



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 1

Sommario

PREMESSA.....	2
1 INTRODUZIONE AL PROGETTO	2
1.1 Inquadramento territoriale	2
2 SINTESI DEL QUADRO NORMATIVO	5
3 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO	7
4 CARATTERISTICHE DELLA LINEA ESISTENTE.....	8
5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE NELLE VARIE SITUAZIONI.....	14
6 SIMULAZIONI DELL'INDUZIONE MAGNETICHE NEI VARI CASI	15
7 METODOLOGIA E CALCOLO	16
8 SISTEMI DI SCHERMATURA DEGLI ELETTRODOTTI INTERRATI.....	20
8.1 Sistemi di schermatura degli elettrodotti interrati.....	20
8.2 Prestazioni schermanti delle canalette schermanti.....	21
9 CALCOLO DELLA DPA NELLE BUCHE GIUNTI.....	23
9.1 Buca giunti per linea 3x4x630 mm ²	24
9.2 Buca giunti per linea 3x1x1600 mm ²	28
10 CALCOLO DELLA DPA NELLA MTR.....	31
11 CALCOLO DELLA DPA NELLE STAZIONI ELETTRICHE	35
12 CONSIDERAZIONI FINALI	36
13 ALLEGATI	37



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 2

PREMESSA

Il presente documento costituisce la **Relazione sui campi elettromagnetici**, parte integrante del Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di generazione di energia da fonte solare di tipo agrivoltaica per una potenza nominale pari a 40 MWp (40 MW in immissione), costituito da moduli fotovoltaici montati su strutture ad inseguimento monoassiale o tracker.

L'area interessata dal parco agrivoltaico ricade nel territorio comunale di Pradamano in località "Colli Giacomelli" in provincia di Udine, capoluogo della regione Friuli-Venezia Giulia, le opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale interessano il comune di Remanzacco in località "Il Pasco". Un cavidotto interrato in media tensione collegherà l'impianto alla SSE utente di trasformazione 30/132 kV, da quest'ultima tramite lo stallo condiviso già in fase di autorizzazione un cavidotto interrato in AT collegherà la SSE Utente di Trasformazione con l'adeguamento/ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 220/132 kV denominata "Udine Nord Est".

Il soggetto proponente l'iniziativa è la società **D2M FRIULI S.r.l.**, e facente parte del gruppo D2M Solar Energy, società attiva dal 2023, operante nel settore della progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

1 INTRODUZIONE AL PROGETTO

1.1 Inquadramento territoriale

La superficie destinata ad accogliere l'impianto agrivoltaico è situata nel territorio di Pradamano (UD) individuabile nella zona centro-orientale della regione Friuli-Venezia Giulia, nella parte meridionale della provincia di Udine, a circa 10 chilometri dal capoluogo. Il comune è situato in pianura, nella zona della Bassa Friulana. L'area d'impianto dista circa 5 km in linea d'aria a Sud-est da Udine, circa 10 km a Sud-est dal centro abitato di Tavagnacco (UD) e a circa 13 km a Sud-est del centro abitato di Martignacco (UD). L'area è raggiungibile partendo da Udine in direzione Sud-est, imboccando Viale Palmanova/SS13 in direzione Tavagnacco percorrendo successivamente Via Tavagnacco/SP74 e Via Pradamano/SP10, infine continuando su via Pradamano/SP10 fino all'area di localizzazione dell'impianto.

Il sito d'impianto ricade interamente nel comune di Pradamano (UD) e si compone di un unico lotto avente estensione pari a circa 85 ha, denominato nel seguito Area disponibile. Il tracciato del



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

cavidotto di connessione, la stazione di trasformazione e connessione interessano anche il comune di Remanzacco (UD); nel particolare la SSE di trasformazione e connessione si localizza ad una distanza di circa 3,7 km in linea d'aria dall'impianto.

Con riferimento alla cartografia della serie IGM 25V in scala 1:25000 il parco agrivoltaico (inteso come l'insieme delle opere) ricade nel Foglio 025-II-SO Udine in cui ricadono anche le opere di trasformazione e connessione alla RTN. In relazione alla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 il parco agrivoltaico ricade nei fogli 066160 Pradamano, 066120 Remanzacco così come le opere di trasformazione e connessione.

L'area di impianto è stata valutata mediante cartografie e rilievo aerofotogrammetrico, che ha permesso definire le giaciture. La superficie disponibile dal punto di vista morfologico presenta un'area pianeggiante, le quote altimetriche vanno da un massimo di 101 ad un minimo di 88 m s.l.m..

