

IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA"

PROGETTO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO DI POTENZA PARI A 32,67 MWp (28 MW IN IMMISSIONE) DENOMINATO "AGV CUDDIA" RICADENTE NEL COMUNE DI TRAPANI E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE RICADENTI NEI COMUNI DI TRAPANI E MARSALA (LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI TRAPANI).



Proponente

ECOSICILY 3 S.r.l.

VIA ALESSANDRO MANZONI, 30 - 20121 MILANO
P. IVA: 11119020961

Progettazione



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



Titolo Elaborato

(R) - Elaborati tecnico-descrittivi
11 - Relazione sui campi elettromagnetici
Elettrodotto MT

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILENAME	FORMATO	SCALA
PROGETTO DEFINITIVO	PD-R.11	ECON792PDRrti011R0	A4	

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	09/2023	PRIMA EMISSIONE	CB	EG	MG

REGIONE SICILIA
LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI TRAPANI
COMUNE DI TRAPANI

Ecosicily 3 S.r.l.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	2

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	09-2023	Prima emissione	CB	EG	MG

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	3

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. FONTI DI EMISSIONE	8
3.1. ELETTRDOTTO MT	8
3.2. PARCO FOTOVOLTAICO.....	10
4. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO.....	11
4.1. DEFINIZIONI.....	11
4.2. VALORI LIMITE DEL CAMPO MAGNETICO.....	12
4.3. VALORI LIMITE DEL CAMPO ELETTRICO.....	12
5. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRDOTTI INTERRATI	13
5.1. VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO	13
5.1.1. MODELLO DI CALCOLO NORMALIZZATO.....	13
5.1.2. FORMULE ANALITICHE APPROSSIMATE	15
5.1.3. CAVI UNIPOLARI POSATI A TRIFOGLIO A SINGOLA O DOPPIA TERNA.....	16
5.1.4. CALCOLO INDUZIONE MAGNETICA.....	17
5.1.5. VALUTAZIONE DEL CAMPO ELETTRICO.....	24
6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAL PARCO FOTOVOLTAICO E DAL SISTEMA BESS	25
6.1. CABINA PRINCIPALE DI IMPIANTO MTR.....	25
6.2. POWER STATION	25
7. CONCLUSIONI	27

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	4

1. PREMESSA

In linea con gli indirizzi di politica energetica nazionale ed internazionale relativi alla promozione dell'utilizzo delle fonti rinnovabili e alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti, ECOSICILY 3 S.r.l. ha avviato un progetto per la realizzazione di un impianto denominato "AGV Cuddia" di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile del tipo agrovoltaico per una potenza di 32,67 MWp (potenza in immissione pari a 28,00 MW).

L'impianto agrovoltaico ricade all'interno del territorio del Comune di Trapani, mentre le opere di connessione alla rete ricadono nel territorio del Comune di Trapani e nel Comune di Marsala; tutte le opere ricadono nel territorio della Provincia di Trapani.

L'impianto fotovoltaico sarà composto complessivamente da 5 aree di potenza pari a 6,69 MWp e a 6,30 MWp, che conferiscono a 2 Power Station di potenza pari a 6600 MVA. Le Power Station sono collegate fra loro attraverso una rete di distribuzione interna in Media Tensione (30 kV).

Presso l'impianto verranno realizzate le cabine di campo (Power station), la Control Room, la Cabina principale di impianto (Main Technical Room) MTR e due container ad uso magazzino. Dalla MTR si diparte la linea di media tensione per il collegamento alla rete nazionale di distribuzione: il progetto prevede la connessione condivisa con altri cinque operatori che saranno collegati, tramite due Sottostazioni utente, denominate rispettivamente SSE Guarini e SSHUB, alla Sottostazione utente Edison e da questa connessi alla stazione elettrica Terna a 220 kV "Partanna 2". Solo per completezza di informazione, si fa presente che l'impianto proposto è del tipo agrovoltaico che consentirà la produzione di energia da fonte rinnovabile e la produzione agricola

La presente relazione tecnica specialistica ha per oggetto la valutazione dell'impatto elettromagnetico delle opere in progetto, individuando le potenziali sorgenti di emissione e valutandone i potenziali rischi legati all'esposizione delle persone.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	5

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto si è fatto costante riferimento alla seguente normativa:

Studio di Impatto Ambientale

- Art. 22 del D. Lgs. 152/2006, Norme in materia ambientale, aggiornato dal D. Lgs. 104/2017.

Rumore

- L. 447/95 “Legge Quadro” e successivi decreti attuativi
- DPCM 14/11/1997 sulla "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"
- DPCM 1/03/1991 sui “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno”.

Energie rinnovabili

- D.Lgs. 387/2003
- D.Lgs. 28/2011

Elettrodotti, linee elettriche, sottostazione e cabina di trasformazione

- Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici;
- D.P.R. 18 marzo 1965, n. 342 "Norme integrative della legge 6 dicembre 1962, n. 1643 e norme relative al coordinamento e all'esercizio delle attività elettriche esercitate da enti ed imprese diversi dall'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica";
- Legge 28 giugno 1986, n. 339 "Nuove norme per la disciplina della costruzione e dell'esercizio di linee elettriche aeree esterne";
- Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112 "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59”;
- Norma CEI 211-4/1996 “Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”;
- Norma CEI 211-6/2001 “Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) – Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo”
- Norma CEI 11-17/2006 “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo”;
- CEI 0-2 Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici
- CEI 11-1 Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata
- CEI 11-17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	6

- CEI 11-20 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti i I e II categoria
- CEI 13-4 Sistema di misura dell'energia elettrica – Composizione, precisione e verifica
- CEI 20-19 Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V
- CEI 20-20 Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V
- CEI 20-40 Guida per l'uso di cavi in bassa tensione
- CEI 20-67 Guida per l'uso di cavi 0,6/1 kV
- CEI 22-2 Convertitori elettronici di potenza per applicazioni industriali e di trazione
- CEI 23-46 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche – Prescrizioni particolari per sistemi in tubi interrati
- CEI 23-51 Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare
- CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua
- CEI 64-12 Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario
- CEI 81-1 Protezione delle strutture contro i fulmini
- CEI 82-1 Dispositivi fotovoltaici – Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche corrente-tensione
- CEI 82-2 Dispositivi fotovoltaici – Parte 2: Prescrizioni per celle solari di riferimento
- CEI 82-3 Dispositivi fotovoltaici – Parte 3: Principi di misura dei sistemi solari fotovoltaici (PV) per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento.
- CEI 82-4 Protezione contro la sovratensione dei sistemi fotovoltaici per la produzione di energia - Guida
- CEI 82-8 Moduli fotovoltaici in Silicio cristallino per applicazioni terrestri – Qualifica del progetto e omologazione del tipo
- CEI 82-9 Sistemi fotovoltaici – Caratteristica dell'interfaccia di raccordo alla rete
- CEI 82-15 Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici – Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati
- CEI 82-16 Schiere di moduli fotovoltaici in silicio cristallino – Misura sul campo delle caratteristiche I-V
- CEI 82-17 Sistemi fotovoltaici di uso terrestre per la generazione di energia elettrica

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	7

– Generalità e guida

- CEI 82-22 Fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici
- CEI 82-25 Guida per la realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa tensione
- DM 29/05/2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”.
- Legge 22 febbraio 2001, n. 36 "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetiche.

