

ISTANZA DI VIA

(Artt. 23-24-25 del D. Lgs 152/2006 e ss.mm.ii.)

COMMITTENTE



SUN LEGACY 5 srl

Via Nairobi 40
00144 Roma (RM)
P.I. 17205121001
PEC sunlegacy5@legalmail.it
Numero REA RM - 1702900

PROGETTISTI INCARICATI

Arch. DANIELE CONTICCHIO

STUDIO PROFESSIONALE IN VIA DELL'INDUSTRIA N.57
01100 VITERBO (VT)
C.F. CNTDNL84B16G148E - P.IVA 02193820566
tel. +39 3406705346 - mail: daniele.conticchio@gmail.com
pec: d.conticchio@pec.archrm.it
Iscritto all'Ordine degli Architetti P.P.C. di Roma e Provincia
al n. 22831 sez.A

Ing. MARCO GRANDE

STUDIO PROFESSIONALE IN VIA CASILINA NORD N.93
03100 FROSINONE (FR)
C.F. GRNMRC71D22D810A - P.IVA 02439640604
tel. +39 392 5867910 - mail: enstudio71@gmail.com
pec: marco1.grande@ingpec.eu
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di
Frosinone al n.1161

Ing. DANIELE MARRAS

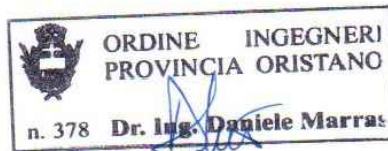
STUDIO PROFESSIONALE IN VIA GALASSI N.2
09131 CAGLIARI (CA)
C.F. MRRDNL73H22B354N - P.IVA 01033560952
tel. +39 393 9902969 - mail: daniele@mvprogetti.com
pec: daniele.marras@ingpec.eu
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di
Oristano al n. 378

Ing. LORENA VACCA

STUDIO PROFESSIONALE IN VIA GALASSI N.2
09131 CAGLIARI (CA)
C.F. VCCLRN75C48H856P - P.IVA 02738080924
tel. +39 342 0776977 - mail: lorena@mvprogetti.com
pec: lorena.vacca@ingpec.eu
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di
Cagliari al n. 4766

PROGETTO DI UN'OASI AGRIVOLTAICA PER LA SALVAGUARDIA DELLA BIODIVERSITA' E IL MIGLIORAMENTO FONDIARIO

Potenza nominale 87,3868 MWp
in Località "Pian D'Organo" - Comune di Tarquinia (VT)
E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN
Comuni di Tarquinia (VT) e Civitavecchia (RM)



TITOLO ELABORATO

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
01		Definitivo	Luglio 2023		RELAPROG005
REV.		FASE PROGETTUALE	DATA	SCALA	IDENTIFICATORE

INDICE

Sommario

1.	PREMESSA	2
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3.	GENERALITA'	6
3.1	CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE.....	7
3.2	CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO	9
3.1.	POTENZA COMPLESSIVA E SOTTOCAMPI	11
3.2.	SCHEMA ELETTRICO	11
3.3.	LINEE ELETTRICHE MT DI COLLEGAMENTO	13
4.	FONTI DI EMISSIONE	13
4.1.	ELETTRODOTTO MT	14
4.2.	STAZIONE DI TRASFORMAZIONE 30/150 KV	16
4.3.	GENERATORI fotovoltaici.....	16
5.	VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO	17
5.1.	VALORI LIMITE DEL CAMPO MAGNETICO	17
5.2.	VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO	18
6.	CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI.....	18
6.1.	CAVI POSA ELICORDATA SEZIONE 120-240 MM ²	18
6.2.	CAVI POSA A TRIFOGLIO SEZIONE 400-630 MM ²	19
6.2.1.	Caso A – 1 terna di cavi	20
6.2.2.	Caso B – 2 terne di cavi.....	23
6.2.3.	Caso C – 3 terne di cavi.....	29
6.2.4.	Caso D – 5 terne di cavi	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.2.5.	Caso E – Cavo AT 150 KV.....	32
6.3.	Riepilogo DPA elettrodotti	35
7.	CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA SSE DI UTENTE.....	36
8.	CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLE CABINE MT E INVERTER.....	39
9.	CONCLUSIONI.....	40
-	Elettrodotti:.....	40

1. PREMESSA

Scopo del presente documento è quello di descrivere le emissioni elettromagnetiche associate alle infrastrutture elettriche presenti nell'impianto fotovoltaico in oggetto e connesse ad esso, ai fini della verifica del rispetto dei limiti della legge n.36/2001 e dei relativi Decreti attuativi.

Il progetto prevede la costruzione e l'esercizio di un impianto fotovoltaico ad inseguitore monoassiale della potenza di 87,3868 MWp.

I terreni su cui è progettato l'impianto ricadono in una zona distante da agglomerati residenziali e nello specifico a sud del territorio comunale di Tarquinia a circa 12 km dal centro abitato dello stesso, a circa 5 km a nord-est del Comune di Civitavecchia e a circa 6 km ad ovest del Comune di Allumiere.

La linea AT uscente dalla SSE all'interno del lotto, ricade nel Comune di Tarquinia.

La sottostazione SSE di nuova costruzione denominata "SUN LEGACY 5", sarà ubicata nel Comune di Tarquinia all'interno del parco fotovoltaico, per poi collegarsi alla stazione RTN Enel esistente ad una distanza di circa 2.159 m.

In particolare per l'impianto saranno valutate le emissioni elettromagnetiche dovute alle cabine elettriche, ai cavidotti ed alla stazione utente per la trasformazione. Si individueranno, in base al DM del MAT*TM del 29.05.2008, le DPA per le opere sopra dette.

Nel presente studio è stata presa in considerazione la condizione maggiormente significativa al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti.

Verrà riportata l'intensità del campo elettromagnetico sulla verticale dei cavidotti e nelle immediate vicinanze, fino ad una distanza massima di 15 m dall'asse del cavidotto; la rilevazione del campo magnetico è stata fatta alle quote di 0m, +1,5m, +2m, +2,5m e +3m dal livello del suolo. Si fa presente che la quota di +1,5m dal livello del suolo è la quota nominale cui si fa riferimento nelle misure di campo elettromagnetico.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il panorama normativo italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla legge 22/2/01 n°36 che è la legge quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8.7.2003.

Nel 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 (50 Hz) generati dagli elettrodotti", vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti.

In particolare negli articoli 3 e 4 vengono indicate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

"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 5kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci" [art. 3, comma 1];

"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. 3, comma 2];

"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". [art. 4]

L'obiettivo qualità da perseguire nella realizzazione dell'impianto è pertanto quello di avere un valore di intensità di campo magnetico non superiore ai $3\mu\text{T}$ come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto FV trasferisce alla Rete di Trasmissione Nazionale la massima produzione (87,3868 MW).

Come detto, il 22 Febbraio 2001 l'Italia ha promulgato la Legge Quadro n.36 sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (CEM) a copertura dell'intero intervallo di frequenze da 0 a 300.000 MHz.

Tale legge delinea un quadro dettagliato di controlli amministrativi volti a limitare l'esposizione umana ai CEM e l'art. 4 di tale legge demanda allo Stato le funzioni di stabilire, tramite Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri: i livelli di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, le tecniche di misurazione e rilevamento.

Il 28 Agosto 2003 G.U. n.199, è stato pubblicato il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 Luglio 2003: "Fissazione dei limiti di esposizione, di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalla esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz". L'art. 3 di tale Decreto riporta i limiti di esposizione e i valori di attenzione come riportato nelle Tabelle 1 e 2:

Tabella 1 Limiti di esposizione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA' DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m ²)
0.1-3	60	0.2	-
>3 – 3000	20	0.05	1
>3000 – 300000	40	0.01	4

Tabella 2 Valori di attenzione di cui all'art.3 del DPCM 8 luglio 2003 in presenza di aree, all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensità di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensità di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA'DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m ²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

L'art. 4, invece, riporta i valori di immissione che non devono essere superati in aree intensamente frequentate come riportato in Tabella 3:

Tabella 3 Obiettivi di qualità di cui all'art.4 del DPCM 8 luglio2003 all'aperto in presenza di aree intensamente frequentate.

Intervallo di FREQUENZA (MHz)	Valore efficace di intensita' di CAMPO ELETTRICO (V/m)	Valore efficace di intensita' di CAMPO MAGNETICO (A/m)	DENSITA'DI POTENZA dell'onda piana equivalente (W/m ²)
0.1 – 300000	6	0.016	0.10 (3 MHz – 300 GHz)

Per quanto riguarda la metodologia di rilievo il D.P.C.M. 8 Luglio 2003 fa riferimento alla norma CEI 211-7 del Gennaio 2001.

3. GENERALITA'

L'impianto fotovoltaico "SUN LEGACY 5" sorgerà nella zona agricola di Tarquinia, in località "Pian D'Organo", nel Comune di Tarquinia (VT), e verrà allacciato alla stazione di utenza sita all'interno del lotto in progetto e da qui alla Rete di Trasmissione Nazionale.

L'estensione complessiva del campo fotovoltaico sarà pari a circa 126,69 ha (superficie occupata) e la potenza complessiva dell'impianto sarà pari a 87,3868 MWp.

Il parco fotovoltaico, mediante un brevissimo cavidotto su canale affiorante uscente dalla cabina di impianto alla tensione di 30 Kv, sarà collegato in antenna su stallo dedicato della sezione a 150 kV della stazione d'utenza; da questa, mediante un cavidotto a 150 kV, sarà connesso alla nuova stazione elettrica della RTN a 150 kV, distante circa 7690 m dalla sottostazione utente ubicata all'interno dell'impianto, come prescritto nella soluzione tecnica.

Il dimensionamento di massima sarà realizzato con un modulo fotovoltaico composto da 160 celle fotovoltaiche in silicio monocristallino da 256 x 136 mm, ad alta efficienza e connesse elettricamente in serie, per una potenza complessiva di 710 Wp.

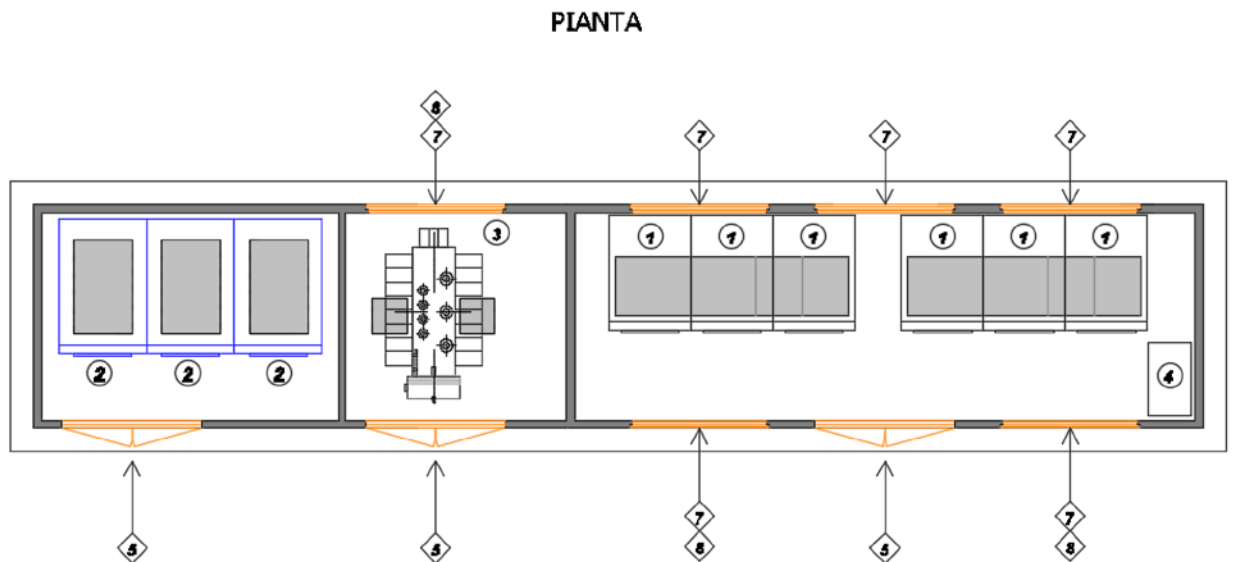
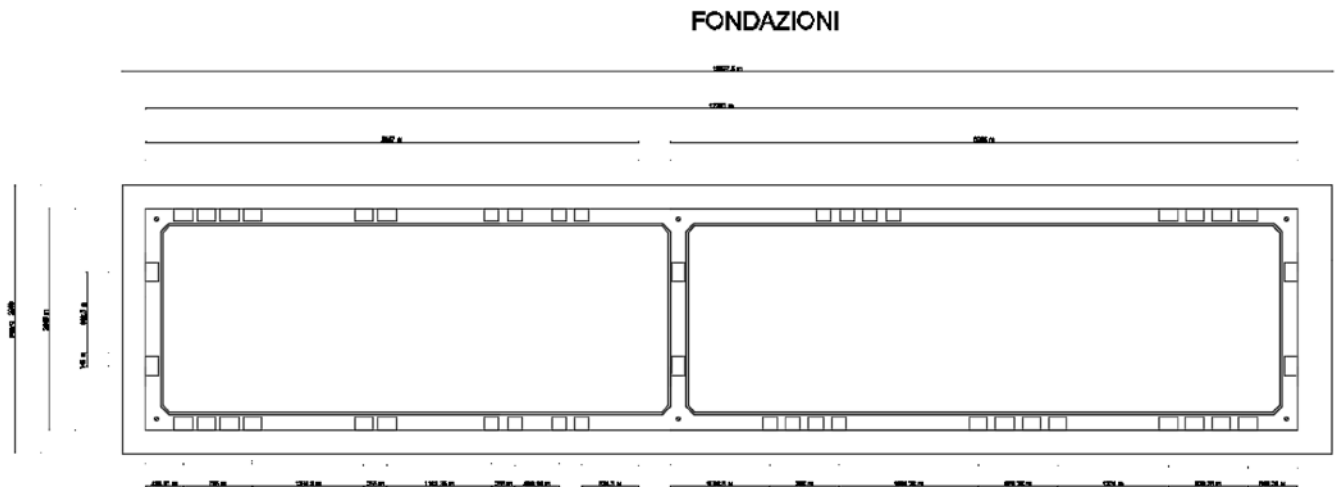
L'impianto sarà costituito da un totale di 123.080 moduli per una conseguente potenza di picco pari a 87.386,80 kWp.