Di seguito si riporta, una tabella riassuntiva ed uno schema di inquadramento territoriale dell'intervento che permette di identificare quanto precedentemente riportato.

Tabella 1 - Inquadramento geografico-catastale dell'impianto agrivoltaico

INQUADRAMENTO TERRITORIALE			
	PARCO FOTOVOLTAICO		PUNTO DI CONNESSIONE
Località impianto	Colli Giacomelli		Il Pasco
Comuni interessati	Pradamano (UD)		Remanzacco (UD)
Inquadramento CTR	066160, 066120		66120
Inquadramento IGM	Foglio 025-II-SO Udine		Foglio 025-II-SO Udine
INQUADRAMENTO CATASTALE DELL'AREA DISPONIBILE			
Comune	Foglio		Particella
Pradamano (UD)	2/A		6-7-14-15-16-17-20-23-24-25-31-40-45-47-48-41-43-44-51-54-62-63-64-71-74-85-86-87-88-92-94-96-100-101-102-103-104-105
Pradamano (UD)	4/A		22-26-249-260-289-287-294-307-303
Superficie SSE			
Comune	Foglio		Particella
Remanzacco (UD)	12		104
PUNTO MEDIANO D'IMPIANTO			
Codice	Coordinate WGS84 (Lat. - Long.)		Quota (m s.l.m.)
PUNTO 01	46° 2'57.51"N	13°17'34.00"E	95



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

TRACCIATO DEL CAVIDOTTO DI CONNESSIONE				
Comune	Strada percorsa	Tipologia di sedime	Distanza [m]	Tipologia di cavidotto
Pradamano (UD)	Via Tarcisio Petracco	Bianca	763	MT
	Via Giuseppe Mazzini	Asfalto	184,90	
	Via Divisione Julia / SP96	Asfalto	468,9	
Remanzacco (UD)	SP96	Asfalto	3179,91	
	Strada Oselin / SP48	Asfalto	1158,06	
	Strada statale 54 del Friuli / SS54	Asfalto	160,01	
	Strada di Salt / SP104	Asfalto	326,22	
	Strada di Ronchis	Asfalto	459,19	
	Bianca	Terreno	54	
	Bianca	Terreno	26,44	
	Strada di Ronchis	Asfalto	21,95	
	Bianca	Terreno	124,20	
OPERE ACCESSORIE				
Piste di impianto	6,2 km circa			
Piazzali di impianto	2.115,50 m²			
Piazzale SSE utente	3393 m²			
Cavidotto MT interrato di connessione	6,7 km circa			
Cavidotto AT	172 m circa			



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

2 SINTESI DEL QUADRO NORMATIVO

Il tema dell'esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici associati agli elettrodotti è stato oggetto di numerosi provvedimenti legislativi.

La normativa base in materia di campi elettromagnetici è la Legge quadro 36/2001. Essa è volta a:

- Assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici ai sensi e nel rispetto dell'articolo 32 della Costituzione;
- Promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e attivare misure di cautela da adottare in applicazione del principio di precauzione di cui all'articolo 174, paragrafo 2, del trattato istitutivo dell'Unione Europea;
- Assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

A seguito di detta legge quadro sono stati emessi i seguenti provvedimenti:

- D.P.C.M. 08/07/2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, del valore 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";
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 29/05/2008 "Approvazione delle metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto";
- Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 29/05/2008 "Approvazione delle procedure di misura e valutazione dell'induzione magnetica".

Successivamente all'emissione dei due DM del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, l'ISPRA ha emesso il documento Disposizioni integrative/interpretative - (versione 7.4 del 2010).

La tabella seguente riporta i limiti definiti dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 08/07/2003 per le esposizioni a campi alla frequenza di rete (50 Hz) associati agli elettrodotti, pertinenti con la valutazione in corso.

Limite di Esposizione	Campo magnetico	100 μ T
	Campo elettrico	5'000 V/m



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 6

Valore di Attenzione per il campo magnetico	10 μ T
Obiettivo di Qualità per il campo magnetico	3 μ T

Le grandezze riportate in tabella fanno riferimento alle seguenti definizioni.

Limite di Esposizione: nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

Valore di Attenzione: 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.

Obiettivo di Qualità: 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.

