l'obiettivo di qualità ne il limite di attenzione vengono rispettate ma di seguito si riporta il DPCM 08/07/2003 che cita:

“- 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 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

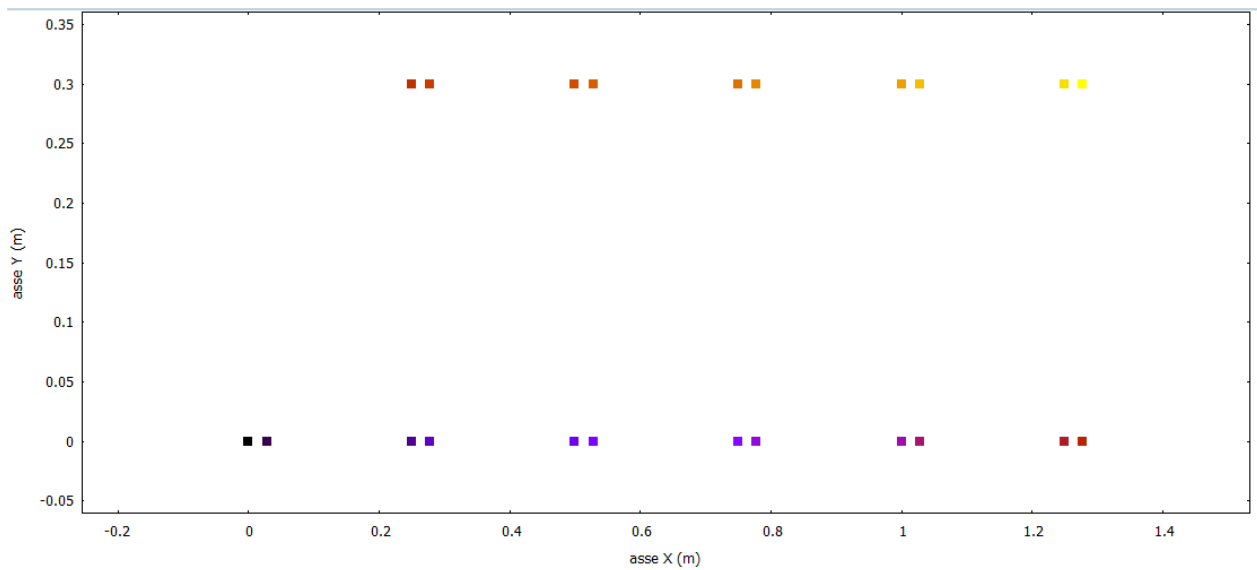
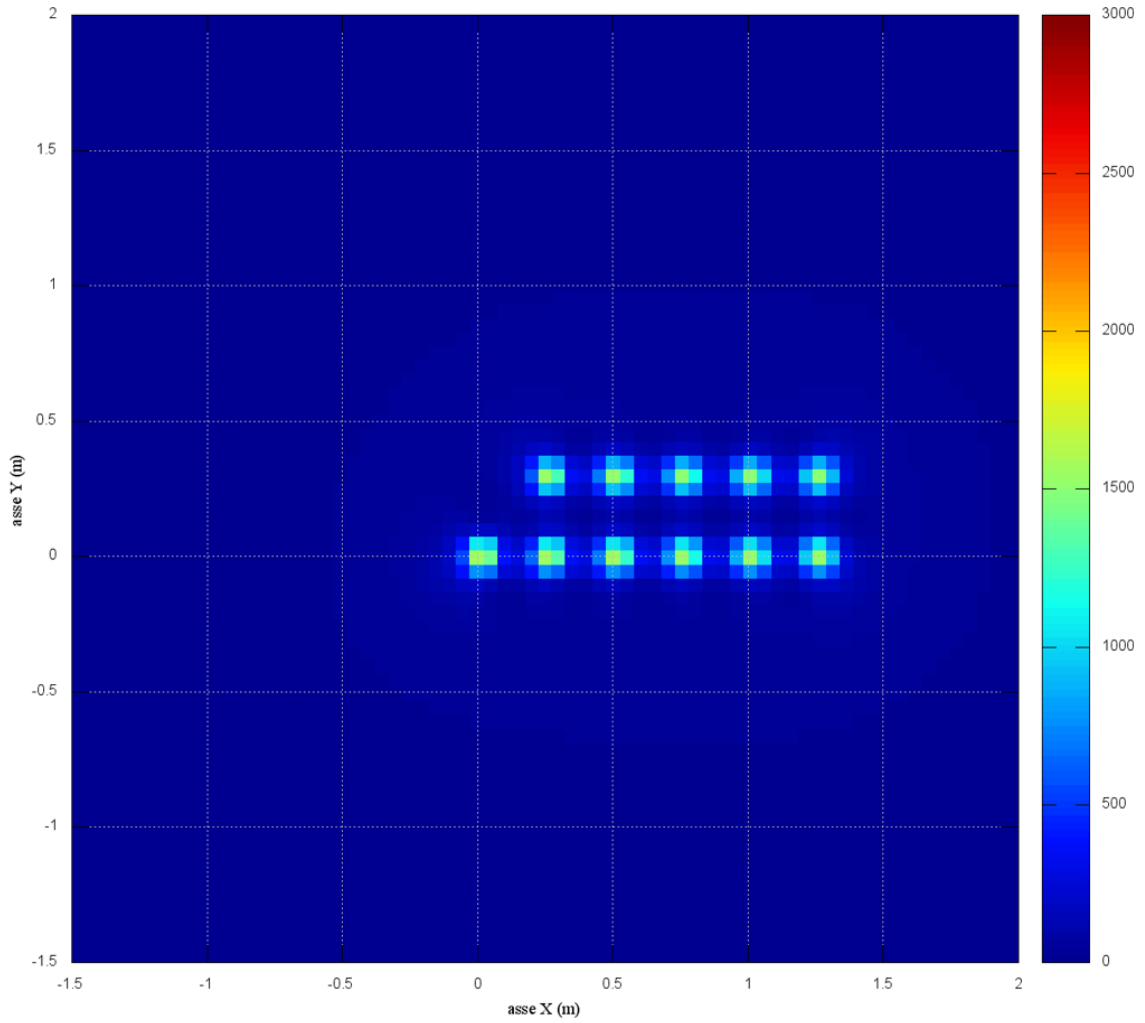
– All’art.3 comma 2: a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l’esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l’infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l’induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μ T, da intendersi come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