La conversione da corrente continua a corrente alternata sarà realizzata mediante n° 24 convertitori statici trifase (inverter) della SMA, alloggiati a coppie nelle 12 cabine di trasformazione.

I trasformatori di elevazione BT/MT saranno della potenza di 6850KVA a doppio secondario ed avranno una tensione primaria di 30kV ed una tensione secondaria di 270V.

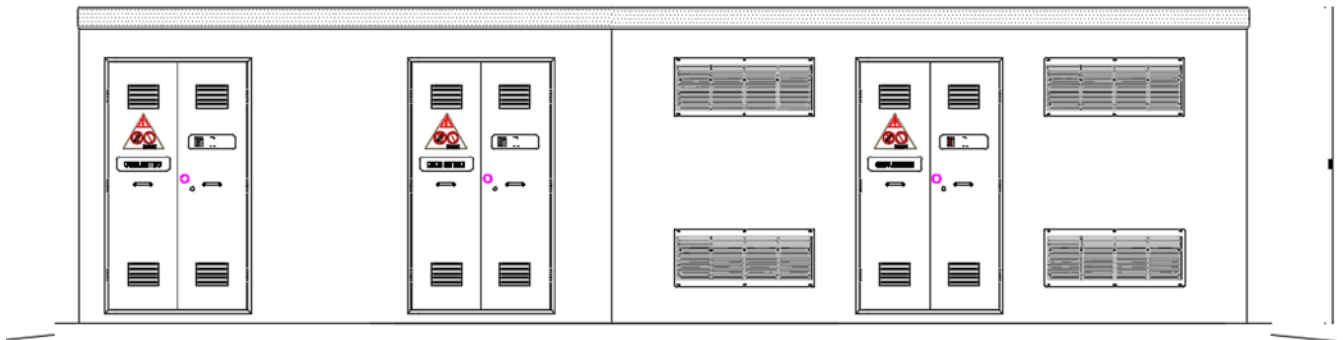
Ognuno di essi sarà alloggiato all'interno di una cabina di trasformazione in accoppiamento con due inverter di competenza. Le stringhe composte da 8 moduli (una struttura intera) verranno collegate alle cassette di parallelo stringa della SMA modello STRING COMB-X-800V ubicate su appositi supporti alloggiati sotto le strutture, protetti da agenti atmosferici, e saranno realizzati in policarbonato ignifugo, dotato di guarnizioni a tenuta stagna grado isolamento IP65 cercando di minimizzare le lunghezze dei cavi di connessione.

3.1 CABINE ELETTRICHE DI TRASFORMAZIONE

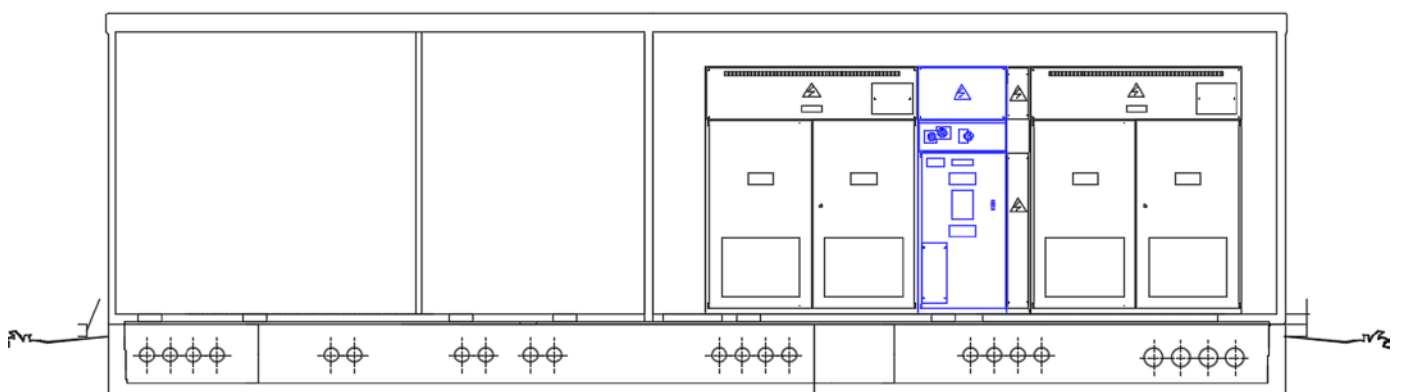
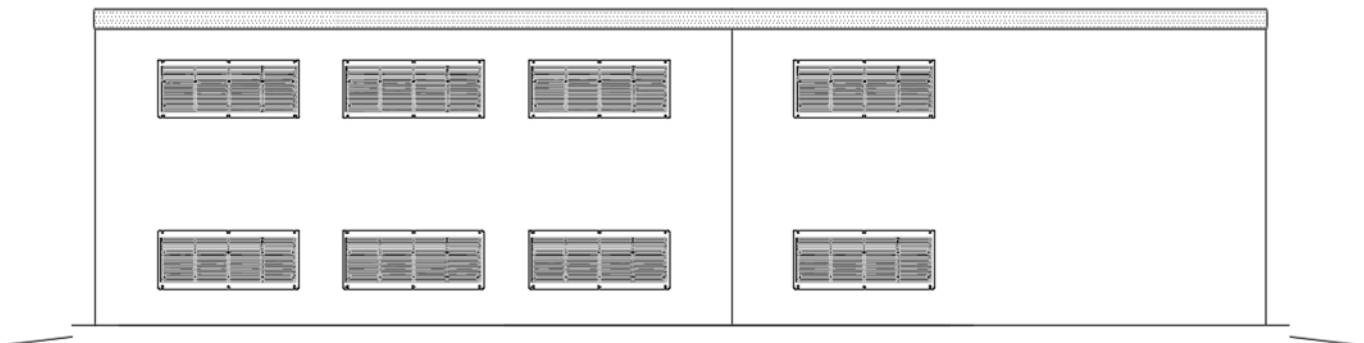


- LEGENDA:**
- ① MODULI INVERTER
 - ② MODULI MT
 - ③ TRASFORMATORE
 - ④ QUADRO BT
 - ⑤ PORTA DUE ANTE in VTR (CM. 114X1228)
 - ⑦ GRIGLIA ALTA in VTR (CM. 122X1168)
 - ⑧ GRIGLIA BASSA in VTR (CM. 120X1195)