Elettrodotti: è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

Nel Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 29/05/2008 "Approvazione delle metodologie di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto" viene indicata la modalità di calcolo della Distanza di Prima Approssimazione (DPA), tramite un calcolo bidimensionale, che permette di determinare una fascia di rispetto definita in modo tale per cui se un sito sensibile risulta esterno a tale fascia è sicuramente esposto a campi di intensità inferiore all'obiettivo di qualità di 3 μ T a prescindere dalla sua quota e/o altezza da terra; tale metodo si applica a questa situazione di progetto.

A completamento del quadro tecnico di riferimento, nel seguito si elencano le più significative Norme Tecniche del Comitato Elettrotecnico Italiano in materia:



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 7

- CEI 11-17, "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo"
- CEI 106-11 "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 08/07/2003";
- CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche";
- CEI 211-6 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0Hz–10kHz, con riferimento all'esposizione umana".

Da ultimo, nel caso di esposizione professionale e non della popolazione, occorre citare il Decreto Legislativo 09/04/2008 n° 81, e successive modificazioni ed integrazioni, in materia di "tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro".

In particolare all'interno del D. Leg. 81/2008 viene trattata la "Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione ai campi elettromagnetici" e viene fissato un "valore di azione", da non superare per i possibili effetti nocivi a breve termine sulla salute dei lavoratori esposti a campi elettromagnetici, che alla frequenza di 50 Hz risulta essere pari a 100 μ T. La presente relazione non prende in esame il tema dell'esposizione professionale.

3 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO

L'intensità del campo elettrico associato a un elettrodotto dipende dalla sua tensione di esercizio, dalla disposizione dei conduttori nello spazio e dalla distanza da essi in cui questo viene valutato. In particolare il campo decresce abbastanza rapidamente man mano che ci si allontana dalle linee elettriche ed è schermato anche da oggetti non conduttori quali ad esempio pareti in muratura, vegetazione ad alto fusto, ecc.

Nel presente caso occorre rilevare che i cavi sotterranei sono isolati e sono dotati di uno schermo metallico esterno all'isolamento principale; tale schermo è collegato a terra e di conseguenza i cavi non generano campi elettrici nell'ambiente circostante.

Il valore di campo magnetico è legato alla corrente che transita nei conduttori e quindi variabile nel corso delle 24 ore giornaliere. Al fine di evitare una valutazione in termini statistici delle esposizioni in via cautelativa, e per i nuovi impianti nei quali non è possibile a priori valutare le probabili mediane, per le linee in cavo sotterraneo si fa riferimento alla portata in regime permanente (massimo valore



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

della corrente che, in regime permanente e in condizioni specificate, il conduttore può trasmettere senza che la sua temperatura superi un valore specificato) come definita dalla norma CEI 11-17.

Il campo magnetico è direttamente proporzionale al valore di corrente che percorre i conduttori e dipende anch'esso dalla disposizione di questi nello spazio e dalla distanza in cui viene valutato (decresce con l'aumentare della distanza dalla linea elettrica). A differenza del campo elettrico il campo magnetico non è schermabile da pareti in muratura o vegetazione, ma solo in parte da ampie superfici di materiale ferromagnetico.

Nella presente relazione si farà riferimento al solo campo magnetico.

4 CARATTERISTICHE DELLA LINEA ESISTENTE

L'intervento è illustrato nei vari documenti progettuali.

Il progetto prevede lo studio dei collegamenti elettrici in emissione dall'impianto ed il punto di consegna dell'energia secondo le modalità precedentemente descritte e indicate nella STMG. Per una trattazione più ampia, di seguito si procederà alla descrizione delle configurazioni delle linee elettriche più impiegate.