Opere civili

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"; D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- D.M. 17.01.2018: Aggiornamento norme tecniche per le costruzioni.

Sicurezza

- D.LGS 9 aprile 2008 “Testo unico sulla sicurezza”.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	8

3. FONTI DI EMISSIONE

Il parco fotovoltaico durante il suo ordinario funzionamento genera 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 le cabine di campo presenti all'interno del parco fotovoltaico e l'MTR;
 - elettrodotto MT di vettoriamento dell'energia prodotta dalla MTR verso la SSEU di trasformazione 30/220 kV;
- ✓ le cabine elettriche presenti all'interno del parco fotovoltaico;
- ✓ la SSEU;

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.

3.1. ELETTRODOTTO MT

Tutti i cavi di cui si farà utilizzo, sia per il collegamento interno dei campi che per la connessione alla SSE, saranno del tipo standard 18/30 kV.

Si tratta di cavi unipolari da posare in formazione a trifoglio con conduttori in alluminio, congiunti in maniera da formare un unico fascio di forma rotonda. L'isolante dei cavi è costituito da mescola in elastomero termoplastico HPTE, e fra esso e il conduttore è interposto uno strato di mescola semiconduttrice. Il cavo presenta uno schermo metallico realizzato con nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale. Sopra lo schermo metallico sono presenti due differenti strati di protezione in guaina protettiva in polietilene.

I cavi verranno interrati ad una profondità pari a 1,10 m per le tratte di collegamento interne ed esterne al parco fotovoltaico. La tensione di esercizio dei cavi è pari a 30 kV.

Le correnti nominali per ciascuna linea sono funzione della potenza vettoriata e del numero di sottocampi collegati a valle di tale linea.

Si riporta la tabella con le tratte dei cavi MT, la lunghezza e la sezione del cavo scelto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	9

LINEA	TRATTE	PARTENZA	ARRIVO	Potenza picco [MWp]	Potenza nominale [MVA]	Lunghezza cavo [m]	Corrente di impiego I_b [A]	N.circuiti nella sezione scavo	Portata cavo nominale I_0 [A]	Sezione cavo [mm ²]
SOTTOCAMPO A	PS5 - PS4	PS5	PS4	6,30	5,40	315	109,52	1	368	3x1x185
	PS4 - MTR	PS4	MTR	10,60	10,80	675	219,04	2	636	3x1x500
SOTTOCAMPO B	PS3 - PS2	PS3	PS2	6,69	5,70	270	115,61	1	368	3x1x185
	PS2 - MTR	PS2	MTR	13,38	11,40	440	231,21	2	636	3x1x500
SOTTOCAMPO C	PS1 - MTR	PS1	MTR	6,69	5,70	255	115,61	1	368	3x1x185
LINEA MTR - SSE	MTR - SSE	MTR	SSE	/	13,95	5275	282,93	2	725	3x1x630
LINEA MTR - SSE	MTR - SSE	MTR	SSE	/	13,95	5275	282,93	2	725	3x1x630
POTENZA COMPLESSIVA				32,670	27,900					

Tabella 1. Cavi MT

Considerata la potenza dei sottocampi e l'energia vettoriata sulle linee di media tensione si avranno correnti massime pari a circa 282,93 A alla tensione di 30kV.

Le tabelle che seguono riportano 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. Oltre al dimensionamento vengono riportati i valori per la verifica della caduta di tensione e della perdita di potenza.

LINEA	TRATTE	PARTENZA	ARRIVO	Potenza nominale [MVA]	Lunghezza cavo [m]	Corrente di impiego I_b [A]	N.circuiti nella sezione scavo	K correttivo	Portata minima del cavo I_{0_min} [A]	Portata cavo nominale I_0 [A]	Verifica $I_0 > I_{0_min}$	Sezione cavo [mm ²]	Dimensio namento in portata
SOTTOCAMPO A	PS5 - PS4	PS5	PS4	5,40	315	109,52	1	0,74	148,83	368	OK	3x1x185	40%
	PS4 - MTR	PS4	MTR	10,80	675	219,04	2	0,63	346,13	636	OK	3x1x500	54%
SOTTOCAMPO B	PS3 - PS2	PS3	PS2	5,70	270	115,61	1	0,74	157,10	368	OK	3x1x185	43%
	PS2 - MTR	PS2	MTR	11,40	440	231,21	2	0,63	365,35	636	OK	3x1x500	57%
SOTTOCAMPO C	PS1 - MTR	PS1	MTR	5,70	255	115,61	1	0,74	157,10	368	OK	3x1x185	43%
INEA MTR - SSE	MTR - SSE	MTR	SSE	13,95	5275	282,93	2	0,63	447,08	725	OK	3x1x630	62%
INEA MTR - SSE	MTR - SSE	MTR	SSE	13,95	5275	282,93	2	0,63	447,08	725	OK	3x1x630	62%
POTENZA COMPLESSIVA				27,900									

Tabella 2 - Dimensionamento cavi MT con criterio termico

LINEA	TRATTE	Potenza nominale [MVA]	Lunghezza a cavo [m]	Corrente di impiego I_b [A]	Sezione cavo [mm ²]	Dimensio namento in portata	Resistenza cavo [Ω]	Reattanza cavo [Ω]	Potenza reattiva [MVAR]	ΔV %	ΔV % cumulato	Verifica $\Delta V \% < 2\%$	Potenza persa [kW]	Δp %	Verifiche $\Delta p \% < 5\%$
SOTTOCAMPO A	PS5 - PS4	5,40	315	109,52	3x1x185	40%	0,0687	0,038	1,775	0,05%	0,14%	OK	2,471	0,05%	OK
	PS4 - MTR	10,80	675	219,04	3x1x500	54%	0,0557	0,068	3,550	0,09%	0,09%	OK	8,016	0,07%	OK
SOTTOCAMPO B	PS3 - PS2	5,70	270	115,61	3x1x185	43%	0,0589	0,032	1,873	0,04%	0,04%	OK	2,360	0,04%	OK
	PS2 - MTR	11,40	440	231,21	3x1x500	57%	0,0363	0,044	3,747	0,06%	0,06%	OK	5,822	0,05%	OK
SOTTOCAMPO C	PS1 - MTR	5,70	255	115,61	3x1x185	43%	0,0556	0,031	1,873	0,04%	0,04%	OK	2,229	0,04%	OK
MTR - SSE	MTR - SSE	13,95	5275	282,93	3x1x630	62%	0,3898	0,522	4,585	0,87%	0,87%	OK	93,617	0,67%	OK
MTR - SSE	MTR - SSE	13,95	5275	282,93	3x1x630	62%	0,3898	0,522	4,585	0,87%	0,87%	OK	93,617	0,67%	OK
POTENZA COMPLESSIVA		27,900											PERDITE TOTALI RETE (KW)	208,131	
													PERDITE TOTALI RETE (%)	0,75%	

Tabella 3 - Verifica della caduta di tensione e della perdita di potenza dei cavi MT

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	10

Si riportano nella tabella seguente le caratteristiche tecniche del cavo utilizzato.