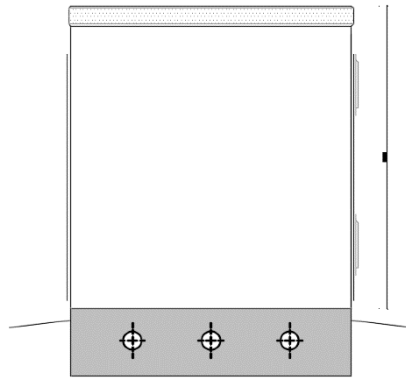
VISTA ANTERIORE



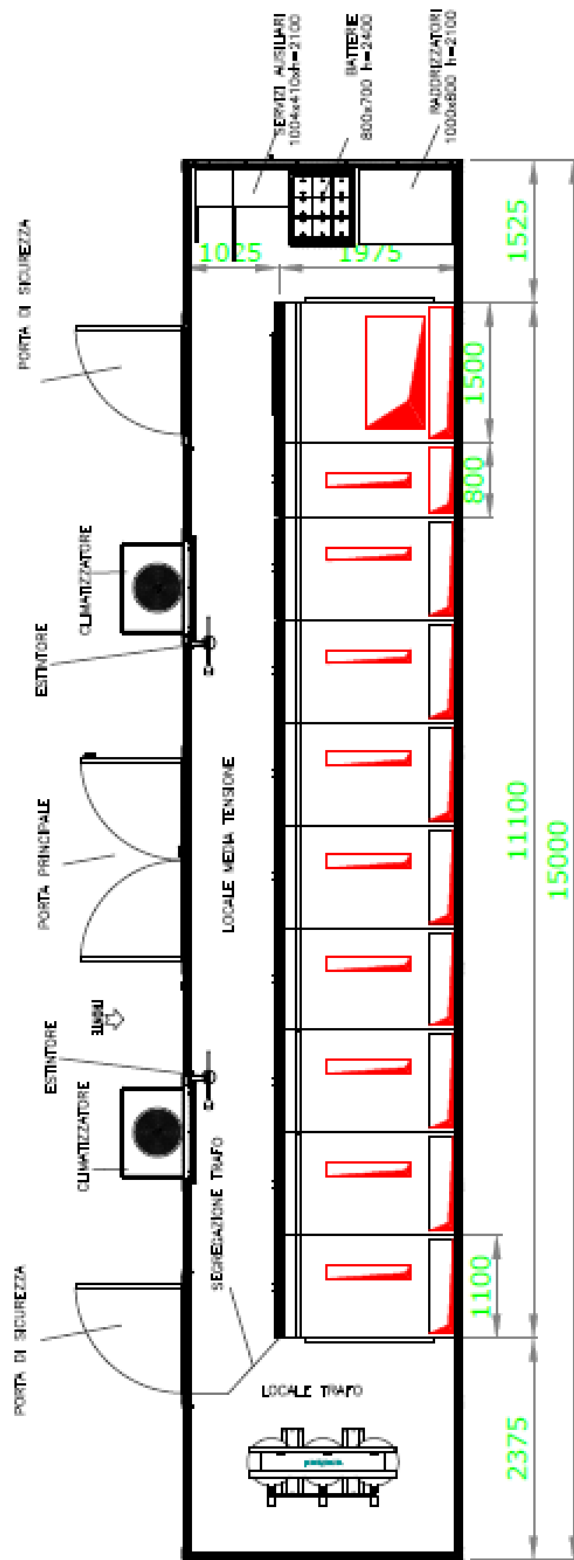
VISTA POSTERIORE



VISTA LATERALE



3.2 CABINA ELETTRICA D'IMPIANTO



3.1. POTENZA COMPLESSIVA E SOTTOCAMPI

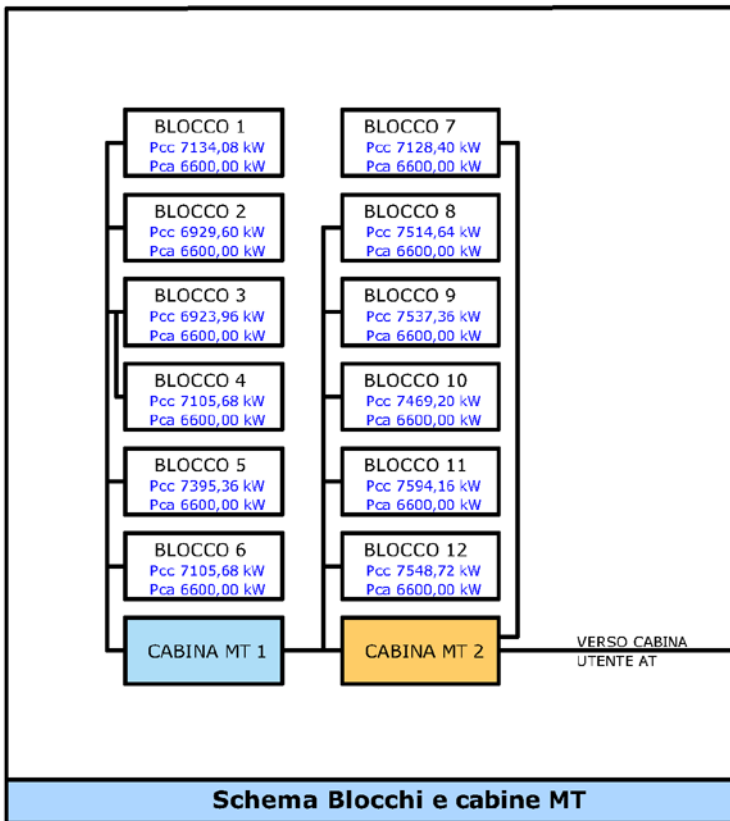
Il parco Fotovoltaico avrà una potenza complessiva di circa 87,3868 MW, data dalla somma delle potenze elettriche di n. 12 cabine inverter della potenza unitaria massima di 6,6 MW

Dal punto di vista elettrico, gli inverter sono raggruppati fra di loro a gruppi di 5, costituendo così n.3 distinti sottocampi, come di seguito meglio rappresentato.

Sottocampo	Inverter	Potenza	Comune
LINEA 1	1-5	30,00 MW	TARQUINIA
LINEA 2	6-10	30,00 MW	TARQUINIA
LINEA 3	11-15	30,00 MW	TARQUINIA

3.2. SCHEMA ELETTRICO

L'immagine di seguito riportata mostra lo schema elettrico del parco fotovoltaico, con evidenza dei sottocampi e delle linee di collegamento. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati TAVPROG022-TAVPROG023-TAVPROG024-TAVPROG027



3.3. LINEE ELETTRICHE MT DI COLLEGAMENTO

Coerentemente con la suddivisione in sottocampi di cui al precedente paragrafo, l'intero sistema di distribuzione dell'energia dai sottocampi verso la SSEU 30/150 kW è articolato su n.3 distinte linee elettriche a 30 kV, una per ciascun sottocampo.

Dall'Inverter capofila di ciascun sottocampo, infatti, si diparte una linea elettrica di vettoriamento in cavo su canale affiorante MT 30 kV, di sezione pari a 630 mm².

Analogamente, gli inverter di ciascun sottocampo sono collegati fra loro in entra-esce con una linea elettrica in cavo su canale affiorante MT 30 kV, di sezione costante dal primo all'ultimo Inverter. Tutti i cavi di cui si farà utilizzo, sia per il collegamento interno dei sottocampi che per la connessione alla SSE, saranno del tipo schermato, con conduttore in alluminio, con formazione a trifoglio elicordato, o equivalente.

Nella tabella che segue si riporta il dettaglio delle linee elettriche di collegamento.

	LINEA	PARTENZA	ARRIVO	Sezione cavo [mm ²]	Lunghezza cavo [m]	Potenza attiva [MW]
DIOMEDE	LINEA 1	T01	T05	3x1x630	5720	26,40
	LINEA 2	T05	T10	3x1x630	5720	26,40
	LINEA 3	T10	T15	3x1x630	5720	26,40
POTENZA COMPLESSIVA						79,200

In generale, per tutte le linee elettriche, si prevede la posa direttamente interrata dei cavi, senza ulteriori protezioni meccaniche, ad una profondità di 1,10 m dal piano di calpestio.

In caso di particolari attraversamenti o di risoluzione puntuale di interferenze, le modalità di posa saranno modificate in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 11-17 e dagli eventuali regolamenti vigenti relativi alle opere interferite, mantenendo comunque un grado di protezione delle linee non inferiore a quanto garantito dalle normali condizioni di posa.

4. FONTI DI EMISSIONE

Le apparecchiature elettromeccaniche previste nella realizzazione del parco fotovoltaico in oggetto generano normalmente, durante il loro funzionamento, campi elettromagnetici con radiazioni non ionizzanti.

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

- tutte le linee elettriche a servizio del parco:
 - elettrodotto MT di interconnessione fra gli inverter del sottocampo;
 - elettrodotto MT di vettoriamento dell'energia prodotta dai sottocampi verso la cabina di trasformazione;
- le cabine di trasformazione primarie e secondarie;

Le rimanenti componenti dell'impianto (sezione BT, apparecchiature del sistema di controllo, etc) sono state giudicate non significative dal punto di vista delle emissioni elettromagnetiche, pertanto non verranno trattate ai fini della valutazione.

Di seguito verrà data una caratterizzazione delle sorgenti appena individuate.

4.1. ELETTRODOTTO MT

Tutti i cavi di cui si farà utilizzo, sia per il collegamento interno dei sottocampi che per la connessione alla SSE, saranno del tipo standard.

Si tratta di cavi unipolari riuniti in elica visibile, con conduttori in alluminio, congiunti in maniera da formare un unico fascio di forma rotonda. L'isolante dei cavi è costituito da miscela in elastomero termoplastico HPTE, e fra esso e il conduttore è interposto uno strato di miscela estrusa. Il cavo presenta uno schermo metallico. Sopra lo schermo metallico è presente una guaina protettiva.

I cavi verranno installati su canale affioranti schermate ad una profondità di 0,10 m. La tensione di esercizio dei cavi è pari a 30kV. Le correnti nominali per ciascuna linea sono funzione della potenza vettoriata e del numero di cabine collegate a valle di tale linea. Ciascuna cabina ha una produzione nominale pari a 85 A alla tensione di 30kV. La tabella che segue riporta il dimensionamento dei cavi e la verifica delle sezioni, secondo quanto previsto dalla norma CEI 11-17. Tutte le linee in cavo soddisfano la verifica termica prevista dalla citata normativa, sia per quanto concerne le correnti di cortocircuito che per la tenuta termica dei cavi.

Progetto di un'oasi agrivoltaica per la salvaguardia della biodiversità e il miglioramento fondiario 87,3868 MWp,
Tarquinia (VT) Loc. "Pian D'Organo" _ SUN LEGACY 5 srl

	LINEA	PARTENZA	ARRIVO	Sezione cavo [mm ²]	Lunghezza cavo [m]	Potenza attiva [MW]	Corrente nominale [A]	Portata cavo nominale [A]	N. circuiti nella sez. di scavo	K correttivo portata	Portata cavo corretta [A]	Dimensionamento in portata	Resistenza cavo [Ω]	Reattanza cavo [Ω]
	LINEA 1	CP	T06	3x1x630	542	4	76,98	725	1	0,856	620,6	12%	0,044	0,16
		T06	T09	3x1x630	491	4	153,96	725	1	0,856	620,6	25%	0,044	0,16
		T09	T10	3x1x630	610	8	230,94	725	1	0,856	620,6	37%	0,044	0,16
		T10	T13	3x1x630	432	12	307,92	725	1	0,856	620,6	50%	0,044	0,16
		T13	T14	3x1x630	342	16	384,9	725	1	0,83	601,75	64%	0,044	0,16
		T14	T15	3x1x630	453	20	461,88	725	1	0,856	620,6	74%	0,044	0,16
		T15	CP	3x1x630	2720	24	538,86	725	2	0,856	620,6	87%	0,044	0,16
	LINEA 2	CP	T12	3x1x630	545	4	76,98	725	2	0,856	620,6	12%	0,044	0,16
		T12	T11	3x1x630	501	4	153,96	725	2	0,856	620,6	25%	0,044	0,16
		T11	T13	3x1x630	545	8	230,94	725	2	0,856	620,6	37%	0,044	0,16
		T13	T15	3x1x630	632	12	307,92	725	2	0,856	620,6	50%	0,044	0,16
		T15	T10	3x1x630	742	16	384,9	725	2	0,856	620,6	62%	0,044	0,16
		T10	T11	3x1x630	345	20	461,88	725	2	0,856	620,6	74%	0,044	0,16
		T11	T12	3x1x630	3745	24	538,86	725	3	0,856	620,6	87%	0,044	0,16
	LINEA 3	CP	T01	3x1x630	505	4	76,98	725	2	0,856	620,6	12%	0,044	0,16
		T01	T03	3x1x630	465	4	153,96	725	2	0,856	620,6	25%	0,044	0,16
		T03	T05	3x1x630	513	8	230,94	725	2	0,856	620,6	37%	0,044	0,16
		T05	T08	3x1x630	412	12	307,92	725	2	0,856	620,6	50%	0,044	0,16
		T08	T07	3x1x630	423	16	384,9	725	2	0,856	620,6	62%	0,044	0,16
		T07	T04	3x1x630	543	20	461,88	725	3	0,856	620,6	74%	0,044	0,16
		T04	T02	3x1x630	478	24	538,86	725	3	0,856	620,6	87%	0,044	0,16
		T02	CP	3x1x630	623	28	615,84	725	4	0,856	620,6	99%	0,044	0,16
		CP	SSE	9x1x630	3500	79	1693,56	2175	3	0,856	1861,8	91%	0,044	0,16
					POTENZA COMPLESSIVA		79							

4.2. STAZIONE DI TRASFORMAZIONE 30/150 KV

La stazione di trasformazione MT/AT ha lo scopo di elevare la tensione dai 30 kV della rete MT proveniente dal parco fotovoltaico, e ai 150 kV della rete di trasmissione nazionale, nella quale il parco dovrà conferire l'energia prodotta. Tale elevazione avverrà attraverso due trasformatori di potenza, da 110 MVA complessivi.

La corrente nominale dell'impianto in AT sarà pari a circa 293 A, ad una tensione di 150 kV e alla frequenza di rete di 50 HZ.

È prevista altresì l'installazione di due trasformatori trifase di distribuzione MT/BT (di cui uno esistente), per l'alimentazione dei servizi ausiliari della stazione, della potenza nominale fino a 100 kVA.

Verrà fatto uso di trasformatori di tensione del tipo induttivo per le misure fiscali e del tipo capacitivo per le protezioni, così pure si farà uso di una terna di trasformatori amperometrici per effettuare le misure.

Infine, presso l'edificio esistente, verranno installati i quadri MT di protezione, sezionamento e misura, nonché i quadri

4.3. GENERATORI fotovoltaici

Relativamente alla sola componentistica elettrica, le cabine inverter risultano composte da:

- un generatore elettrico della potenza nominale pari a 6,6 MW alla tensione di 0,66kV;
- un trasformatore BT/MT 0,66/30kV della potenza di 6,6 MVA;
- scomparti MT per la connessione in entra-esci dell'inverter con la linea passante,

in numero variabile a seconda della configurazione della rete;

- un sistema LPS per la protezione dalle sovratensioni atmosferiche;
- una rete di terra, collegata con le fondazioni dell'inverter;
- un sistema di controllo, che sovrintende e supervisiona il funzionamento dell'inverter e le eventuali anomalie.