– Art.4 comma 1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l’infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell’esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l’obiettivo di qualità di 3 μ T per il valore dell’induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio. Lo stesso DPCM, all’art 6, fissa i parametri per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per le quali si dovrà fare riferimento all’obiettivo di qualità ($B=3\mu T$) di cui all’art. 4 sopra richiamato ed alla portata della corrente in servizio normale.”

E’ importante sottolineare che, non ricadendo nelle restrizioni di cui agli art. 3 comma 2 ed art. 4 comma 1 del sopra citato DPCM, la regola generale da seguire è quella descritta nell’articolo 3 comma 1, che impone un valore di campo magnetico a 50Hz inferiore a 100 μ T. In particolare, non si sta progettando un nuovo cavo in ambienti quali: “aree gioco per l’infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore”.

Come precedentemente descritto, il valore di induzione magnetica al livello del terreno risulta pari a 16.05 μ T, pertanto il limite di legge risulta essere rispettato.

A seguire, altri grafici dalle simulazioni effettuate.



7.4.3. Calcolo Dpa

Tutte le Cabine di Campo saranno realizzate in CAV, ed in particolare considerando la 'Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08' si è utilizzata la seguente formula approssimata come di seguito illustrato.

Nel caso di **cabine elettriche**, ai sensi del § 5.2 dell'allegato al Decreto 29 maggio 2008 (GU n. 156 del 5 luglio 2008), la fascia di rispetto deve essere calcolata come segue:

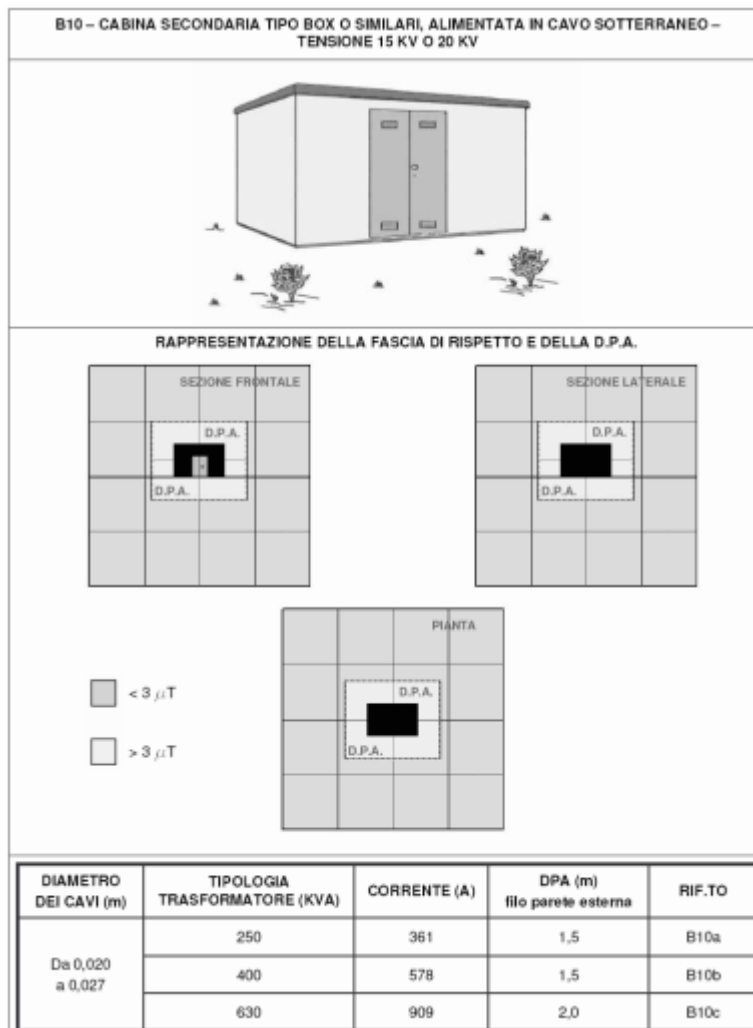
1. Cabine Primarie, generalmente la DPA rientra nel perimetro dell'impianto (§ 5.2.2) in quanto non vi sono livelli di emissione sensibili oltre detto perimetro.
2. Cabine Secondarie, nel caso di cabine di tipo box (con dimensioni mediamente di 4 m x 2.4 m, altezze di 2.4 m e 2.7 m ed unico trasformatore) o similari, la DPA, intesa come distanza da ciascuna delle pareti (tetto, pavimento e pareti laterali) della CS, 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:

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

Per Cabine Secondarie differenti dallo standard "box" o similare sarà previsto il calcolo puntuale, da applicarsi caso per caso.

Per Cabine Secondarie di sola consegna MT la Dpa da considerare è quella della linea MT entrante/uscente; qualora sia presente anche un trasformatore e la cabina sia assimilabile ad una "box", la Dpa va calcolata con la formula di cui sopra (§ 5.2.1. del DM 29.05.08).

Nel caso di più cavi per ciascuna fase in uscita dal trasformatore va considerato il cavo unipolare di diametro maggiore.



Nel caso in esame, considerando che i trasformatori hanno doppio secondario con raddoppio di cavi Cu 400mm² su ogni fase secondaria, si può approssimare quanto descritto con un raddoppio di cavo per fase da 630mm² per un trasformatore di ugual potenza ma con un solo secondario, di seguito i DPA ottenuti.

Potenza trasformatore [kVA]	Tensione di rete BT [V]	Diametro reale del cavo BT x [m]	Dpa [m]
2000	640	0,07	0.72
1500	640	0,07	0.67
1000	640	0.056	0.61
500	640	0.056	0.53
300	640	0.056	0.28