Tipo	ARP1H5(AR)E o equivalente		
Tensione nominale [kV]:	18/30		
Formazione e sezione [mm ²]:	3 x 1 x 185	3x1x500	3x1x630
Resistenza a 105 °C [Ω /km]:	0,218	0,0825	0,0739
Reattanza [Ω /km]:	0,120	0,100	0,099
Capacità [μ F/km]:	0,230	0,340	0,380
Portata per posa interrata a 20°C [A]	368	636	725

Tabella 4 - Caratteristiche tecniche del cavo MT

3.2. PARCO AGROVOLTAICO

Relativamente alla sola componentistica elettrica, il parco fotovoltaico nel suo complesso risulta composto da:

- Moduli fotovoltaici;
- Inverter di stringa, che avranno la funzione di convertire la corrente da continua ad alternata;
- N. 5 Power Station (PS). Le Power Station o cabine di campo avranno la funzione di elevare la tensione da bassa a media tensione; esse saranno collegate tra loro in entrata-uscita.
- N. 1 N.1 Main technical room (cabina principale di impianto), contenenti quadri ausiliari BT, quadri MT generali di impianto, trafo servizi ausiliari;
- N. 1 Control Room (CR) di impianto, destinato ad ospitare gli uffici, il sistema di telecontrollo, nonché deposito materiali.
- Sistema di monitoraggio e telecontrollo, che sovrintende e supervisiona il funzionamento del parco fotovoltaico e le eventuali anomalie.
- Cavi di collegamento CC dalle stringhe agli inverter;
- Cavi di collegamento BT dagli inverter alle Power Station;
- Cavi di collegamento MT fra le Power Station, suddivisi in 3 sottocampi (Sottocampo A, B e C).

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	11

4. VALORI LIMITE DI RIFERIMENTO

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

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

4.1. DEFINIZIONI

L'esposizione a campi elettromagnetici molto intensi è dannosa per la salute umana. I campi elettromagnetici interagiscono con il corpo umano provocando una risposta che dipende dall'intensità del campo e che può tradursi in un effetto biologico; tale interazione non implica necessariamente un danno alla salute.

Le grandezze indicative degli effetti che i campi elettrici, magnetici e elettromagnetici hanno sulla salute possono classificarsi in due tipi di grandezze:

- Grandezze interne, nel senso che vanno misurate all'interno del corpo. Queste, non sono sempre misurabili direttamente, vengono di seguito elencate:
 - Densità di corrente (J) espressa in A/m^2 ;
 - Tasso di assorbimento specifico di energia (SAR) espresso in W/kg ;
 - Densità di potenza (S) espressa in W/m^2 ;
- Grandezze esterne, cioè campo elettrico indisturbato e campo magnetico;

La legge n.36 del 22/02/2001 fornisce le seguenti definizioni:

- Limiti di esposizione: valori di CEM che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela dagli effetti acuti;
- Valori di attenzione: valori di CEM che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate (superiore a 4 ore giornaliere). Essi costituiscono la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti di lungo periodo;
- Obiettivi di qualità: valori di CEM causati da singoli impianti o apparecchiature da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili. Costituiscono valori a cui far tendere quelli di attenzione nelle nuove costruzioni, al fine di consentire la minimizzazione dell'esposizione della popolazione e dei lavoratori ai CEM anche per la protezione da possibili effetti di lungo

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	12

periodo.

I valori associati a queste definizioni e riguardanti il pubblico sono fissati dai DPCM n.199 e n. 200 del 2003.

La protezione dei lavoratori dai rischi legati alle radiazioni non ionizzanti e i limiti di esposizione sono invece definiti dal D.lgs 81/08, quelli relativi alle radiazioni ionizzanti dal D.lgs 230/95.

In realtà il D.lgs 81/08 non fissa i limiti di esposizione ma richiama le linee guida dell'ICNIRP e impone al datore di lavoro di effettuare, tramite personale qualificato, una valutazione del rischio con cadenza almeno quadriennale e comunque ogniqualvolta si effettuano delle modifiche che possono rendere il documento di valutazione obsoleto e di prendere tutte le precauzioni atte a ridurre il rischio di esposizione; la valutazione richiede il calcolo o la misura dei livelli di esposizione.

4.2. 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 a frequenza industriale (50Hz) 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)

Tabella 5. Valori limite alla frequenza industriale

4.3. 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.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	13

5. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAGLI ELETTRODOTTI INTERRATI

Quella che viene presentata in questi paragrafi è una valutazione analitica del campo magnetico generato dagli elettrodotti interrati, 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 interrato occorre innanzitutto distinguere gli elettrodotti in funzione della tipologia dei cavi utilizzati.

Il progetto, infatti, prevede l'utilizzo di cavi unipolari del tipo in alluminio schermati in posa a trifoglio per tutte le sezioni di cavo.

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

Cavi in isolamento HPTE			
Tensione (kV)	30		
Sezione (mm²)	185	500	630
Tipo posa	Trifoglio		
Profondità posa (m)	1,10		

Tabella 6. Cavi e posa utilizzati per l'impianto

5.1. VALUTAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO

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 procederà adesso ad una valutazione specifica del campo magnetico.

5.1.1. Modello di calcolo normalizzato

Il modello normalizzato per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta in una sezione trasversale di una linea elettrica aerea è descritto nella norma CEI 211-4, che viene considerato applicabile anche alle linee in cavo interrato.

Si tratta di un modello bidimensionale che applica la legge di Biot e Savart per determinare l'induzione magnetica dovuta a ciascun conduttore percorso da corrente e quindi la sovrapposizione degli effetti per determinare l'induzione magnetica totale, tenendo ovviamente conto delle fasi delle correnti, supposte simmetriche ed equilibrate.

Vengono assunte le seguenti schematizzazioni della linea:

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	14

- 1) Tutti i conduttori sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
- 2) Le correnti sono considerate concentrate negli assi centrali dei conduttori aerei o dei cavi e, nel caso dei conduttori aerei a fascio, negli assi centrali dei fasci, cioè negli assi dei cilindri aventi come generatrici gli assi dei subconduttori dei fasci;
- 3) Per le linee aeree non vengono considerate le correnti indotte nelle funi di guardia in quanto il loro effetto sull'induzione magnetica è ritenuto trascurabile; analogamente per le linee in cavo interrato non si tiene conto delle correnti indotte negli schermi;
- 4) Il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico e quindi si trascurano le immagini dei conduttori rispetto al suolo, che alla frequenza industriale risultano a profondità molto elevate;

In alcuni casi particolari può risultare appropriato eseguire valutazioni con metodi più completi di tipo tridimensionale, come cabine e stazioni (CEI 106-11).