La potenza del generatore elettrico viene resa ad un livello di tensione pari a 660V, che viene innalzata attraverso il trasformatore BT/MT alla tensione di esercizio della rete, pari a 30 kV. La potenza così prodotta, con un livello di tensione compatibile con la rete, viene immessa nella rete di vettoriamento tramite un collegamento in entra-esci, realizzato attraverso gli scomparti MT installati alla base dell'inverter. La Cabina che accoglie le principali apparecchiature di cui sopra è installata ad un'altezza pari a circa 1 m. Tutte le parti metalliche non attive presenti all'interno dell'inverter sono collegate alla sbarra di terra, così pure la rete di terra esterna all'inverter. Anche il trasformatore MT/BT

risulta collegato alla sbarra di terra attraverso il proprio centro stella. La rete di terra consisterà nella posa di un doppio anello di rame della sezione di 95 mm, posato ad una profondità pari a quella del piano di posa delle fondazioni. I due anelli saranno collegati radialmente fra loro, e collegati in più punti anche all'armatura del plinto di fondazione.

5. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO

Nella redazione della relazione tecnica sui campi elettromagnetici e sul contenimento del rischio di elettrocuzione 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 MAGNETICO

Per quanto concerne il campo magnetico generato dagli elettrodotti, esistono tre diverse soglie cui fare riferimento, fissate attraverso il DPCM 8/07/2003.

L'art. 3 del citato decreto indica come soglie i valori dell'induzione magnetica mostrati in tabella.

Soglia	Valore limite del campo magnetico
Limite di esposizione	100 μT (da intendersi come valore efficace)
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)	10 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)
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)	3 μT (da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio)

5.2. VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO

Per quanto concerne il campo elettrico, il DPCM 8/07/2003 stabilisce il valore limite di tale campo pari a 5kV/m, inteso come valore efficace.

6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI

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

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

Il progetto, infatti, prevede l'utilizzo di cavi del tipo in alluminio schermati in posa a trifoglio a elica visibile per sezioni fino a 300 mm², mentre a semplice trifoglio per i cavi di sezione maggiore.

La tabella che segue mostra le differenti tipologie di cavi da utilizzare e le caratteristiche di posa

	Cavi con isolamento in EPR		
Sezione (mm ²)	120	240	630
Tipo posa	Cordato a elica visibile	Cordato a elica visibile	Trifoglio
Profondità posa (m)	1,10	1,10	1,10

6.1. CAVI POSA ELICORDATA SEZIONE 120-240 MM²

Si fa presente che, date le caratteristiche costruttive, i cavi in progetto presentano una configurazione ad elica visibile per le sezioni fino a 300 mm².

Come già anticipato, trattasi di cavi elicordati ad elica visibile. Come noto dalla normativa citata in materia, le particolarità costruttive di questi cavi, ossia la ridotta distanza tra le fasi e la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, fanno sì che il campo magnetico prodotto sia notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio.

In aggiunta a questa prima considerazione, si fa notare come le metodologie di calcolo suggerite dall'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), approvate dal D.M. 29/05/2008, con le quali verranno condotti i calcoli nel seguito, fanno esplicito riferimento al caso in questione come un caso per il quale non è richiesto alcun calcolo delle fasce di rispetto. All'art. 3.2 dell'allegato al suddetto decreto viene infatti detto che:

“sono escluse dall'applicazione della metodologia:

.....

- *Le linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aeree);*

In tutti questi casi le fasce associabili hanno ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal Decreto interministeriale n. 449/88 e dal decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1991”.

Trattandosi nei casi in questione di un elettrodotto costituito da linee in MT in cavo cordato ad elica, come evidenziato in precedenza, si ritiene a maggior ragione non essere necessario alcuno studio circa i campi magnetici generati dai cavi di sezione 120 – 240 mm².

Il campo elettromagnetico generato dai cavi di sezione 120 – 240 mm² risulta essere infatti di gran lunga inferiore ai valori limite richiesti e, pertanto, già dopo una prima analisi qualitativa, se ne può escludere la valutazione numerica, così come previsto dalla normativa e dalle leggi vigenti.

6.2. CAVI POSA A TRIFOGLIO SEZIONE 400-630 MM²

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

Si possono individuare nel parco fotovoltaico in progetto le seguenti tipologie di elettrodotti:

- CASO A: Linea elettrica in cavo su canale affiorante costituita da 1 terne cavi MT posata a trifoglio;
- CASO B: Linea elettrica in cavo su canale affiorante costituita da 2 terne cavi MT posata a trifoglio;
- CASO C: Linea elettrica in cavo su canale affiorante costituita da 3 terne cavi MT posata a trifoglio.
- CASO D: Linea elettrica in cavo su canale affiorante costituita da una terna cavi AT posata a trifoglio da 150 kV

Tali casistiche sono riferite alle sezioni costituite da cavi di sezione 630 mm², della tipologia ARP1H5(AR)E o equivalente, ossia cavi unipolari, in quanto, come già detto al paragrafo precedente, per i cavi di sezioni inferiori è previsto l'utilizzo di cavi tripolari elicordati i cui campi elettromagnetici generati sono già definiti trascurabili dalla normativa.

Occorre inoltre tenere in considerazione la tipologia dei cavi usati per la realizzazione degli elettrodotti; si tratta, infatti, di cavi sotterranei in posa a trifoglio, posati ad una profondità di 0,10 m.

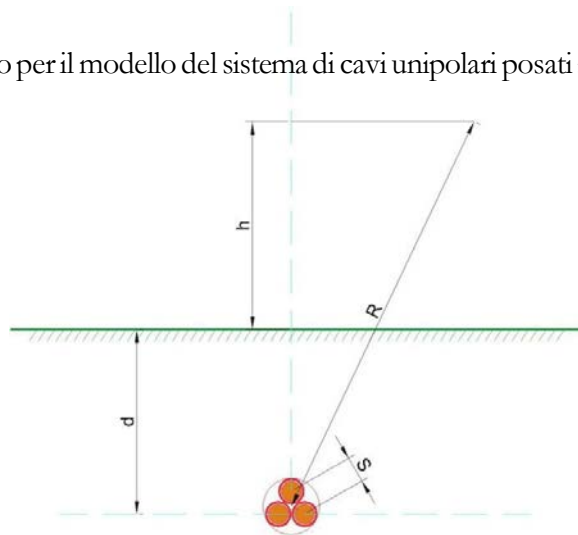
Si procederà adesso, per ognuno dei casi precedentemente introdotti, ad una valutazione specifica del campo magnetico.

6.2.1. Caso A – 1 terna di cavi

Per quanto concerne il caso di una singola terna di cavi sotterranei di media tensione posati a trifogli, la norma CEI 106-11 al cap.7.1 indica che con una profondità di posa pari a 0,80 m già al livello del suolo sulla verticale del cavo e nelle condizioni limite di portata si determina una induzione magnetica inferiore a 3 μ T. A maggior ragione, considerata una reale profondità di posa pari a 1,10 m, risulta al livello del suolo un valore ancora inferiore.

A scopo cautelativo, si è comunque effettuato il calcolo analitico dei campi magnetici generati da questa configurazione.

Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati, come di seguito riportato.



Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

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

dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, S [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A].

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

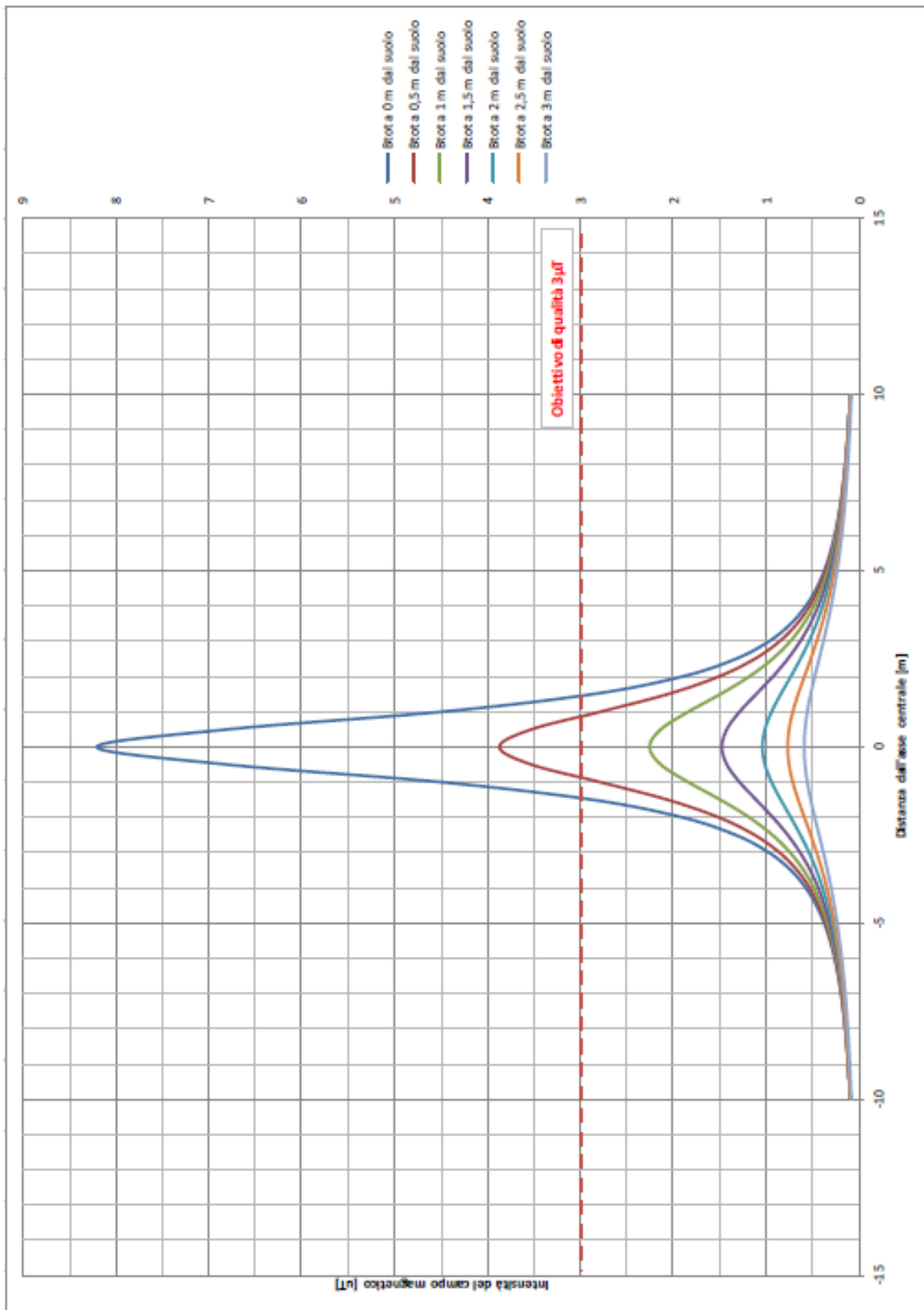
Profondità di posa dei cavi	-0,10 m
distanza terna dall'asse y	0 m
Sezione terna	3x1x630 mm ²
Portata cavo nominale	725 A
Portata cavo corretta	675 A

Ai fini del calcolo relativo a una terna di cavi, è stato preso in esame il caso di una terna di cavi della sezione di 630 mm². Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo. La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 0 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 0,5 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 1 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 1,5 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 2 m dal suolo [μT]
-10,00	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09
-9,50	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10
-9,00	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
-8,50	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12
-8,00	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13
-7,50	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15
-7,00	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17
-6,50	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19
-6,00	0,26	0,26	0,25	0,23	0,22
-5,50	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25
-5,00	0,36	0,35	0,34	0,31	0,29
-4,50	0,43	0,31	0,40	0,37	0,33
-4,00	0,51	0,50	0,49	0,44	0,39
-3,50	0,62	0,61	0,60	0,52	0,45
-3,00	0,77	0,76	0,74	0,63	0,53
-2,50	0,98	0,96	0,93	0,76	0,63
-2,00	1,48	1,46	1,18	0,92	0,73
-1,50	2,99	2,10	1,49	1,10	0,84
-1,00	4,43	2,88	1,83	1,28	0,94
-0,50	7,03	3,52	2,13	1,42	1,01
0,00	8,45	3,78	2,25	1,47	1,03
0,50	7,03	3,52	2,13	1,42	1,01
1,00	4,43	2,88	1,83	1,28	0,94
1,50	2,99	2,1	1,49	1,10	0,84
2,00	1,48	1,46	1,18	0,92	0,73
2,50	0,98	0,96	0,93	0,76	0,63
3,00	0,77	0,76	0,74	0,63	0,53
3,50	0,62	0,61	0,60	0,52	0,45
4,00	0,51	0,5	0,49	0,44	0,39
4,50	0,43	0,35	0,40	0,37	0,33
5,00	0,36	0,31	0,34	0,31	0,29
5,50	0,3	0,3	0,29	0,27	0,25
6,00	0,26	0,26	0,25	0,23	0,22
6,50	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19
7,00	0,2	0,19	0,19	0,18	0,17
7,50	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15
8,00	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13
8,50	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12
9,00	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
9,50	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10
10,00	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 1 m a 3 m

da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.