ARE4H5EE 18/30kV 1x... SK2														
Type	Conductor diameter nominal	Insulation thickness min.	Insulation diameter nominal	Sheaths thickness nominal	Cable diameter approx	Cable weight indicative	Electrical resistance of conductor		X at 50 Hz	C	Current capacity		Short circuit current	
							at 20 °C - d.c. max	at 90 °C - a.c.			in ground at 20 °C	in free air at 30 °C	conductor T _{max} 250°C	screen T _{max} 150°C
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	μF/km	A	A	kA x 1,0 s	kA x 0,5 s
1x50	8,2	7,1	24,7	2,0+2,0	37,5	1.050	0,641	0,822	0,152	0,147	152	192	4,7	1,8
1x70	9,8	7,1	25,8	2,0+2,0	38,6	1.145	0,443	0,568	0,142	0,166	186	238	6,6	1,9
1x95	11,5	6,6	26,5	2,0+2,0	39,4	1.225	0,320	0,411	0,134	0,193	222	288	9,0	1,9
1x120	13,1	6,4	27,7	2,0+2,0	40,6	1.335	0,253	0,325	0,127	0,215	252	332	11,3	2,0
1x150	14,3	6,2	28,5	2,0+2,0	41,5	1.430	0,206	0,265	0,123	0,233	281	375	14,2	2,1
1x185	16,0	6,0	29,8	2,0+2,0	42,8	1.565	0,1640	0,211	0,118	0,258	318	430	17,5	2,1
1x240	18,5	5,8	31,9	2,0+2,0	45,0	1.790	0,1250	0,161	0,112	0,294	369	508	22,7	2,2
1x300	20,7	5,9	34,3	2,0+2,0	47,6	2.035	0,1000	0,129	0,108	0,316	416	583	28,3	2,3
1x400	23,5	6,0	37,3	2,0+2,0	50,7	2.375	0,0778	0,101	0,105	0,344	476	680	37,8	2,5
1x500	26,5	6,1	40,8	2,0+2,0	54,4	2.820	0,0605	0,079	0,101	0,376	543	790	47,2	2,7
1x630	30,0	6,2	44,5	2,0+2,0	58,3	3.360	0,0469	0,063	0,098	0,409	617	918	59,5	2,9



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 9



ARE4H5EE 18/30kV SK2 (SHOCK PROOF 2)
ARE4H5EE 18/30kV 1x400 SK2

CARATTERISTICHE

Caratteristiche costruttive		
Materiale del conduttore		Alluminio
Forma del conduttore		Corda rotonda, rigida e compatta
Flessibilità del conduttore		Classe 2 secondo la IEC 60228
Semiconduttore interno		Mescola semiconduttiva estrusa
Isolamento		Mescola estrusa di polietilene (XLPE)
Semiconduttore esterno		Mescola semiconduttiva estrusa - non pelabile
Barriera longitudinale		Nastro semiconduttivo water blocking
Schermo		Nastro di alluminio
Guaina interna		Mescola estrusa di polietilene (PE) - resistente agli urti
Guaina esterna		Mescola estrusa di polietilene (PE) - resistente agli urti
Colore della guaina esterna		Rosso
Caratteristiche dimensionali		
Numero di anime		1
Sezione nominale del conduttore del cavo		400 mm ²
Diametro nominale del conduttore del cavo		23,5 mm
Spessore minimo dell'isolante		6,0 mm
Diametro nominale sull'isolante		37,3 mm
Spessore nominale dello schermo		200 µm
Spessore nominale della guaina interna		2,0 mm
Spessore nominale della guaina esterna		2,0 mm
Diametro esterno nominale del cavo		50,7 mm
Peso approssimativo del cavo		2380 kg/km
Caratteristiche elettriche		
Tensione nominale U _o /U (Um)		18 / 30 (36) kV
Massima resistenza elettrica del conduttore a 20°C in c.c.		0,0778 Ohm/km
Resistenza elettrica del conduttore a 50 Hz e 90°C		0,101 Ohm/km
Portata di corrente nel terreno a 20°C - posa a trifoglio		476 A
Portata di corrente in aria a 30°C - posa a trifoglio		680 A
Corrente di corto circuito del conduttore per 1 s		37,8 kA
Corrente di corto circuito dello schermo per 0,5 s		2,5 kA
Resistività termica del terreno		1,5 °K.m/W
Modalità di connessione dello schermo metallico		Solid bonding
Caratteristiche meccaniche		
Resistenza meccanica agli urti		Resistente agli urti, secondo la CEI 20-68
Caratteristiche d'utilizzo		
Profondità di posa		800 mm



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).



ARE4H5EE 18/30kV SK2 (SHOCK PROOF 2)