7.4.4. Cavidotti di media tensione

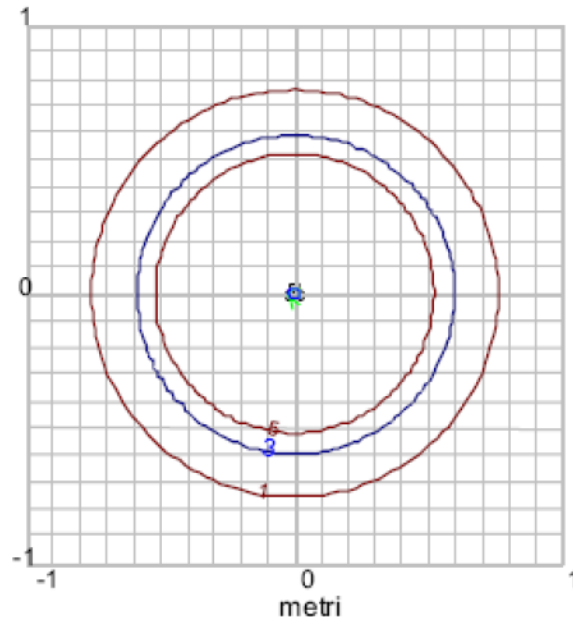
Ai sensi del Decreto 29 maggio 2008 e con specifico riferimento all'allegato "metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti", sono escluse dalla valutazione delle Distanze di Prima Approssimazione (D.P.A.) e delle Fasce di Rispetto, le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree) in quanto le fasce di rispetto hanno ampiezza ridotta, inferiori alle distanze previste dai D.M. 449/1988 e 16/01/1991.

I cavidotti in media tensione a 30kV internamente all'area di impianto prevedono la posa di cavi trifase con struttura ad elica a profondità di almeno 1,20 m.

Relativamente alle linee MT a 30 kV esterne alle aree d'impianto, sono previsti cavi del tipo ARE4H5E 18/30kV con posa a trifoglio, in corrugato alla profondità di almeno 1.20 m dal piano di rotolamento ed aventi le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche di costruzione	
Materiale del conduttore	Alluminio
Tipo di conduttore	Corda di alluminio rotonda compatta CEI EN 60228 classe 2
Isolamento	Polietilene reticolato XLPE tipo DX8
Schermo	Nastro di alluminio longitudinale
Guaina esterna	Polietilene
Colore guaina esterna	Rosso

La tipologia di posa adottata conduce ad un impatto elettromagnetico praticamente nullo già a livello del suolo.



Curve di equi-livello per il campo magnetico di una linea
MT interrata in cavo elicordato (dalla Norma CEI 106-11)

Considerando la CEI 106-11, le fasce di rispetto sono immediatamente soddisfatte. In particolare si riporta un estratto della suddetta norma:

7.1.1 Fasce di rispetto per linee MT e BT in cavo cordato ad elica sotterraneo

Le linee in cavo sotterraneo sia di media che di bassa tensione sono posate ad una profondità di circa 80 cm per cui, in base alle valutazioni riportate nelle Figure 19 a) e 14 a), già a livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a $3 \mu\text{T}$. Ciò significa che per questa tipologia di impianti non è necessario stabilire una fascia di rispetto in quanto l'obiettivo di qualità è rispettato ovunque.

7.1.2 Fasce di rispetto per linee MT e BT in cavo cordato ad elica aereo

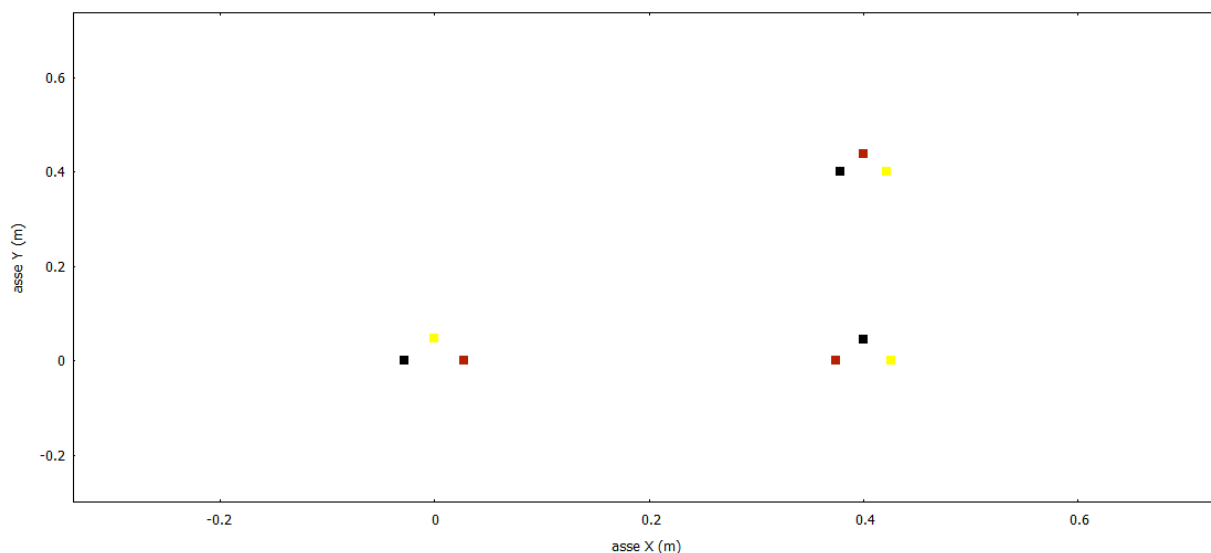
Le linee in cavo aereo sia di media che di bassa tensione sono posate su pali in modo tale da garantire anche nelle condizioni di massima freccia un franco minimo sul suolo non inferiore a 5,0 m (art. 2.1.05 DM 16.1.1991). Ne consegue che, in virtù delle valutazioni riportate nelle Figure 18 b) e 19 b), l'intera area sottostante la linea aerea in cavo precordato è in pratica sempre interessata da valori di induzione magnetica inferiori a $3 \mu\text{T}$, salvo nelle immediate vicinanze del cavo (0,4 – 0,5 m).