Ricordando che il vincolo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a $3 \mu\text{T}$,

Si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale, pari a 8,45 μT , superiore al limite fissato.

Per il caso A in esame, risulta pertanto abbondantemente rispettato il valore limite di esposizione pari a 100 μT lungo tutto il percorso dei cavi, ma non l'obiettivo di qualità pari a 3 μT . Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 1 terne (caso A), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 2,6 m, centrata sull'asse del cavo (DPA pari a 1,30 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

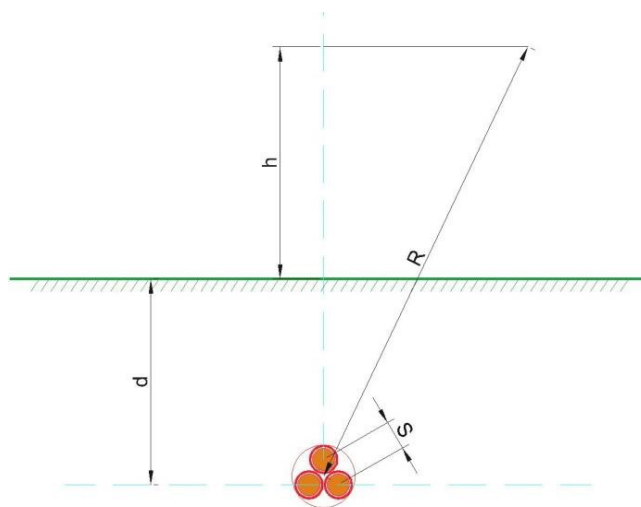
6.2.2. Caso B – 2 terne di cavi

Per tener conto della presenza di due o più terne nella stessa sezione di scavo si è fatto ricorso ad un modello matematico che tenesse conto del campo magnetico generato da ogni singola terna.

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

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

È possibile a questo punto effettuare una semplificazione del modello, che consideri il contributo non del singolo conduttore ma dell'intera terna, della quale sono note le caratteristiche geometriche. Si terrà conto nel seguito per il modello del sistema di cavi unipolari posati a trifoglio e non elicordati: in questo modo viene introdotto un grado di protezione maggiore nel sistema, essendo il campo magnetico generato dal un cavo elicordato meno intenso di quello di una terna posata a trifoglio.



Come infatti suggerito dalla norma CEI 106-11 al cap. 6.2.3, per i cavi unipolari posati a trifoglio è possibile ricorrere ad una espressione approssimata del campo magnetico, come di seguito riportato.

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

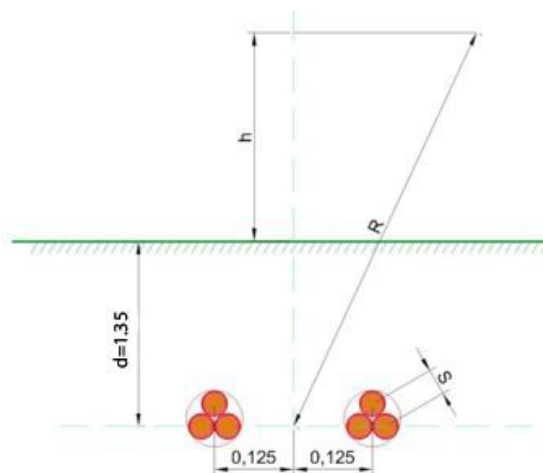
dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale,

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

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

Considerata quindi la disposizione spaziale delle due terne, e fissando **Passe centrale** del sistema come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle due terne di cavi), Si [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i- esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a Ii [A] (specifica della terna i-esima). Per quanto riguarda la corrente I, il DPCM 8/07/2003 all'art.6 indica di fare riferimento alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, così come definita dalla norma CEI 11- 60, la quale regola la portata al limite termico delle linee aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV. Trattandosi nel caso specifico invece di linea in canale affiorante in media tensione (30 kV), e non potendosi fare riferimento a quanto previsto dal decreto, si è fatto riferimento alla

portata in corrente in regime permanente, così come definita dalla norma CEI 11-17.

Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

Profondità di posa dei cavi	-0,10 m
distanza terna 1 dall'asse y	-0,125 m
distanza terna 2 dall'asse y	0,125 m
Sezione terne	3x1x630 mm ²
Portata cavo nominale	725 A
Portata cavo corretta	607 A

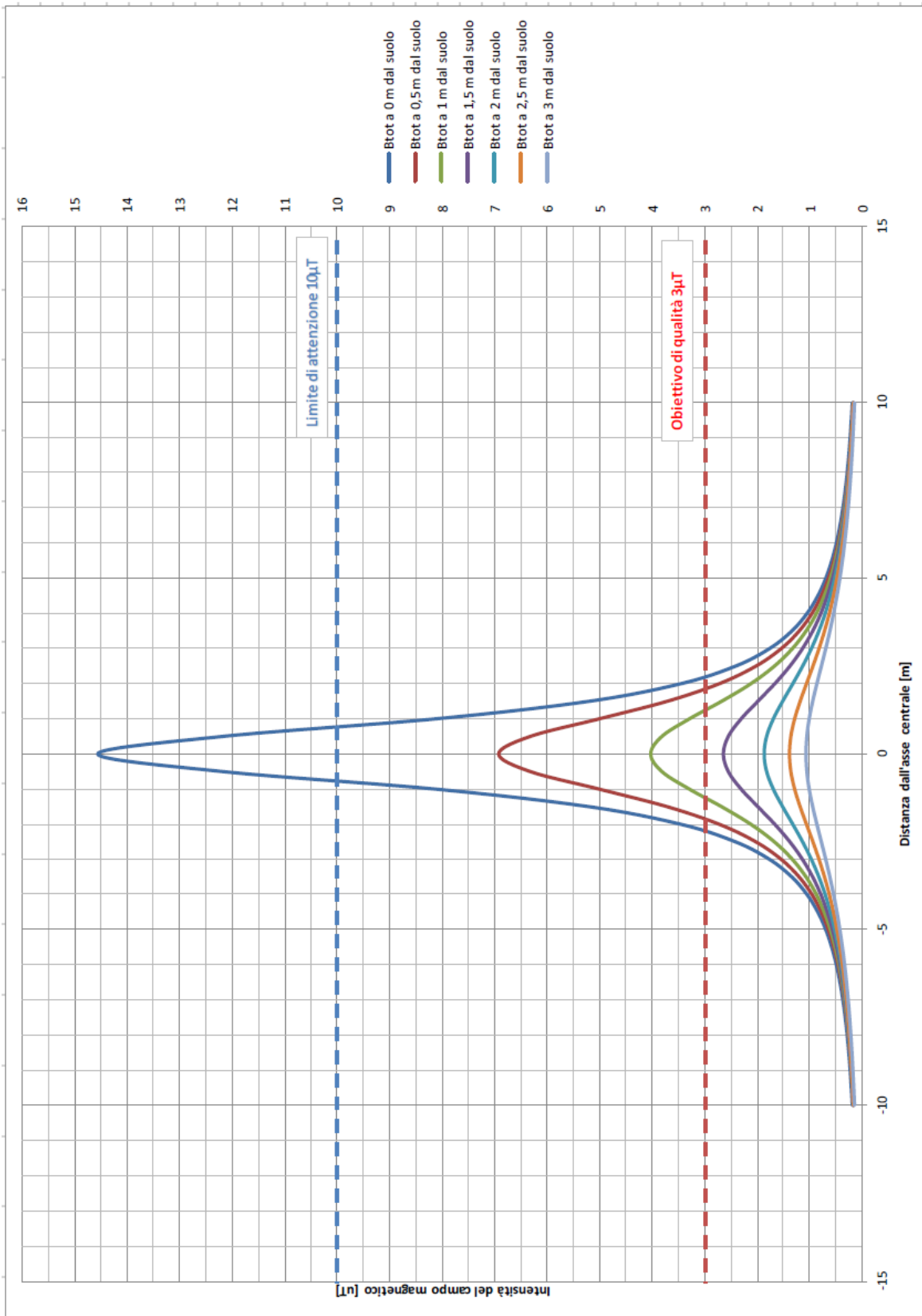
Ai fini del calcolo relativo a due terne di cavi, è stato preso in esame il caso con la compresenza nello stesso scavo di due terne di cavi della sezione di 630 mm². Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo.

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 1,5 m.

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 0 m dal suolo [μ T]	B _{tot} a 0,5 m dal suolo [μ T]	B _{tot} a 1 m dal suolo [μ T]	B _{tot} a 1,5 m dal suolo [μ T]	B _{tot} a 2 m dal suolo [μ T]
-10,00	0,20	0,19	0,17	0,17	0,16
-9,50	0,22	0,20	0,19	0,18	0,18
-9,00	0,25	0,23	0,21	0,20	0,20
-8,50	0,29	0,26	0,23	0,23	0,22
-8,00	0,36	0,30	0,26	0,25	0,24
-7,50	0,41	0,35	0,29	0,28	0,27
-7,00	0,47	0,40	0,33	0,32	0,30
-6,50	0,52	0,46	0,38	0,36	0,34
-6,00	0,58	0,52	0,44	0,42	0,39
-5,50	0,62	0,58	0,52	0,48	0,45
-5,00	0,71	0,66	0,61	0,56	0,52
-4,50	0,82	0,78	0,72	0,66	0,60
-4,00	1,08	0,92	0,88	0,78	0,70
-3,50	1,37	1,24	1,07	0,94	0,82
-3,00	1,73	1,43	1,33	1,13	0,96
-2,50	2,48	2,07	1,68	1,37	1,13

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 0 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 0,5 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 1 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 1,5 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 2 m dal suolo [μT]
-2,00	3,23	2,66	2,13	1,66	1,31
-1,50	5,08	3,78	2,68	1,98	1,50
-1,00	8,00	5,03	3,30	2,30	1,68
-0,50	12,42	6,54	3,82	2,54	1,81
0,00	14,53	7,03	4,03	2,63	1,85
0,50	12,42	6,54	3,82	2,54	1,81
1,00	8,00	5,03	3,30	2,30	1,68
1,50	5,08	3,78	2,68	1,98	1,50
2,00	3,23	2,66	2,13	1,66	1,31
2,50	2,48	2,07	1,68	1,37	1,13
3,00	1,73	1,43	1,33	1,13	0,96
3,50	1,37	1,24	1,07	0,94	0,82
4,00	1,08	0,92	0,88	0,78	0,70
4,50	0,82	0,78	0,72	0,66	0,60
5,00	0,71	0,66	0,61	0,56	0,52
5,50	0,62	0,58	0,52	0,48	0,45
6,00	0,58	0,52	0,44	0,42	0,39
6,50	0,52	0,46	0,38	0,36	0,34
7,00	0,47	0,40	0,33	0,32	0,30
7,50	0,41	0,35	0,29	0,28	0,27
8,00	0,36	0,30	0,26	0,25	0,24
8,50	0,29	0,26	0,23	0,23	0,22
9,00	0,25	0,23	0,21	0,20	0,20
9,50	0,22	0,20	0,19	0,18	0,18
10,00	0,20	0,19	0,17	0,17	0,16

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 1 m a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.



Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a $3 \mu\text{T}$, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale ad 0 m dal piano di calpestio, pari a $14,53 \mu\text{T}$, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di $100 \mu\text{T}$.

Risulta quindi necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale (ad altezza $h=1\text{m}$) dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a $3 \mu\text{T}$. Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa 4,60 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a $2,93 \mu\text{T}$.

Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 2 terne (caso B), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 4,6 m, centrata sull'asse del cavo (DPA pari a 2,30 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

Si ricorda inoltre che le condizioni nelle quali è stato effettuato il calcolo sono peggiorative rispetto alla reale configurazione del sistema.