ARE4H5EE 18/30kV 1x630 SK2

CARATTERISTICHE

Caratteristiche costruttive		
Materiale del conduttore		Alluminio
Forma del conduttore		Corda rotonda, rigida e compatta
Flessibilità del conduttore		Classe 2 secondo la IEC 60228
Semiconduttore interno		Mescola semiconduttiva estrusa
Isolamento		Mescola estrusa di polietilene (XLPE)
Semiconduttore esterno		Mescola semiconduttiva estrusa - non pelabile
Barriera longitudinale		Nastro semiconduttivo water blocking
Schermo		Nastro di alluminio
Guaina interna		Mescola estrusa di polietilene (PE) - resistente agli urti
Guaina esterna		Mescola estrusa di polietilene (PE) - resistente agli urti
Colore della guaina esterna		Rosso
Caratteristiche dimensionali		
Numero di anime		1
Sezione nominale del conduttore del cavo		630 mm ²
Diametro nominale del conduttore del cavo		30,0 mm
Spessore minimo dell'isolante		6,2 mm
Diametro nominale sull'isolante		44,5 mm
Spessore nominale dello schermo		200 µm
Spessore nominale della guaina interna		2,0 mm
Spessore nominale della guaina esterna		2,0 mm
Diametro esterno nominale del cavo		58,3 mm
Peso approssimativo del cavo		3360 kg/km
Caratteristiche elettriche		
Tensione nominale U ₀ /U (Um)		18 / 30 (36) kV
Massima resistenza elettrica del conduttore a 20°C in c.c.		0,0469 Ohm/km
Resistenza elettrica del conduttore a 50 Hz e 90°C		0,063 Ohm/km
Portata di corrente nel terreno a 20°C - posa a trifoglio		617 A
Portata di corrente in aria a 30°C - posa a trifoglio		918 A
Corrente di corto circuito del conduttore per 1 s		59,5 kA
Corrente di corto circuito dello schermo per 0,5 s		2,9 kA
Resistività termica del terreno		1,5 °K.m/W
Modalità di connessione dello schermo metallico		Solid bonding
Caratteristiche meccaniche		
Resistenza meccanica agli urti		Resistente agli urti, secondo la CEI 20-68
Caratteristiche d'utilizzo		
Profondità di posa		800 mm



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 11

In linea generale le linee MT a 30 kV sono costituite da una o più terne di cavi ognuna costituita da 3 cavi unipolari. Di seguito vengono rappresentate le caratteristiche del singolo cavo unipolare utilizzato, componente la terna relativa alle linee utilizzate:

- Cavidotto interno: cavo ARE4H5EE 18/30(36)kV configurazioni 3x2x400mm² e 3x4x400mm²
 - Conduttore in Alluminio di sezione 400 mm²;
 - Diametro sul conduttore 23,5 mm;
 - Isolamento il XLPE;
 - Diametro sull'isolante esterno della singola fase 50,7 mm;
 - Massima temperatura in condizioni normali di esercizio 90 °C;
 - Massa indicativa 2.375 [kg/km];
 - Portata nominale in corrente in regime permanente 476 Ampere alla temperatura di esercizio di 90 °C.

- Cavidotto esterno: cavo ARE4H5EE 18/30(36)kV configurazione 3x4x630mm²
 - Conduttore in Alluminio di sezione 630 mm²;
 - Diametro sul conduttore 30,0 mm;
 - Isolamento il XLPE;
 - Diametro sull'isolante esterno della singola fase 58,3 mm;
 - Massima temperatura in condizioni normali di esercizio 90 °C;
 - Massa indicativa 3.360 [kg/km];
 - Portata nominale in corrente in regime permanente 617 Ampere alla temperatura di esercizio di 90 °C.

Per le finalità della seguente relazione si prendono in esame le diverse sezioni di posa che prevedono da una a quattro terne di cavi tutti nella stessa trincea; dette situazioni sono rappresentate nell'allegato 1. Nel caso in oggetto, per il cavidotto MT la configurazione peggiore dal punto di vista dei campi elettromagnetici risulta quella da 4 terne da 630mm², per un cavidotto di lunghezza totale pari a circa 7 km.

Il cavo utilizzato per la sezione AT a 132 kV indicato di seguito è stato previsto per il trasporto di 120MW in condivisione con altri produttori, e dunque avente una portata necessariamente superiore a 500 A. E' stato scelto il cavo da 1600 mm² che come indicato da scheda tecnica ha una portata di 1065 A.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