L'algoritmo di calcolo, implementabile con codici relativamente semplici, considera in sintesi i seguenti passi (CEI 106-11 par.6.1):

- i valori efficaci e le fasi delle correnti sinusoidali sui conduttori sono rappresentati attraverso fasori (numeri complessi): I_i è il fasore della corrente i ; sul conduttore i ;
- con riferimento ad un generico punto di coordinate (x_p, y_p) sul piano ortogonale ai conduttori si calcolano i fasori delle componenti spaziali dell'induzione magnetica totale B_x , e B_y attraverso le formule riportate sotto. Inoltre viene riportata una figura nella quale è anche illustrato il significato dei simboli usati nelle formule stesse, con riferimento alle linee aeree e a quelle in cavo interrato; per queste ultime la profondità di posa dei cavi (coordinata del centro geometrico di ciascun cavo) va introdotta con il segno negativo; per semplicità e maggior chiarezza, gli schemi riportati si riferiscono a linee a semplice terna, ma ovviamente le formule sotto riportate valgono per linee a doppia terna, introducendo opportunamente i fasori delle correnti in modo da rappresentare la disposizione delle fasi;

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	15

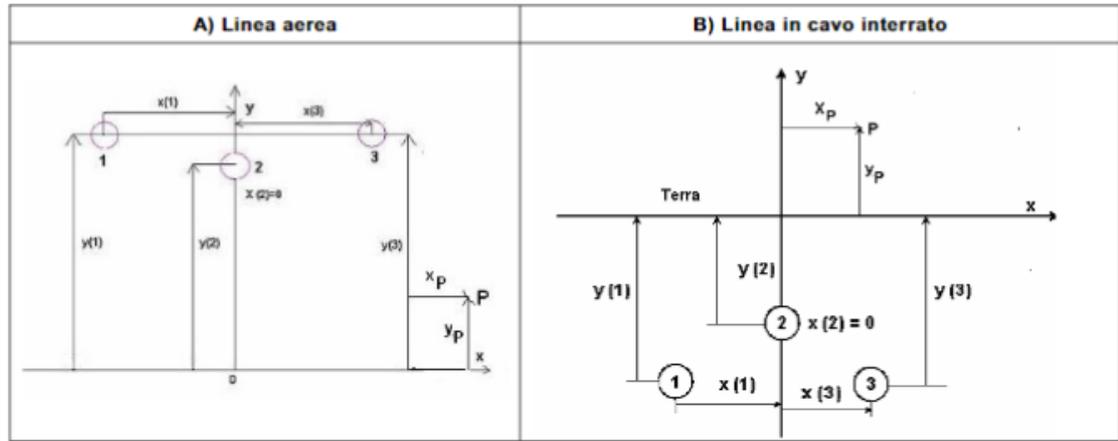


Figura 1. Rappresentazione di una terna aerea o in cavo e simboli utilizzati nelle formule

$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y_P}{(x_P - x_i)^2 + (y_P - y_i)^2} \right] ; B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x_P - x_i}{(x_P - x_i)^2 + (y_P - y_i)^2} \right] ; B_z = 0$$

- il valore efficace dell'induzione B magnetica viene ottenuto nel modo seguente:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

5.1.2. Formule analitiche approssimate

In alternativa all'utilizzazione del modello di calcolo normalizzato, che richiede l'uso di codici di calcolo, si può ricorrere a formule analitiche approssimate, che permettono il calcolo immediato dell'induzione magnetica ad una data distanza dal centro geometrico dei conduttori della linea elettrica o reciprocamente la distanza da tale centro geometrico a cui si verifica un prefissato valore di induzione magnetica.

Tali formule derivano dalla considerazione che l'induzione magnetica generata da un sistema di conduttori di lunghezza infinita e tra di loro paralleli può essere espresso dalla scomposizione in serie della legge di Biot-Savart e che punti relativamente lontani dai conduttori, quali quelli di interesse per la valutazione delle fasce di rispetto a 3 μ T, lo sviluppo in serie può essere troncato al primo termine con un'approssimazione tanto più accettabile tanto più elevata è la distanza dei conduttori.

Le caratteristiche principali dei cavi interrati sono:

- Che essi si mantengono sempre paralleli alla superficie del terreno;
- Che la distanza tra i conduttori è piccola;

In particolare, nell'impianto agrovoltico "AGV Cuddia", le configurazioni di posa per la linea MT sono le seguenti:

- Linea elettrica in cavo interrato costituita da 1 terna di cavi MT posate a trifoglio, sezione 185 mm², profondità di posa 1,10 m;
- Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne (caso più svantaggioso) di cavi MT

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	16

posate a trifoglio, sezione 500 mm², profondità di posa 1,10 m;

- Linea elettrica in cavo interrato costituita da 2 terne di cavi MT¹ posate a trifoglio, sezione 630 mm², profondità di posa 1,10 m.

Di conseguenza si analizzano nel prossimo paragrafo le diverse configurazioni di posa.

5.1.3. Cavi unipolari posati a trifoglio a singola o doppia terna

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

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S \cdot I}{R^2} \quad [\mu T] \quad ; \quad R = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I} \quad [m]$$

Lo schema è riportato nella figura seguente.

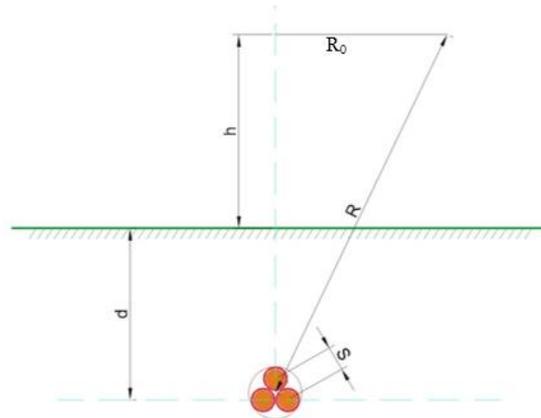


Figura 2. Schema di una terna di cavi unipolari posati a trifoglio a singola terna

B [μT] 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].

In questo caso, la formula semplificata per il calcolo diretto della distanza R_0 dall'asse della linea a livello del suolo ($h=0$) oltre la quale l'induzione magnetica scende al di sotto del valore di 3 μT è la seguente:

$$R_0 = \sqrt{0,082 \cdot S \cdot I - d^2}$$

Quando si tratta invece di una doppia terna (anche più), considerando 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.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	17

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 (indicativa per due terne):

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_1 \cdot I_1}{R_1^2} + 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_2 \cdot I_2}{R_2^2} \quad [\mu T]$$

$$R_1 = 0,286 \cdot \sqrt{S_1 \cdot I_1} \quad ; \quad R_2 = 0,286 \cdot \sqrt{S_2 \cdot I_2} \quad [m]$$