Infatti, per il calcolo si è fatto riferimento alle portate massime dei cavi, corrette in funzione delle specifiche condizioni di posa. Tale ipotesi, prevista dalla norma, è comunque molto cautelativa, in quanto, trattandosi di impianto di produzione con potenza predeterminata, le massime correnti realmente transitanti nei conduttori (e di conseguenza i relativi campi elettromagnetici generati) saranno inferiori alle portate nominali, con fattori di sovradimensionamento del 30-40%. Pertanto, i campi realmente generati saranno inferiori a quelli calcolati di un fattore pari al 30-40%.

Infine, sia l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ che il limite di attenzione di $10 \mu\text{T}$ fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali degli inverter, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

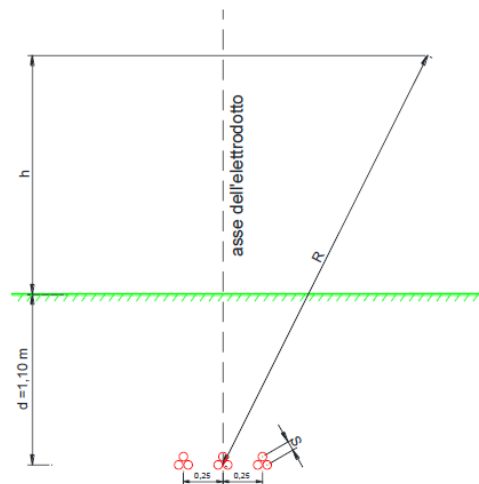
Data la natura non programmabile della fonte fotovoltaica, e la sua aleatorietà nel tempo, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

6.2.3. Caso C – 3 terne di cavi

Analogamente a quanto visto nel paragrafo precedente, viene condotto lo studio nel caso di un elettrodotto costituito da tre terne di cavi.

Considerata quindi la disposizione spaziale delle terne, e fissando l'asse centrale del sistema come riportato in figura, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_1 * I_1}{(x - x_1)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_2 * I_2}{(x - x_2)^2 + (y - d)^2} + 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S_3 * I_3}{(x - x_3)^2 + (y - d)^2}$$



dove B [μ T] è l'induzione magnetica in un generico punto distante R [m] dal centro del sistema (baricentro delle terne di cavi), Si [m] è la distanza fra i conduttori adiacenti della terna i-esima, percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a Ii [A] (specifica della terna i-esima). Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo.

Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

Profondità di posa dei cavi	-0,10 m
distanza terna 1 dall'asse y	-0,250 m
distanza terna 2 dall'asse y	0 m
distanza terna 3 dall'asse y	+ 0,250 m
Sezione terne	3x1x630 mm ²
Portata cavo nominale	725 A
Portata cavo corretta	574 A

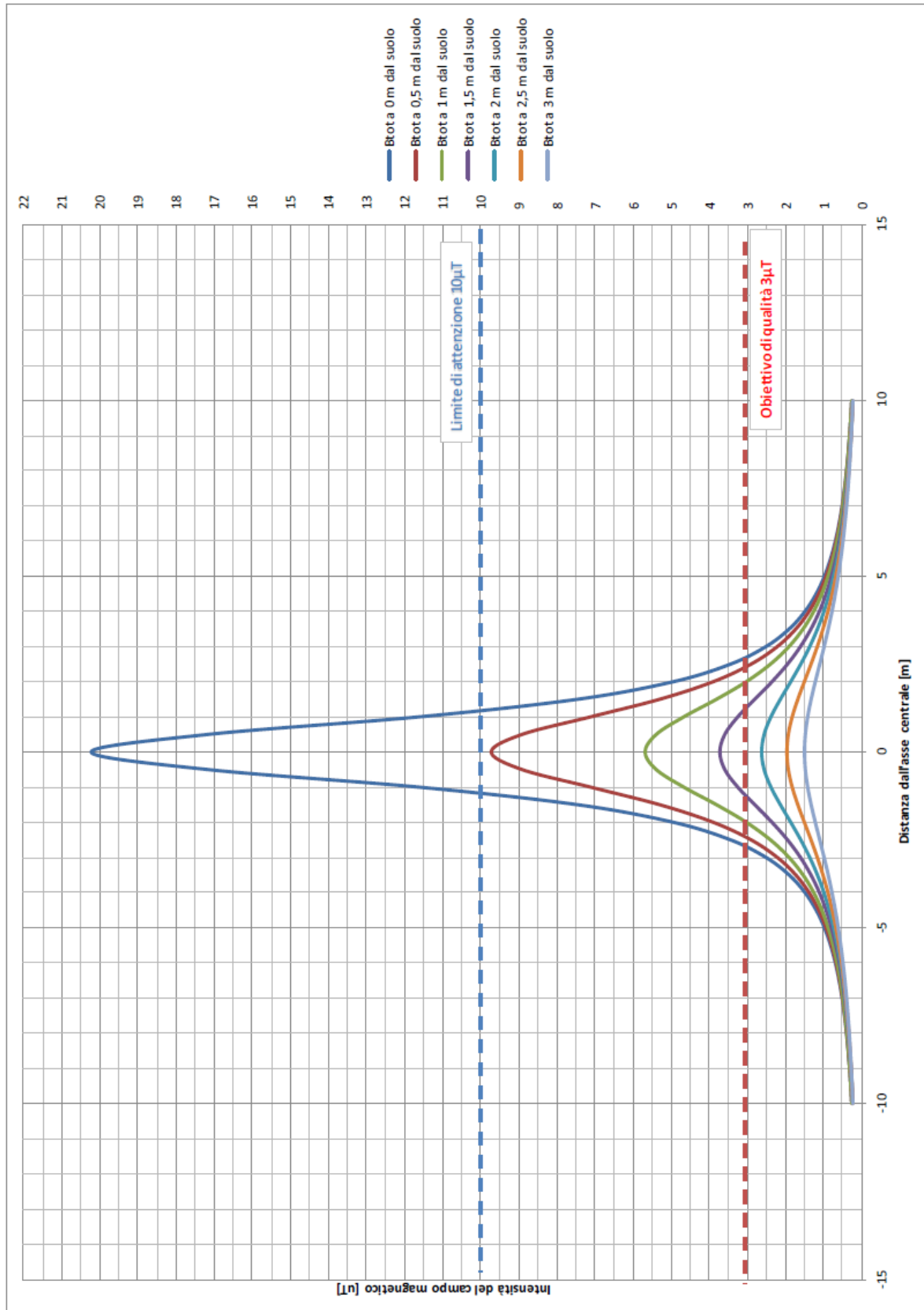
Ai fini del calcolo relativo a due terne di cavi, a scopo cautelativo è stato preso in esame il caso della compresenza nella stessa canale di tre terne di cavi della sezione di 630 mm².

Per la portata dei cavi, si è tenuto conto della portata corretta secondo i fattori di correzione di cui al paragrafo 4.1.1, che tiene conto delle condizioni di esercizio e della compresenza di più cavi nello stesso scavo.

La tabella che segue mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa (ossia della distanza dall'asse centrale) pari a 0,5 m.

Distanza dall'asse centrale [m]	B _{tot} a 1 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 1,5 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 2 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 2,5 m dal suolo [μT]	B _{tot} a 3 m dal suolo [μT]
-10	0,32	0,28	0,24	0,24	0,23
-9,5	0,35	0,31	0,27	0,26	0,25
-9	0,39	0,34	0,30	0,29	0,28
-8,5	0,43	0,38	0,33	0,32	0,31
-8	0,48	0,42	0,37	0,36	0,34
-7,5	0,52	0,47	0,42	0,40	0,38
-7	0,57	0,52	0,47	0,45	0,43
-6,5	0,68	0,59	0,54	0,52	0,49
-6,00	0,73	0,69	0,63	0,59	0,56
-5,50	0,83	0,79	0,73	0,69	0,64
-5,00	1,06	0,93	0,86	0,80	0,73
-4,50	1,33	1,14	1,03	0,94	0,85
-4,00	1,55	1,32	1,25	1,12	0,99
-3,50	1,83	1,64	1,53	1,34	1,16
-3,00	2,65	2,21	1,90	1,61	1,36
-2,50	3,39	2,85	2,39	1,95	1,60
-2,00	4,85	3,76	3,02	2,36	1,86
-1,50	8,01	5,61	3,81	2,81	2,13
-1,00	11,67	7,25	4,67	3,25	2,38
-0,50	17,39	8,99	5,39	3,59	2,56
0,00	20,29	9,72	5,69	3,72	2,62
0,50	17,39	8,99	5,39	3,59	2,56
1,00	11,67	7,25	4,67	3,25	2,38
1,50	8,01	5,61	3,81	2,81	2,13
2,00	4,85	3,76	3,02	2,36	1,86
2,50	3,39	2,85	2,39	1,95	1,60
3,00	2,65	2,21	1,90	1,61	1,36
3,50	1,83	1,64	1,53	1,34	1,16
4,00	1,55	1,32	1,25	1,12	0,99
4,50	1,33	1,14	1,03	0,94	0,85
5,00	1,06	0,93	0,86	0,80	0,73
5,50	0,83	0,79	0,73	0,69	0,64
6,00	0,73	0,69	0,63	0,59	0,56
6,50	0,68	0,59	0,54	0,52	0,49
7,00	0,57	0,52	0,47	0,45	0,43
7,50	0,52	0,47	0,42	0,40	0,38
8,00	0,48	0,42	0,37	0,36	0,34
8,50	0,43	0,38	0,33	0,32	0,31
9,00	0,39	0,34	0,30	0,29	0,28
9,50	0,35	0,31	0,27	0,26	0,25
10,00	0,32	0,28	0,24	0,24	0,23

Il grafico che segue mostra la distribuzione di tali valori in funzione della distanza dall'asse centrale. Le varie curve mostrano il valore dell'intensità del campo al variare del parametro h (da 0 m a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.



Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a $3 \mu\text{T}$, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale a 0 m dal piano di calpestio, pari a $20,29 \mu\text{T}$, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma, ma comunque inferiore al limite di esposizione di $100 \mu\text{T}$.

Risulta quindi necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale (ad altezza $h=1\text{m}$) dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a $3 \mu\text{T}$. Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa 2,8 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a $2,87 \mu\text{T}$.

Pertanto, relativamente all'elettrodotto costituito da 3 terne (caso C), viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 5,6 m, centrata sull'asse del cavo (DPA pari a 2,8 m), al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

Si ricorda inoltre che le condizioni nelle quali è stato effettuato il calcolo sono peggiorative rispetto alla reale configurazione del sistema.

Infatti, per il calcolo si è fatto riferimento alle portate massime dei cavi, corrette in funzione delle specifiche condizioni di posa. Tale ipotesi, prevista dalla norma, è comunque molto cautelativa, in quanto, trattandosi di impianto di produzione con potenza predeterminata, le massime correnti realmente transitanti nei conduttori (e di conseguenza i relativi campi elettromagnetici generati) saranno inferiori alle portate nominali, con fattori di sovradimensionamento del 30-40%. Pertanto, i campi realmente generati saranno inferiori a quelli calcolati di un fattore pari al 30-40%.

Infine, sia l'obiettivo di qualità di $3 \mu\text{T}$ che il limite di attenzione di $10 \mu\text{T}$ fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali degli inverter, ipotizzando il funzionamento a piena potenza.

Data la natura non programmabile della fonte fotovoltaica, e la sua aleatorietà nel tempo, i valori reali saranno certamente inferiori a quelli utilizzati nei calcoli, con una significativa diminuzione del valore dei campi elettromagnetici generati, ben al di sotto dei valori normativi precedentemente illustrati.

6.2.4. Caso E – Cavo AT 150 KV

Ciascun cavo d'energia a 150 kV sarà costituito da un conduttore in alluminio compatto di sezione indicativa pari a circa 400 mm^2 tamponato, schermo semiconduttivo sul conduttore, isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, nastri in materiale igroespandente, guaina in alluminio longitudinalmente saldata, rivestimento in politene con grafitatura esterna.