HV XLPE CABLE WITH LEAD ALLOY SHEATH 87/150 ÷ 161 (170) kV

Electrical data

D_c – Cable diameter

Cables in flat formation, the distance between the cable axes = $2 \times D_c$



Cables in trefoil formation, the distance between the cable axes = D_c



Cross section of conductor	Resistance of conductor 90°C	Electrical field stress at the		Capacitance	Zero reactance	Inductance	
		conductor	insulation				
mm ²	Ω/km	kV/mm		μF/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km
240RM	0.1610	7.60	2.55	0.125	0.103	0.215	0.155
300RM	0.1291	7.45	2.65	0.130	0.097	0.205	0.150
400RM	0.1009	7.40	2.90	0.145	0.089	0.200	0.140
500RM	0.0792	7.25	3.10	0.160	0.083	0.195	0.135
630RM	0.0622	7.00	3.20	0.170	0.078	0.190	0.130
800RM	0.0498	6.75	3.30	0.185	0.073	0.185	0.125
1000RM	0.0408	6.50	3.40	0.205	0.068	0.180	0.120
1200RM	0.0359	6.35	3.45	0.220	0.064	0.175	0.115
1200RMS	0.0319	6.25	3.50	0.230	0.065	0.175	0.115
1400RMS	0.0275	6.20	3.50	0.235	0.064	0.175	0.115
1600RMS	0.0242	6.10	3.55	0.250	0.061	0.170	0.115
1800RMS	0.0216	6.00	3.60	0.265	0.059	0.170	0.110
2000RMS	0.0195	6.20	3.85	0.280	0.056	0.165	0.110
2500RMS	0.0168	6.10	3.95	0.300	0.055	0.165	0.105
3000RMS	0.0130	6.00	3.95	0.330	0.051	0.160	0.105



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

ALUMINIUM 64/110 ÷ 115 (123) kV, 87/150 ÷ 161 (170) kV

Current rating for single-core cables – amperes

Cross
section of
conductor



Configurations

SPP; CB Both-ends SPP; CB Both-ends SPP; CB Both-ends SPP; CB Both-ends

Cables in earth

Cables in air

mm²	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C	65 °C	90 °C
150RM	280	335	265	320	265	320	260	315	300	400	285	385	270	365	265	360
185RM	315	380	295	355	300	360	295	355	345	460	325	435	310	415	305	410
240RM	370	440	330	400	350	420	3400	410	410	545	375	510	365	490	355	480
300RM	420	500	370	450	395	475	385	465	470	630	430	580	415	560	405	550
400RM	480	575	400	490	455	545	430	520	550	735	480	655	485	655	465	635
500RM	550	660	435	535	520	625	485	590	640	855	535	735	560	760	535	730
630RM	635	760	475	585	595	715	545	665	745	1000	600	825	650	885	610	840
800RM	720	865	510	630	670	810	605	740	860	1155	660	920	750	1015	695	955
1000RM	810	980	540	670	750	905	665	815	990	1335	725	1010	855	1165	780	1075
1200RM	885	1065	560	695	810	980	705	865	1095	1475	770	1080	935	1275	840	1165
1200RMS	925	1110	575	710	865	1040	740	905	1140	1530	790	1105	1000	1355	890	1225
1400RMS	1005	1205	590	735	935	1125	785	960	1250	1675	830	1160	1090	1475	955	1320
1600RMS	1080	1295	650	815	1005	1205	870	1065	1360	1820	915	1285	1180	1600	1060	1465
1800RMS	1155	1390	620	775	1070	1285	865	1065	1475	1980	900	1270	1280	1735	1080	1505
2000RMS	1220	1465	630	790	1130	1355	895	1100	1560	2100	925	1305	1350	1840	1130	1575
2500RMS	1330	1600	650	815	1220	1470	945	1165	1720	2310	970	1370	1485	2020	1210	1695
3000RMS	1535	1850	680	850	1395	1685	1020	1265	2025	2730	1035	1475	1735	2365	1355	1905

SPB – Single Point Bonding; CB – Cross-bonding Both-ends; BE – Both-ends bonding



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE NELLE VARIE SITUAZIONI

Nei cataloghi dei vari produttori di cavi viene riportata la portata nominale del cavo prescindendo dalle varie tipologie di posa.

Nella norma CEI 11-17 vi sono le modalità di calcolo dei fattori di riduzione dovuti principalmente alla profondità di posa ed alla presenza di più terne nella stessa trincea per i seguenti motivi:

- Maggiore è la profondità di posa, più difficile risulta lo smaltimento del calore che la corrente produce nel cavo stesso per l'effetto Joule e di conseguenza riduce la portata;
- Se nella stessa trincea sono presenti più terne il riscaldamento reciproco determina un ulteriore abbattimento della portata.

Tipo di posa: In tubi protettivi direttamente interrati

Un cavo unipolare per ciascun tubo

Numero di circuiti	DISTANZA FRA I CIRCUITI ^(a) (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,80	0,90	0,950	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

Per l'impianto in oggetto sono previsti cavidotti **MT** da **2 a 4 terne di sezione 400 mm²** per il collegamento tra l'ultima Power Station di ogni sottocampo e la MTR e da **4 terne con sezione del cavo da 630 mm²** per il collegamento tra la MTR e la SSE Utente, e cavidotti **AT** da **1 terna di sezione 1600 mm²** per il collegamento tra lo stallo condiviso produttori alla SE.