Nel caso di cavi aerei BT per allacciamento clienti (tipo $4 \times 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}/60 \text{ A}$ e $2 \times 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}/65 \text{ A}$), che in certi casi sono posati direttamente sulle pareti degli edifici (art. 2.1.08 DM 16.1.1991), essi presentano una distribuzione di induzione magnetica che già a 12 cm dall'asse del cavo stesso assume dei valori inferiori a $3 \mu\text{T}$.

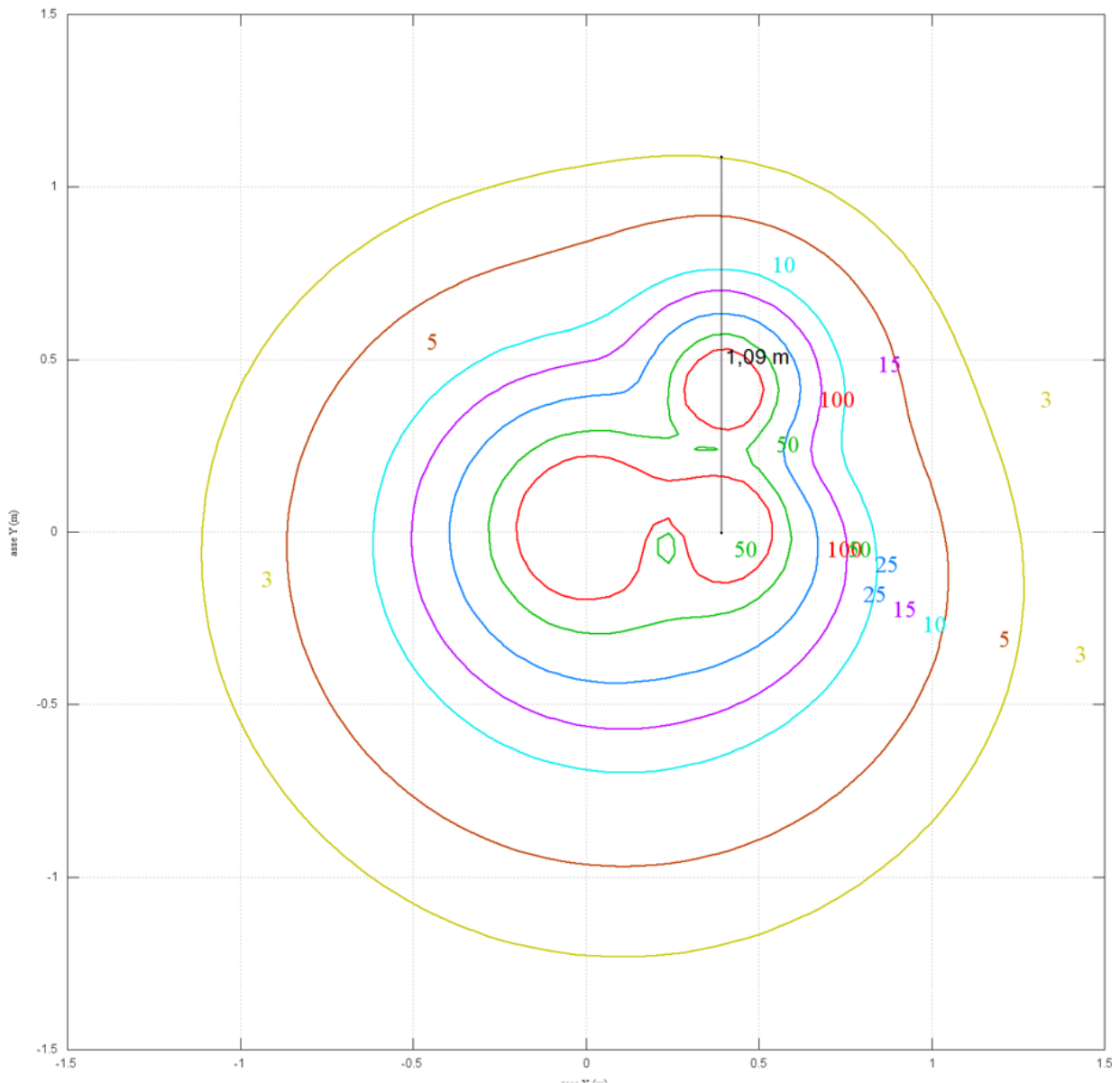
In relazione a quanto sopra detto, per i cavi cordati aerei sia di media che di bassa tensione non risulta di alcuna utilità la valutazione di fasce di rispetto, intese come proiezione al suolo dei piani verticali tangenti alla curva isolivello a $B = 3 \mu\text{T}$, poiché l'obiettivo di qualità risulta rispettato in tutte le situazioni di pratico interesse.