DATI TECNICI DEL CAVO

Tipo di conduttore	Unipolare in XLPE (polietilene reticolato)
Sezione	400 mm ²
Materiale del conduttore	Corde di alluminio compatta
Schermo semiconduttore interno	A base di polietilene drogato
Materiale isolamento	Polietilene reticolato
Schermo semiconduttore esterno (sull'isolante)	A base di polietilene drogato
Materiale della guaina metallica	Rame corrugato
Materiale della blindatura in guaina anticorrosiva	Polietilene, con grafite refrigerante (opzionale)
Materiale della guaina esterna	Polietilene
Tensione di isolamento	250 kV

Tali dati potranno subire adattamenti comunque non essenziali dovuti alla successiva fase di progettazione esecutiva e di cantierizzazione, anche in funzione delle soluzioni tecnologiche adottate dai fornitori e/o appaltatori.

DATI CONDIZIONI DI POSA E DI INSTALLAZIONE

Posa	Interrata in letto di sabbia a bassa resistività termica
Messa a terra degli schermi	"cross bonding" o "single point-bonding"
Profondità di posa del cavo	Minimo 1,60 m
Formazione	Una terna a Trifoglio
Tipologia di riempimento	Con sabbia a bassa resistività termica o letto di cemento magro h 0,50 m
Profondità del riempimento	Minimo 1,10 m
Copertura con piastre di protezione in C.A. (solo per riempimento con sabbia)	spessore minimo 5 cm
Tipologia di riempimento fino a piano terra	Terra di riporto adeguatamente selezionata
Posa di Nastro Monitorie in PVC – profondità	1,00 m circa

Di seguito viene esposto il grafico dell'andamento dell'induzione magnetica rispetto all'asse dell'elettrodotto.

Nel calcolo, essendo il valore dell'induzione magnetica proporzionale alla corrente transitante nella linea, è stata presa in considerazione la configurazione di carico che prevede una posa dei cavi a trifoglio, ad una profondità di 1,5 m, con un valore di corrente pari a 530 A, dove la configurazione dell'elettrodotto è quella in assenza di schermature, distanza minima dei conduttori dal piano viario e posa a trifoglio dei conduttori.

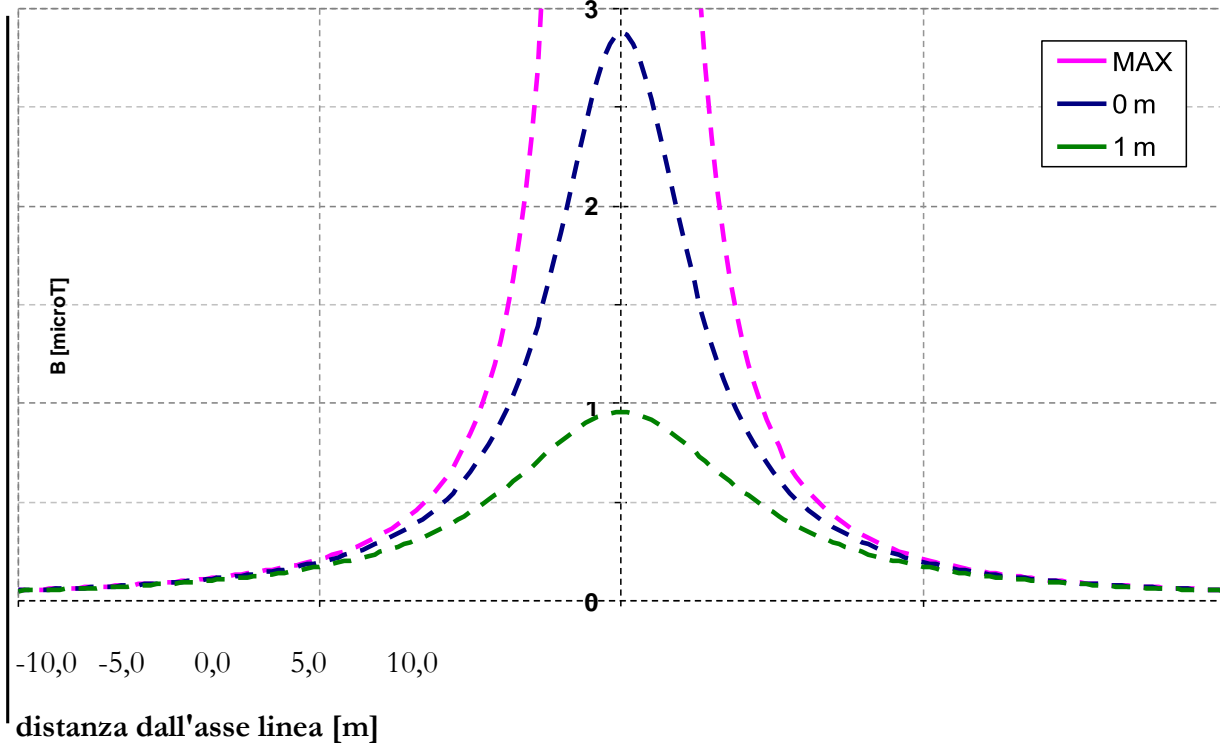


Figura 13: Andamento dell'induzione magnetica prodotta dalla linea in cavo

Il limite di $3 \mu\text{T}$ si raggiunge nel caso peggiore ad una distanza dall'asse linea di circa 1,5 m.

Il tracciato di posa dei cavi è tale per cui intorno ad esso non vi sono ricettori sensibili (zone in cui si prevede una permanenza di persone per più di 4 ore nella giornata) per distanze molto più elevate di quelle calcolate.

Non è rappresentato il calcolo del campo elettrico prodotto dalla linea in cavo, poiché in un cavo schermato il campo elettrico esterno allo schermo è nullo.

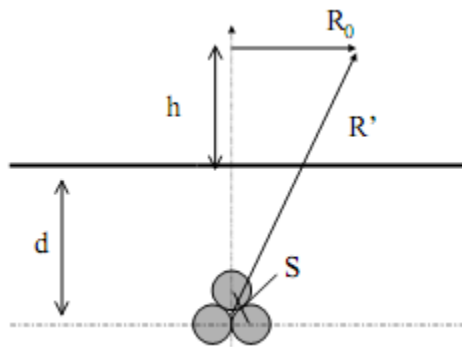
Secondo quanto riportato nel DM del MATTM del 29.05.2008, il calcolo delle fasce di rispetto può essere effettuato usando le formule della norma CEI 106-11, che prevedono l'applicazione dei modelli semplificati della norma CEI 211-4.

Pertanto, il calcolo della fascia di rispetto si può intendere in via cautelativa pari al raggio della circonferenza che rappresenta il luogo dei punti aventi induzione magnetica pari a $3 \mu\text{T}$.

La formula da applicare è la seguente, in quanto si considera la posa dei conduttori a trifoglio:

$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \text{ [m]}$$

Con il significato dei simboli di figura seguente:



Pertanto, ponendo: $S = 0.11 \text{ m}$

$I = 530 \text{ A}$

Si ottiene: $R' = 2.18 \text{ m}$

Che arrotondato al metro, fornisce un **valore della fascia di rispetto paria a 3 m per parte**, rispetto all'asse del cavo. Come anticipato non si ravvisano ricettori all'interno della suddetta fascia.

6.3. Riepilogo DPA elettrodotti

La tabella che segue mostra un riepilogo delle DPA dagli elettrodotti interrati di media tensione, calcolate come meglio specificato nei paragrafi precedenti.

Tipologia cavi	Sezione cavi	N. terne in parallelo	DPA
cavo su canale affiorante posa	120 mm ² - 240 mm ²	Qualunque	0 m
cavo su canale affiorante posa a trifoglio	630 mm ²	1 (caso A)	1,3 m
		2 (caso B)	2,3 m
		3 (caso C)	2,8 m
		5 (caso D)	3,0 m

Si fa presente che la casistica D si riscontra solo nel tratto di elettrodotto di nuova realizzazione di collegamento del parco fotovoltaico alla nuova SSE, e giace interamente all'interno della viabilità locale e della viabilità di ingresso alla sottostazione elettrica.

7. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLA SSE DI UTENTE

La stazione di trasformazione AT/MT è 150/30 kV una potenziale sorgente di campi elettromagnetici. Con riferimento alla valutazione dei campi elettromagnetici generati dalla SSEU 30/150 kV, sono state individuate le seguenti possibili sorgenti in grado di generare un campo elettromagnetico significativo determinando dunque l'opportunità di osservare la relativa distanza di prima approssimazione (DPA):

- Sbarre A.T. a 150 kV in aria;
- Condutture in cavo su canale affiorante o in aria a tensione nominale 30 kV;

Le altre possibili sorgenti di onde elettromagnetiche di minore rilevanza (linee di B.T., trasformatori M.T./B.T., trasformatori A.T./M.T., apparecchiature in B.T., ecc.), sono state giudicate non significative ai fini della presente valutazione, come peraltro riscontrato anche nella letteratura di settore.

Trattandosi di una cabina primaria isolata in aria, il D.M.29/05/08, allegato APAT, par. 5.2.2, 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.

Ad ulteriore conferma di quanto appena riportato, il gestore di rete ENEL Distribuzione S.p.a., nel documento "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" riporta le DPA da applicare per le sottostazioni di trasformazione analoghe a quella oggetto della presente relazione.

In particolare, nell'allegato A al sopracitato documento, vengono riportate le distanze minime da garantire del centro sbarre AT e dal centro sbarre MT rispetto al perimetro dell'area della sottostazione. Tali distanze, per sistemi con caratteristiche analoghe a quelle della sottostazione in oggetto, risultano essere:

- circa 14 m dal centro sbarre AT
- circa 7 m dal centro sbarre MT.

Le apparecchiature previste e le geometrie dell'impianto di AT sono analoghe a quelle di altri impianti già in esercizio, dove sono state effettuate verifiche sperimentali dei campi elettromagnetici al suolo nelle diverse condizioni di esercizio, con particolare attenzione alle zone di transito del personale (strade interne e fabbricati).

I valori di campo elettrico al suolo risultano massimi in corrispondenza delle apparecchiature AT a 150 kV con valori attorno a qualche kV/m, ma si riducono a meno di 1 kV/m a ca. 10 m di distanza da queste ultime.

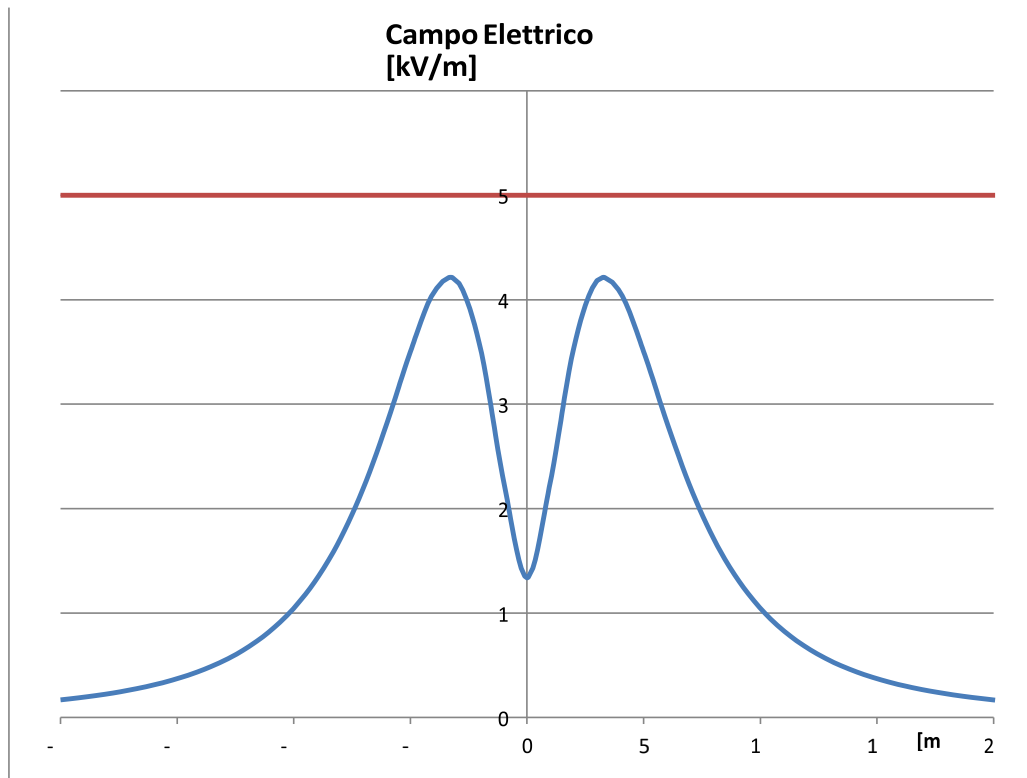


Figura 10: Campo elettrico al suolo generato dal sistema di sbarre a 150 kV

I valori di campo magnetico al suolo sono massimi nelle stesse zone di cui sopra ed in corrispondenza della via cavi, ma variano in funzione delle correnti in gioco: con correnti sulle linee pari al valore di portata massima in esercizio normale delle linee si hanno valori pari a qualche decina di microtesla, che si riducono a meno di $3 \mu\text{T}$ a 4 m di distanza dalla proiezione dell'asse della linea.