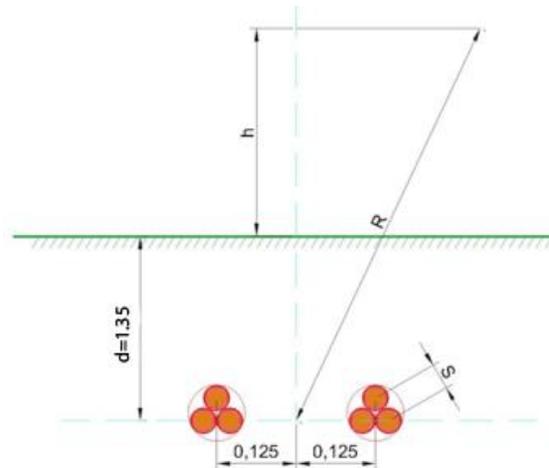


Figura 3. Schema di cavi unipolari posati a trifoglio a doppia terna

5.1.4. Calcolo induzione magnetica

Per quanto riguarda la corrente I_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 interrata 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:

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	18

	CASO A	CASO B	CASO C
Sezione terne [mm ²]	3x1x185	2x(3x1x500)	2x(3x1x630)
Diametro esterno cavi [mm]	42	56	61
Profondità di posa dei cavi [m]	-1,10	-1,10	-1,10
Distanza terna 1 dall'asse y [m]	0	-0,125	-0,125
Distanza terna 2 dall'asse y [m]	/	+0,125	+0,125
Portata cavo nominale [A]	368	636	725
Fattore correttivo K	0,74	0,63	0,63
Portata cavo corretta [A]	270,80	402,49	458,82

Tabella 7. Condizioni operative degli elettrodotti

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

5.1.4.1. Caso A – Singola terna con sezione pari a 185 mm²

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, nel caso di singola terna con cavi di sezione pari a 185 mm².

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]
-10,00	0,02668	0,02610	0,02542	0,02466	0,02385
-9,50	0,02943	0,02872	0,02790	0,02699	0,02602
-9,00	0,03262	0,03175	0,03075	0,02965	0,02848
-8,50	0,03634	0,03526	0,03403	0,03270	0,03128
-8,00	0,04072	0,03937	0,03785	0,03620	0,03448
-7,50	0,04593	0,04421	0,04230	0,04025	0,03813
-7,00	0,05216	0,04996	0,04753	0,04496	0,04233
-6,50	0,05971	0,05684	0,05372	0,05046	0,04717
-6,00	0,06894	0,06515	0,06108	0,05690	0,05275
-5,50	0,08038	0,07528	0,06989	0,06447	0,05920
-5,00	0,09473	0,08772	0,08050	0,07339	0,06663
-4,50	0,11297	0,10315	0,09330	0,08389	0,07517
-4,00	0,13650	0,12241	0,10878	0,09620	0,08491
-3,50	0,16722	0,14655	0,12745	0,11051	0,09587
-3,00	0,20775	0,17677	0,14970	0,12686	0,10794
-2,50	0,26135	0,21414	0,17566	0,14503	0,12081
-2,00	0,33127	0,25892	0,20470	0,16427	0,13388
-1,50	0,41831	0,30921	0,23490	0,18317	0,14617
-1,00	0,51496	0,35901	0,26258	0,19957	0,15643
-0,50	0,59784	0,39743	0,28255	0,21090	0,16330
0,00	0,63174	0,41212	0,28990	0,21497	0,16573

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	19

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]
0,50	0,59784	0,39743	0,28255	0,21090	0,16330
1,00	0,51496	0,35901	0,26258	0,19957	0,15643
1,50	0,41831	0,30921	0,23490	0,18317	0,14617
2,00	0,33127	0,25892	0,20470	0,16427	0,13388
2,50	0,26135	0,21414	0,17566	0,14503	0,12081
3,00	0,20775	0,17677	0,14970	0,12686	0,10794
3,50	0,16722	0,14655	0,12745	0,11051	0,09587
4,00	0,13650	0,12241	0,10878	0,09620	0,08491
4,50	0,11297	0,10315	0,09330	0,08389	0,07517
5,00	0,09473	0,08772	0,08050	0,07339	0,06663
5,50	0,08038	0,07528	0,06989	0,06447	0,05920
6,00	0,06894	0,06515	0,06108	0,05690	0,05275
6,50	0,05971	0,05684	0,05372	0,05046	0,04717
7,00	0,05216	0,04996	0,04753	0,04496	0,04233
7,50	0,04593	0,04421	0,04230	0,04025	0,03813
8,00	0,04072	0,03937	0,03785	0,03620	0,03448
8,50	0,03634	0,03526	0,03403	0,03270	0,03128
9,00	0,03262	0,03175	0,03075	0,02965	0,02848
9,50	0,02943	0,02872	0,02790	0,02699	0,02602
10,00	0,02668	0,02610	0,02542	0,02466	0,02385

Tabella 8. Valori di induzione magnetica per una terna di sezione pari a 185 mm² calcolata in diversi punti

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.

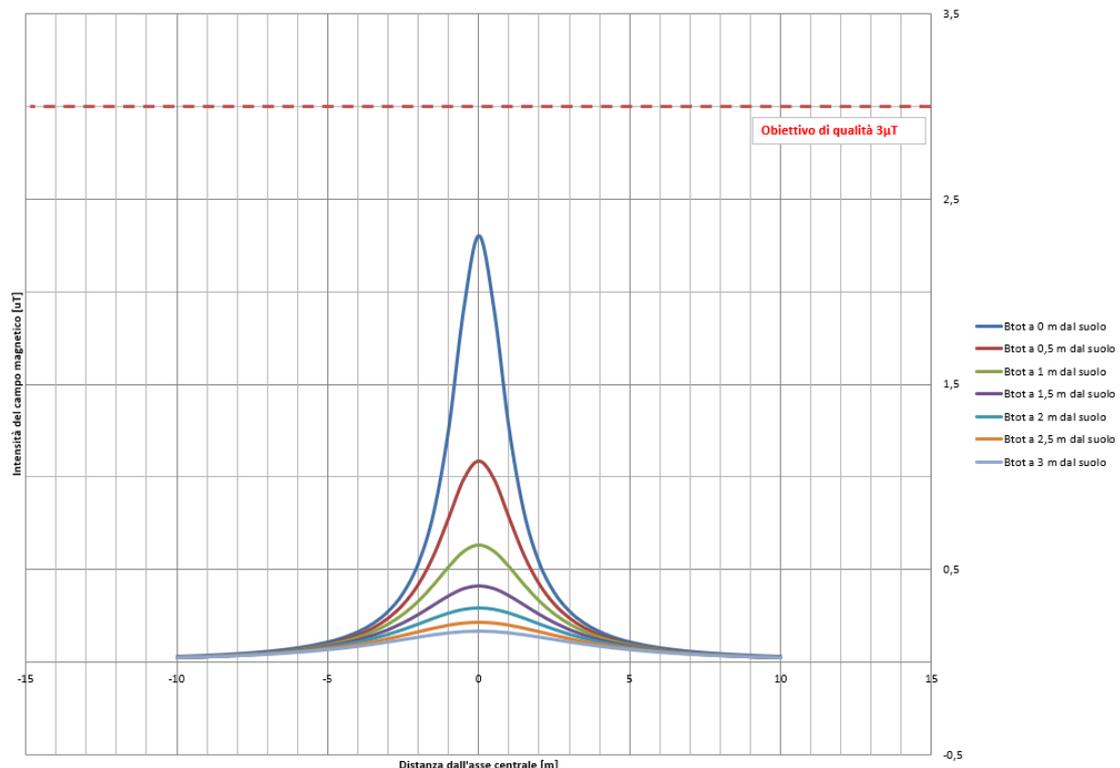


Figura 4. Distribuzione dell'induzione magnetica al di sopra del piano di calpestio per una terna con sezione pari a 185 mm²

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	20

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 1 m dal piano di calpestio, pari a $0,632 \mu\text{T}$, inferiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma. **Pertanto, in questo caso specifico non sarà necessario prevedere DPA.**

5.1.4.2. Caso B – Doppia terna con sezione pari a 500 mm^2

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, nel caso di doppia terna con cavi di sezione pari a 500 mm^2 .