Per i cavi di tipologia ARE4H5E 18/30kV con posa a trifoglio, la situazione più gravosa è nel tratto di congiunzione tra i cavidotti dei 3 cluster. Da quel punto in poi, ci saranno 3 cavi ARE4H5E 18/30kV da 630mm^2 che trasporteranno l'energia fino alla SSE.

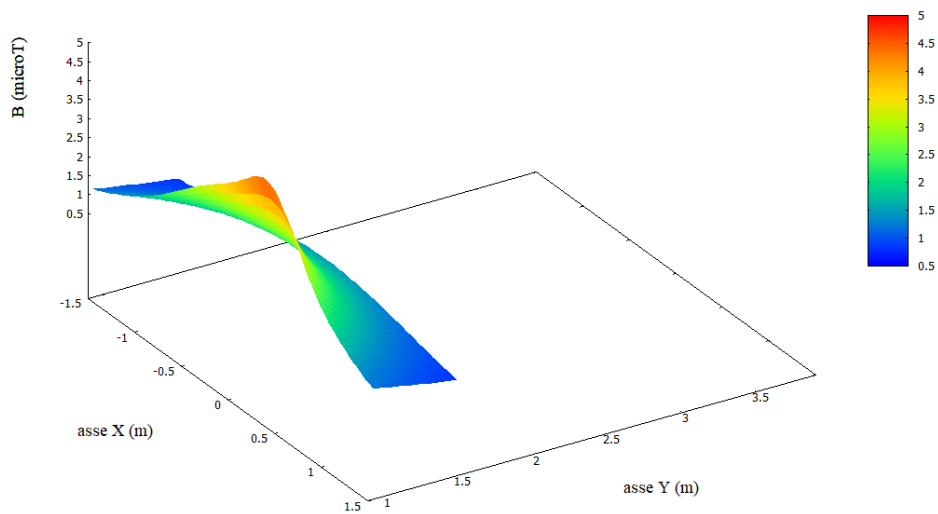
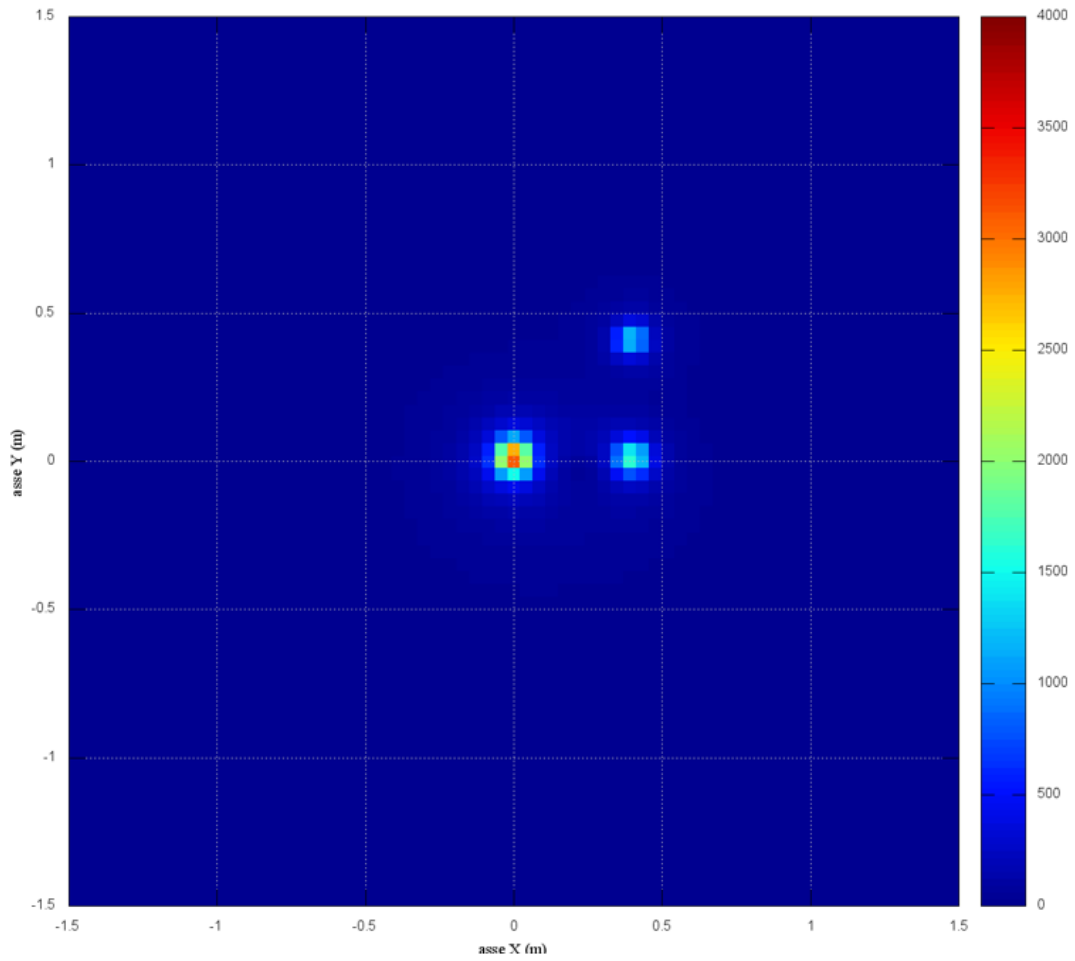
La geometria della posa è la seguente:



La corrente in ogni terna dipenderà dalla potenza proveniente dal cluster, ed è stato considerato il caso peggiore con la massima potenza AC che fluisce nei cavi. Le curve di isolivello sono riportate sotto.



Dalle curve è possibile evincere che il livello di qualità di 3 µT si trova ad un'altezza dai conduttori di 1.09m. Considerando la posa ad una profondità minima di 1,20 come da CEI 11-17 (in questo caso, profondità di 1,7m), la soglia di qualità è rispettata.



Per ulteriore conferma è stata fatta un'analisi puntuale ad altezza 1,7 dai conduttori che ha portato ad un valore di induzione magnetica di 1.126 μT .

Pertanto, per l'impianto in oggetto, nelle condizioni più gravose precedentemente analizzate, la condizione soglia di qualità $3 \mu\text{T}$ è sempre soddisfatta.

8. CONCLUSIONI

Alla luce dei calcoli eseguiti, non si riscontrano problematiche particolari relative all'impatto elettromagnetico dei componenti dell'impianto fotovoltaico in oggetto, in merito all'esposizione umana ai campi elettrici e magnetici. Nei successivi livelli di progettazione, si potranno eseguire calcoli più approfonditi e successivamente alla realizzazione e all'entrata in esercizio dell'impianto potranno essere eseguite prove sul campo che dimostrino l'esattezza dei calcoli e delle assunzioni fatte.

Lo studio condotto conferma la conformità dell'impianto dal punto 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 dei cavi in corrente continua a fascio (affiancando possibilmente polarità differenti);
- posizionamento dei cavi di media tensione cordati ad elica;

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

Le opere elettriche in progetto e relative DPA non interessano aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e 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 8luglio 2003.