Le distanze tra le terne sono state fissate a 20 cm, e la profondità di posa fissata a 1,10 m per i cavidotti MT e 1,60 m per i cavidotti AT. Si prende in considerazione la tipologia di posa tra i cavi unipolari della singola terna a contatto.

I cavidotti sono descritti negli elaborati grafici sui cavidotti, in particolare elaborati "DPM_T_37_B_D_A_1_Schemi elettrici unifilari BT - MT" per i cavidotti interni e "DPM_T_17_A_D_A_1_1_Planimetria generale dorsali di impianto" per i cavidotti esterni. Per le scelte progettuali attuali, dettate dai componenti attualmente presenti sul mercato, la tipologia di cavidotto individuata è formata dalla seguente configurazione:



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

- 3x2x400 mm² e 3x4x400 mm² a 30 kV per i cavidotti interni che collegano le Power station alla MTR;
- 3x4x630 mm² a 30 kV per il cavidotto esterno che connette la MTR con la cabina di raccolta della SSE Utente;
- 3x1x1600 mm² a 132 kV per il cavidotto esterno che collega lo stallo condiviso produttori alla SE di connessione;

Nella seguente tabella si riportano i risultati di calcolo per le configurazioni di terne utilizzate:

Tabella 2 Risultati calcolo portate

Tensione	Sezione del cavo	Numero di terne nella trincea	Portata nominale cavidotto in regime permanente	Fattore di riduzione	Portata effettiva
	[mm ²]		[Ampere]		[Ampere]
30 kV	400	2	952	0,80	762
		4	1904	0,65	1238
	630	4	2468	0,65	1604
132 kV	1600	1	1065	1,00	1065

6 SIMULAZIONI DELL'INDUZIONE MAGNETICHE NEI VARI CASI

Con le correnti sopra determinate, che rappresentano il massimo valore in regime permanente, sono state eseguite le simulazioni di induzione magnetica nei diversi casi presenti nel progetto; sono state determinate le isolinee dei 3 µT, le DPA e le relative fasce di rispetto. I risultati sono riportati nei seguenti allegati:

- **Allegato 2 - DPA e fascia di rispetto per linea 30 kV con due terne da 400 mm²**
- **Allegato 3 - DPA e fascia di rispetto per linea 30 kV con quattro terne da 400 mm²**
- **Allegato 4 - DPA e fascia di rispetto per linea 30 kV con quattro terne da 630 mm²**
- **Allegato 5 - DPA e fascia di rispetto per linea 132 kV con una terna da 1600 mm²**

Di seguito sono riassunte nella sottostante tabella 2 i risultati ottenuti per il calcolo della distanza di prima approssimazione (DPA) e la fascia di rispetto utilizzata considerando, in via cautelativa il valore massimo trovato per tutte le tipologie di cavidotto.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Tabella 3 Risultati simulazioni dell'induzione magnetica

Tensione	Sezione del cavo	Numero di terne nella trincea	Risultato DPA da calcolo	Distanza di Prima Approssimazione DPA	Fascia di rispetto applicata
	[mm²]		[m]	[m]	[m]
30 kV	400	2	1,40	1,50	3
		4	2,00	2,50	5
	630	4	2,56	3	6
132 kV	1600	1	2,63	3	6

Le DPA e le fasce di rispetto sono state determinate con valore massimo della corrente in regime permanente e sono approssimate al numero intero successivo; dall'impianto, si immetterà nei vari elettrodotti una corrente legata alla loro potenza nominale che di fatto sarà molto inferiore alla corrente usata per le simulazioni ed in ultima analisi le DPA calcolate sono cautelative.

7 METODOLOGIA E CALCOLO

Di seguito verrà introdotto il metodo di calcolo dell'induzione elettromagnetica, effettuato nello specifico per la situazione di cavidotto più gravosa, ovvero quella con portata di carico maggiore.

Considerata la componente del campo elettrico trascurabile a seguito della schermatura dei conduttori, per la determinazione del campo magnetico generato da cavi percorsi da corrente, nel caso di un sistema trifase quale quello in oggetto, si può fare riferimento alla norma CEI 106-12 la quale fornisce la relazione di calcolo di cui alla formula seguente:

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

Dove:

B [μT] espressa in microtesla 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.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 17

Considerata quindi la disposizione spaziale delle tre terne, e fissando l'asse centrale del sistema in corrispondenza della terna di cavi centrale, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_1 \cdot I_1}{R^2}$$

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].