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]
-10,00	0,10580	0,10347	0,10078	0,09779	0,09456
-9,50	0,11670	0,11387	0,11062	0,10703	0,10317
-9,00	0,12935	0,12588	0,12192	0,11757	0,11293
-8,50	0,14412	0,13983	0,13495	0,12964	0,12403
-8,00	0,16151	0,15614	0,15009	0,14355	0,13670
-7,50	0,18216	0,17535	0,16776	0,15962	0,15120
-7,00	0,20690	0,19817	0,18852	0,17831	0,16787
-6,50	0,23686	0,22548	0,21306	0,20012	0,18705
-6,00	0,27352	0,25846	0,24228	0,22567	0,20920
-5,50	0,31894	0,29864	0,27724	0,25571	0,23476
-5,00	0,37593	0,34804	0,31931	0,29108	0,26424
-4,50	0,44842	0,40929	0,37012	0,33272	0,29810
-4,00	0,54190	0,48575	0,43155	0,38153	0,33670
-3,50	0,66399	0,58161	0,50557	0,43826	0,38011
-3,00	0,82503	0,70153	0,59380	0,50305	0,42792
-2,50	1,03788	0,84967	0,69661	0,57495	0,47887
-2,00	1,31516	1,02693	0,81148	0,65103	0,53052
-1,50	1,65932	1,22552	0,93073	0,72567	0,57908
-1,00	2,03949	1,42155	1,03976	0,79034	0,61957
-0,50	2,36330	1,57218	1,11829	0,83497	0,64669
0,00	2,49502	1,62967	1,14715	0,85098	0,65626
0,50	2,36330	1,57218	1,11829	0,83497	0,64669
1,00	2,03949	1,42155	1,03976	0,79034	0,61957
1,50	1,65932	1,22552	0,93073	0,72567	0,57908
2,00	1,31516	1,02693	0,81148	0,65103	0,53052
2,50	1,03788	0,84967	0,69661	0,57495	0,47887
3,00	0,82503	0,70153	0,59380	0,50305	0,42792
3,50	0,66399	0,58161	0,50557	0,43826	0,38011
4,00	0,54190	0,48575	0,43155	0,38153	0,33670
4,50	0,44842	0,40929	0,37012	0,33272	0,29810
5,00	0,37593	0,34804	0,31931	0,29108	0,26424
5,50	0,31894	0,29864	0,27724	0,25571	0,23476
6,00	0,27352	0,25846	0,24228	0,22567	0,20920

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	21

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]
6,50	0,23686	0,22548	0,21306	0,20012	0,18705
7,00	0,20690	0,19817	0,18852	0,17831	0,16787
7,50	0,18216	0,17535	0,16776	0,15962	0,15120
8,00	0,16151	0,15614	0,15009	0,14355	0,13670
8,50	0,14412	0,13983	0,13495	0,12964	0,12403
9,00	0,12935	0,12588	0,12192	0,11757	0,11293
9,50	0,11670	0,11387	0,11062	0,10703	0,10317
10,00	0,10580	0,10347	0,10078	0,09779	0,09456

Tabella 9. Valori di induzione magnetica per una doppia terna di sezione pari a 500 mm² calcolata in diversi punti

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.

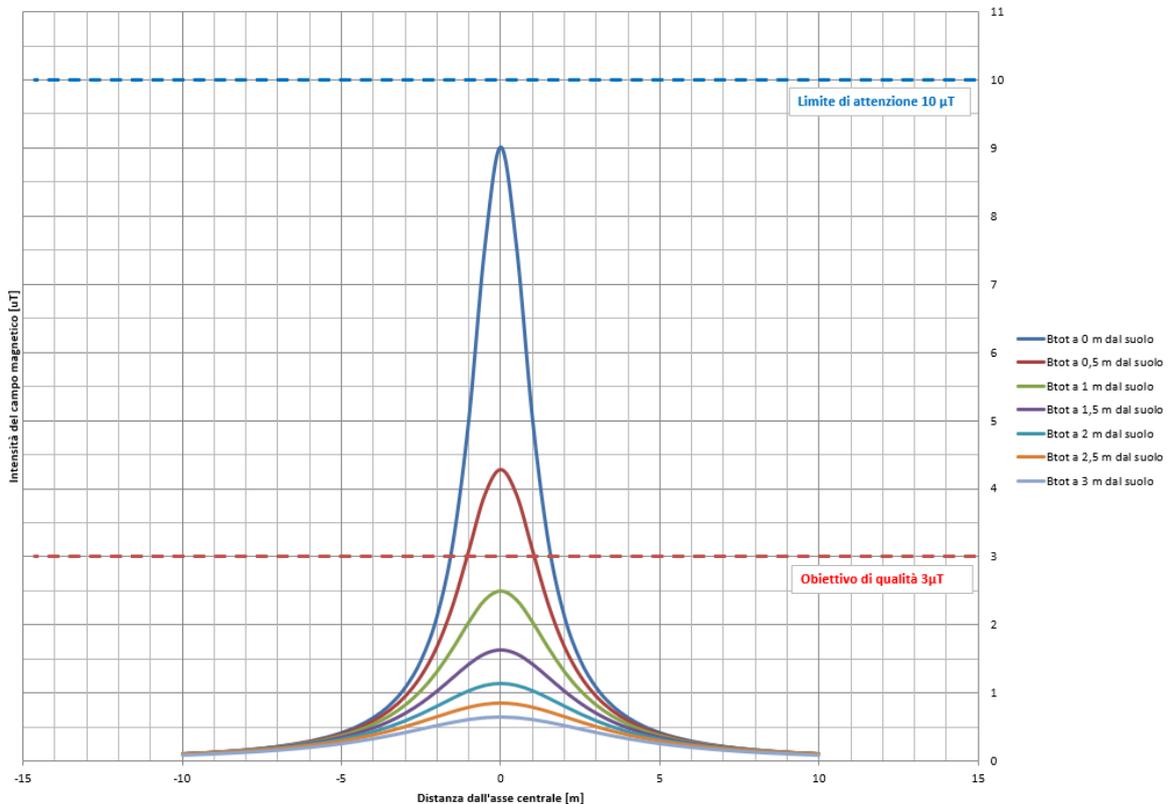


Figura 5. Distribuzione dell'induzione magnetica al di sopra del piano di calpestio per una doppia terna con sezione pari a 500 mm²

Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3 μT, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale a 1 m dal piano di calpestio, pari a 2,495 μT, inferiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma. **Pertanto, in questo caso specifico non sarà necessario prevedere DPA.**

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22

5.1.4.3. Caso C – Doppia terna con sezione pari a 630 mm²

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, nel caso di doppia terna con cavi di sezione pari a 630 mm².