I valori in corrispondenza della recinzione della stazione sono notevolmente ridotti ed ampiamente sotto i limiti di legge.

A titolo orientativo nel seguito si riporta il profilo di campo magnetico dovuto ad un sistema trifase con caratteristiche e disposizione dei conduttori analoghe a quelle dei condotti sbarre presenti in stazione, considerando una corrente massima di 2000 A pari alla corrente massima sopportabile dalle sbarre stesse. Nella seguente figura è riportata la geometria di un sistema trifase con disposizione dei conduttori assimilabile a quella delle sbarre della stazione d'utenza.

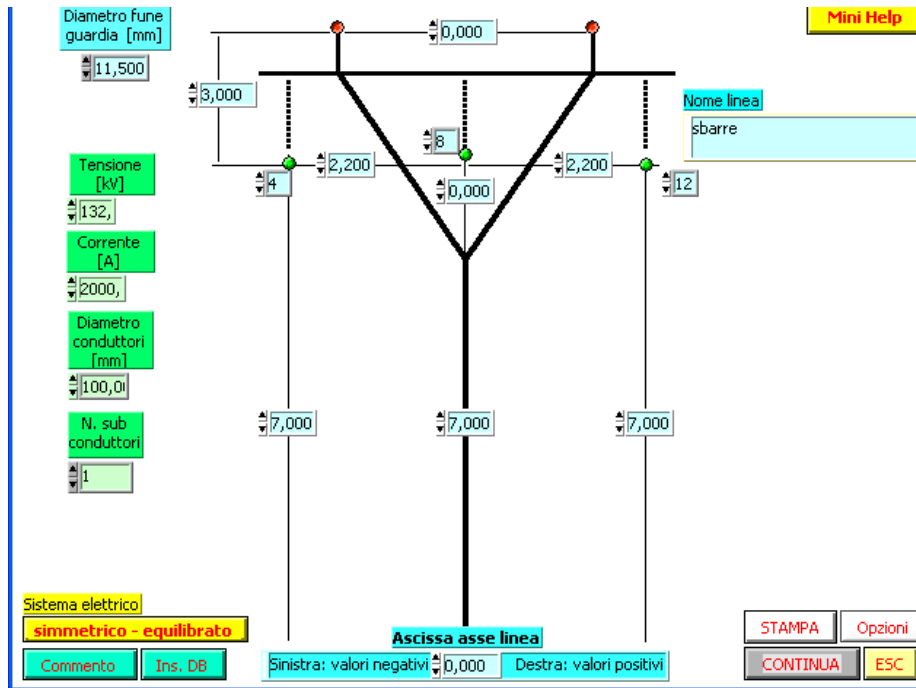


Figura 11: Linea AT con disposizione conduttori in piano assimilabile ad un sistema semplice sbarra a 150 kV.

Con conduttori percorsi da una terna trifase equilibrata di correnti di 2000 A (corrente max sopportabile dalle sbarre), estremamente cautelativa rispetto alla max corrente reale, si ha un andamento di campo magnetico come riportato nella figura seguente.

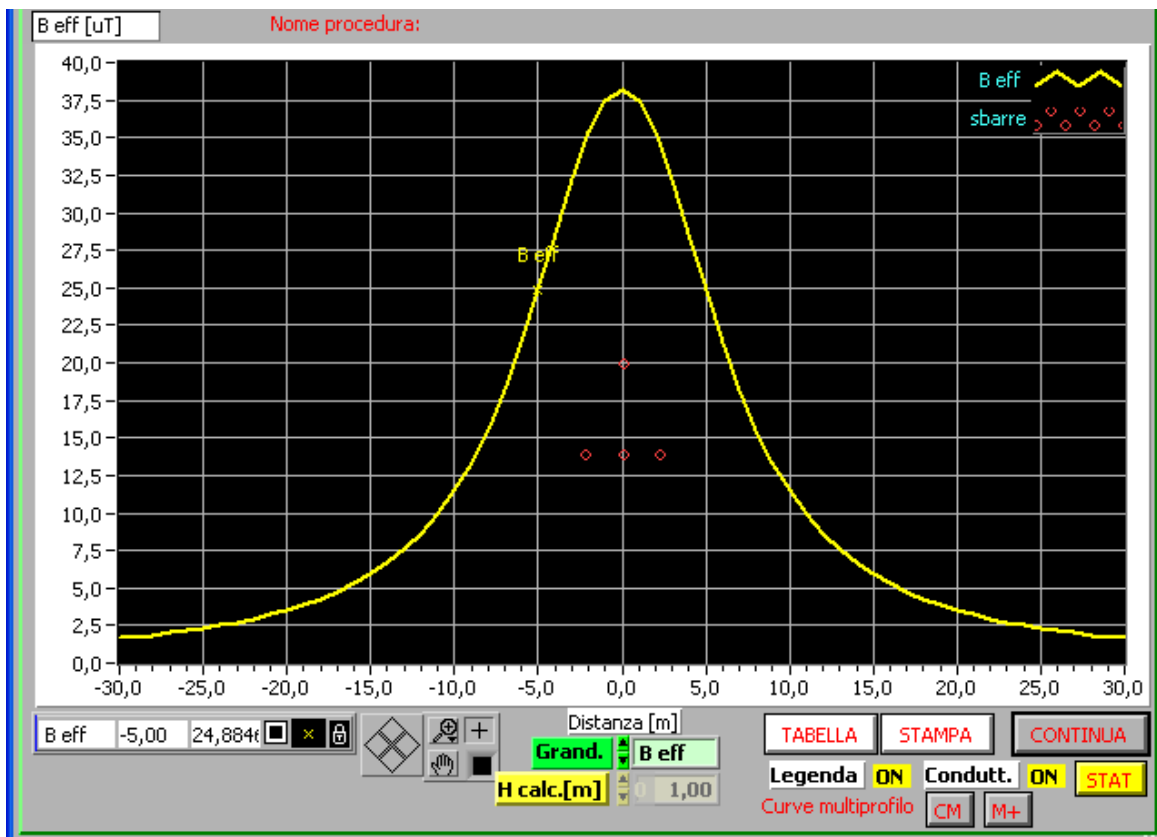


Figura 12: Andamento del campo di induzione magnetica per I = 2000A

Si può notare che ad una distanza di circa 22 m dall'asse del sistema di sbarre l'induzione magnetico è inferiore al valore di 3 μ t.

In particolare, tutta la fascia di rispetto ricade all'interno dell'area di pertinenza della sottostazione.

Una porzione minore della fascia di rispetto ricade invece sulla viabilità di accesso alla medesima SSEU, pertanto non interferente con le aree da sottoporre a tutela secondo il DPCM per il rispetto dell'obiettivo di qualità.

8. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DALLE CABINE MT E INVERTER

Cabine elettriche di trasformazione

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto sono da considerare le cabine elettriche di trasformazione, all'interno delle quali, la principale sorgente di emissione è il trasformatore BT/MT.

In questo caso si valuta le emissioni dovute ai trasformatori di potenza 6600 kVA collocati nelle cabine di trasformazione.

La presenza del trasformatore BT/MT viene usualmente presa in considerazione limitatamente alla generazione di un campo magnetico nei locali vicini a quelli di cabina.

In base al DM del MATTM del 29.05.2008, cap.5.2.1, l'ampiezza delle DPA si determina come di seguito descritto.

Tale determinazione si basa sulla corrente di bassa tensione del trasformatore e considerando una distanza dalle fasi pari al diametro dei cavi reali in uscita dal trasformatore. Per determinare le DPA si applica quanto esposto nel cap.5.2.1 e cioè:

$\frac{DPA}{I}$

$$\sqrt{\quad} = 0,40942 x^{0,5242}$$

dove:

DPA= distanza di prima approssimazione (m) I= corrente nominale (A)

x= diametro dei cavi (m)

Considerando che I=3850 A e che il cavo scelto sul lato BT del trasformatore è 3(6x350) mm², con diametro esterno pari a circa 26,88 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 7 m (nel calcolo si considera un diametro complessivo pari a tre conduttori in linea quindi 0,8064 m).

D'altra parte, nel caso in questione la cabina è posizionata all'aperto e normalmente non è permanentemente presidiata.

Cabina elettrica d'impianto

Per quanto riguarda i componenti dell'impianto resta da considerare la cabina elettrica MT d'impianto, alla quale confluiscono i cavidotti MT provenienti dalle cabine di trasformazione, all'interno della quale, la principale sorgente di emissione sono le stesse correnti dei quadri MT, in quanto in questo caso il trasformatore MT/bt è utilizzato solo per l'alimentazione dei servizi ausiliari. La massima corrente BT, considerando un trasformatore da 100 kVA, è pari a 145 A. Mentre la massima corrente MT dov' Tarquinia alla massima produzione è pari a circa 385 A.

Considerando che il cavo scelto in uscita dalla cabina d'impianto è, come detto, (3x1x630), con un diametro esterno massimo pari a 58 mm, si ottiene una DPA, arrotondata per eccesso all'intero superiore, pari a 3 m.

D'altra parte, anche nel caso in questione la cabina normalmente non è presidiata.

9. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato condotto uno studio analitico volto a valutare l'impatto elettromagnetico delle opere da realizzare, e, sulla base delle risultanze, individuare eventuali fasce di rispetto da apporre al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici, secondo il vigente quadro normativo. Una volta individuate le possibili sorgenti dei campi elettromagnetici, per ciascuna di esse è stata condotta una valutazione di tipo analitico, volta a determinare la consistenza dei campi generati dalle sorgenti e l'eventuale distanza di prima approssimazione (DPA).

Di seguito i principali risultati:

- **Elettrodotti:**
- nel caso di cavi elicordati (sezioni 120-240 mm²) i campi elettromagnetici sono trascurabili, non è necessaria l'apposizione di alcuna fascia di rispetto;
- nel caso di cavi unipolari posati a trifoglio (sezione 630 mm²) i campi elettromagnetici risultano di modesta entità, di poco superiori agli obiettivi di qualità, ma comunque inferiori ai limiti imposti dalla normativa. Sono state individuate differenti casistiche, in funzione del numero di terne parallele posate all'interno della stessa sezione di canale emergente, e per ciascuna di esse è stata determinata la DPA corrispondente.

In tutti i casi, l'entità delle DPA è tale da ricadere all'interno della carreggiata stradale lungo la quale giacciono i cavidotti, senza interferenze con luoghi da tutelare.

- **Sottostazione elettrica di utente:** i campi elettromagnetici risultano più intensi in prossimità delle

apparecchiature AT, ma trascurabili all'esterno dell'area della sottostazione. È stata individuata la fascia di rispetto, ricadente per lo più nelle aree di pertinenza della SSEU o della viabilità di accesso, senza interferenze con luoghi da tutelare.

- **Inverter:** campi elettromagnetici trascurabili, non è necessaria l'apposizione di alcuna

- **Cabine MT e di Trasformazione**

Nel caso delle cabine di trasformazione dove sono presenti dei trasformatori 400/30000 da 6600 kVA considerando la corrente sul secondario pari a 3850 A si ottiene una DPA di 7 metri arrotondata per eccesso. Essendo comunque tali cabine confinate all'interno del campo non interferiscono con luoghi da tutelare. Saranno comunque tenute in conto nella redazione del DVR al fine di tutelare i lavoratori delle ditte di manutenzione.

A conclusione del presente studio, è possibile affermare che per tutte le sorgenti di campi elettromagnetici individuate, le emissioni risultano essere al di sotto dei limiti imposti dalla vigente normativa.