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]
-10,00	0,13132	0,12842	0,12508	0,12137	0,11737
-9,50	0,14485	0,14134	0,13730	0,13284	0,12806
-9,00	0,16054	0,15624	0,15132	0,14592	0,14017
-8,50	0,17888	0,17355	0,16750	0,16091	0,15395
-8,00	0,20046	0,19379	0,18628	0,17816	0,16967
-7,50	0,22609	0,21764	0,20821	0,19812	0,18767
-7,00	0,25680	0,24596	0,23398	0,22131	0,20835
-6,50	0,29398	0,27986	0,26445	0,24838	0,23217
-6,00	0,33948	0,32079	0,30070	0,28010	0,25965
-5,50	0,39586	0,37066	0,34410	0,31738	0,29138
-5,00	0,46659	0,43197	0,39632	0,36128	0,32796
-4,50	0,55656	0,50799	0,45939	0,41296	0,36999
-4,00	0,67258	0,60290	0,53563	0,47355	0,41790
-3,50	0,82413	0,72187	0,62750	0,54395	0,47178
-3,00	1,02400	0,87071	0,73701	0,62437	0,53112
-2,50	1,28818	1,05458	0,86461	0,71360	0,59435
-2,00	1,63233	1,27460	1,00718	0,80803	0,65846
-1,50	2,05949	1,52108	1,15520	0,90067	0,71873
-1,00	2,53135	1,76438	1,29052	0,98095	0,76899
-0,50	2,93325	1,95133	1,38798	1,03634	0,80265
0,00	3,09674	2,02269	1,42380	1,05621	0,81453
0,50	2,93325	1,95133	1,38798	1,03634	0,80265
1,00	2,53135	1,76438	1,29052	0,98095	0,76899
1,50	2,05949	1,52108	1,15520	0,90067	0,71873
2,00	1,63233	1,27460	1,00718	0,80803	0,65846
2,50	1,28818	1,05458	0,86461	0,71360	0,59435
3,00	1,02400	0,87071	0,73701	0,62437	0,53112
3,50	0,82413	0,72187	0,62750	0,54395	0,47178
4,00	0,67258	0,60290	0,53563	0,47355	0,41790
4,50	0,55656	0,50799	0,45939	0,41296	0,36999
5,00	0,46659	0,43197	0,39632	0,36128	0,32796
5,50	0,39586	0,37066	0,34410	0,31738	0,29138
6,00	0,33948	0,32079	0,30070	0,28010	0,25965
6,50	0,29398	0,27986	0,26445	0,24838	0,23217
7,00	0,25680	0,24596	0,23398	0,22131	0,20835
7,50	0,22609	0,21764	0,20821	0,19812	0,18767
8,00	0,20046	0,19379	0,18628	0,17816	0,16967
8,50	0,17888	0,17355	0,16750	0,16091	0,15395
9,00	0,16054	0,15624	0,15132	0,14592	0,14017
9,50	0,14485	0,14134	0,13730	0,13284	0,12806
10,00	0,13132	0,12842	0,12508	0,12137	0,11737

Tabella 10. Valori di induzione magnetica per una doppia terna di sezione pari a 630 mm² calcolata in diversi punti

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	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 1 m a 3 m da terra), ossia la distribuzione del campo su piani fuori terra paralleli al suolo.

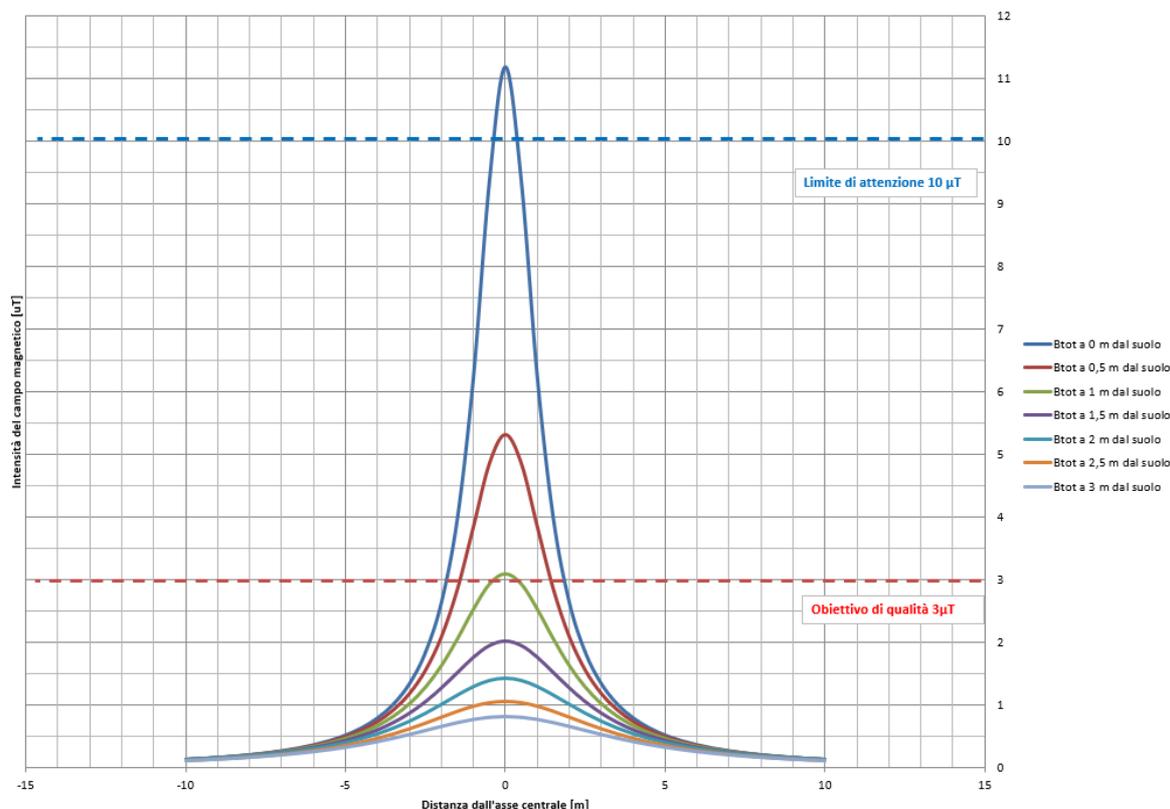


Figura 6. Distribuzione dell'induzione magnetica al di sopra del piano di calpestio per una doppia terna con sezione pari a 630 mm²

Ricordando che l'obiettivo da rispettare per il caso in esame è l'obiettivo di qualità, pari a 3 µT, si rileva che l'elettrodotto oggetto di studio produce un campo magnetico massimo, in corrispondenza all'asse centrale a 1 m dal piano di calpestio, pari a 3,097 µT, superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla norma. Risulta, quindi, necessario individuare una fascia di rispetto, definita, secondo la normativa citata, come la distanza sul piano orizzontale (ad altezza h=1m) dalla proiezione verticale della sorgente alla quale il campo elettromagnetico risulta essere inferiore all'obiettivo di qualità pari a 3 µT.

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a 0,5 m, alla quale il campo residuo risulta essere pari a circa 2,93 µT.

Pertanto, relativamente all'elettrodotto in argomento, viene individuata una fascia di rispetto complessiva di 1,00 m, centrata sull'asse dell'elettrodotto (DPA pari a 0,50 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,

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	24

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 40-60%. Pertanto, i campi realmente generati saranno inferiori a quelli calcolati di un fattore pari al 40-60 %.

Infine, sia l'obiettivo di qualità di 3 μ T che il limite di attenzione di 10 μ T fanno riferimento al valore della mediana nelle 24 ore di esercizio. Tutti i dimensionamenti, invece, sono stati eseguiti tenendo conto delle potenze nominali del parco fotovoltaico, ipotizzando il funzionamento a piena potenza. In tal senso, occorre tenere conto delle effettive ore di produzione giornaliera e delle ore serali/notturne in cui l'elettrodotto non risulta trasportare energia, e conseguentemente generare campi elettromagnetici.

Data la natura non programmabile della fonte rinnovabile, 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.

In ultimo, si osservi che la fascia complessiva di 1,00 m va applicata al percorso esterno dell'elettrodotto in MT sino alla SSEU.

5.1.5. Valutazione del campo elettrico

In generale l'intensità del campo elettrico generato da una linea elettrica è dipendente dal valore della tensione e della configurazione dei conduttori e decresce rapidamente man mano che ci si allontana dalla linea stessa.

Il campo elettrico generato da una fonte a bassa frequenza, come i 50 Hz degli elettrodotti, è molto facile da schermare. Un buon effetto schermante è determinato da eventuali oggetti o strutture interposte tra la fonte e il recettore, come i normali materiali da costruzione, la vegetazione, il terreno, ecc.

I cavi per le linee elettriche MT, in questo caso cavi ARP1H5(AR)E, sono costituiti da un conduttore centrale in treccia di alluminio rivestito da un materiale isolante di qualità HPTE. Quest'ultimo è avvolto da una speciale protezione dalle infiltrazioni d'acqua e viene schermato attraverso un nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale ($R_{max} 3\Omega/km$).

Grazie a tale schermo, anche senza considerare gli eventuali ulteriori effetti schermanti esposti nelle considerazioni generali di cui sopra, il campo elettrico prodotto da una linea elettrica in cavo interrato può essere considerato nullo.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	25

6. CAMPO ELETTROMAGNETICO GENERATO DAL PARCO FOTOVOLTAICO

Le principali componenti del parco fotovoltaico che risultano essere fonte di campi elettromagnetici sono le Power Station, PS, al cui interno è presente un trasformatore MT/BT. La Main Technical Room, MTR può essere considerato come un punto di raccolta dell'energia a 30 kV, quindi per la MTR potrà essere considerata la DPA calcolata per il caso trattato al precedente paragrafo 5.1.4.3.

Le sorgenti operano con correnti e tensioni di esercizio tali che i campi elettromagnetici prodotti risultano estinti nell'arco di pochi metri dalle sorgenti stesse.

Considerato, inoltre, che i siti di installazione di PS ed MTR si trovano a decine di metri di distanza da viabilità pubbliche, ne consegue che ai fini della verifica del rispetto dell'obiettivo di qualità su possibili recettori, si possa considerare nullo l'effetto di tali sorgenti.

Inoltre, la struttura metallica entro la quale tali apparecchiature sono collocate, funge da ulteriore schermatura per i campi elettrici, attenuandone ulteriormente l'intensità.

6.1. CABINA PRINCIPALE DI IMPIANTO MTR

Relativamente alla cabina principale di impianto, denominata MTR, si fa notare come tale cabina secondaria consista in una cabina di smistamento e non di trasformazione.

Pertanto, secondo quanto indicato dalle linee guida dell'ente gestore citate in precedenza, la DPA (distanza di prima approssimazione) è da considerarsi come quella della linea MT entrante/uscente.

Per la cabina MTR, si considererà una DPA pari a 1,00 m, così come calcolato al paragrafo 5.1.4.3.

Dalla consultazione della planimetria di impianto, si rileva che le MTR sono distanti decine di metri da aree interessate da fruizione pubblica; al massimo la DPA ricade all'interno della fascia di mitigazione alberata, non interessata dalla presenza continuativa dell'uomo.

6.2. POWER STATION

Relativamente alle PS, assimilabili a cabine secondarie di trasformazione, sono state individuate le distanze di prima approssimazione secondo quanto indicato dalle linee guida ENEL già citate, ed in particolare all'allegato B10 della guida e alle formule di calcolo contenute nel par. 5.2.1 dell'allegato al DM 29/05/2008.

In particolare, la DPA è intesa come la distanza da ciascuna delle pareti della cabina secondaria, 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 del cavo (x), ossia

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	26

conduttore più isolante.

La relazione da applicare è la seguente:

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

Considerando il trasformatore in progetto della taglia di circa 6.600 kVA, il valore di I da prendere in considerazione è pari a circa 4.765 A alla tensione di 800 V.

Supponendo per i cavi in uscita dal trasformatore la sezione 400 mm² del tipo ARE4R, 0.6/1 kV, il valore del diametro esterno, x, risulta essere pari a 32,0 mm.

Utilizzando tali valori per il calcolo, la DPA risulta essere pari a circa 4,65 m.

Pertanto, relativamente alle PS viene individuata intorno ad esse una fascia di rispetto pari a 4,70 m, al di fuori della quale è garantito il rispetto dell'obiettivo di qualità richiesto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.11 - ECON792PDRrti011R0	IMPIANTO AGROVOLTAICO "AGV CUDDIA" RELAZIONE SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI	27

7. 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).

Dalle valutazioni condotte nel corpo del presente documento, si conclude che in quasi tutti i casi considerati, le DPA ricadono all'interno del perimetro di impianto.

Di seguito i principali risultati:

- **Elettrodotti:**

E' stato individuato un modello di calcolo per i diversi casi di posa con cavi unipolari posati a trifoglio ad una profondità di 1,10 m.

Il caso in cui si deve prevedere una DPA è per il cavo MT composto da due terne di sezione pari a 630 mm². La DPA è pari a 0,5 m dall'asse in cui passa l'elettrodotto.

- **Cabine interne al parco fotovoltaico:**

Sono stati calcolati i campi elettromagnetici legati alla presenza della MTR e delle Power Station, per le quali è stata determinata la relativa DPA.

L'entità delle DPA è tale da ricadere all'interno delle aree interessate dalle opere, senza interferenze con luoghi da tutelare.