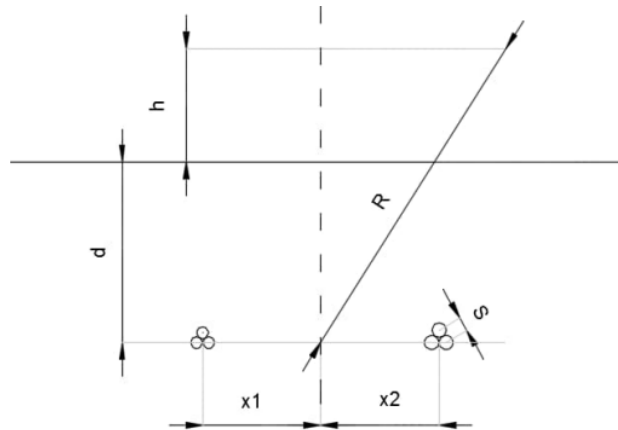


Figura 1 Sistema di riferimento per la valutazione dei campi magnetici nel caso in esame

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, scomponendo la componente della distanza R in una forma dipendente dagli assi cartesiani, considerata il sistema di riferimento utilizzato.

Considerata quindi la disposizione spaziale terne, e fissando l'asse centrale del sistema in corrispondenza di un punto baricentrico rispetto alla collocazione dei cavi, nella sua proiezione al suolo, si può calcolare il campo magnetico generato dall'elettrodotto attraverso la seguente formula:

$$B = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_1 \cdot I_1}{(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2} + \left(0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S_n \cdot I_n}{(X - x_n)^2 + (Y - y_n)^2} \right)_n$$



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Di seguito i dati per il calcolo dell'induzione magnetica fissati i valori per il sistema di cavidotto in esame: cavidotto con quattro terne da 630 mm²

Tabella 4 - Dati di calcolo

Area Sezione cavi	Progressivi terne	Distanza centri cavi S [m]	Portata di calcolo I	Fattore di riduzione	Portata di calcolo I _{rid}	Distanza asse x [m]	Distanza asse y [m]
630	1	0,0583	617	0,65	401,05	-0,30	-1,1
630	2	0,0583	617	0,65	401,05	-0,10	-1,1
630	3	0,0583	617	0,65	401,05	0,10	-1,1
630	4	0,0583	617	0,65	401,05	0,30	-1,1

La tabella seguente mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa e in ordinata pari a 0,5 m.

Tabella 5 - Risultati di calcolo al variare della distanza

		Distanza dal suolo						
		0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
Distanza dall'asse cavidotto	-5	0,879	0,909	0,922	0,916	0,893	0,854	0,804
	-4,5	1,074	1,119	1,139	1,131	1,095	1,038	0,965
	-4	1,342	1,413	1,444	1,431	1,374	1,285	1,175
	-3,5	1,719	1,838	1,892	1,868	1,773	1,626	1,454
	-3	2,272	2,485	2,586	2,542	2,367	2,112	1,830
	-2,5	3,120	3,540	3,749	3,656	3,304	2,825	2,341
	-2	4,485	5,419	5,933	5,701	4,880	3,898	3,032
	-1,5	6,774	9,203	10,848	10,071	7,727	5,514	3,927
	-1	10,546	18,075	26,502	21,992	13,067	7,781	4,961
	-0,5	15,506	39,014	172,524	64,706	21,487	10,237	5,878
	0	18,200	56,412	687,265	113,197	26,696	11,402	6,260
	0,5	15,506	39,014	172,524	64,706	21,487	10,237	5,878
	1	10,546	18,075	26,502	21,992	13,067	7,781	4,961
	1,5	6,774	9,203	10,848	10,071	7,727	5,514	3,927
	2	4,485	5,419	5,933	5,701	4,880	3,898	3,032
	2,5	3,120	3,540	3,749	3,656	3,304	2,825	2,341
	3	2,272	2,485	2,586	2,542	2,367	2,112	1,830
	3,5	1,719	1,838	1,892	1,868	1,773	1,626	1,454
	4	1,342	1,413	1,444	1,431	1,374	1,285	1,175
	4,5	1,074	1,119	1,139	1,131	1,095	1,038	0,965
	5	0,879	0,909	0,922	0,916	0,893	0,854	0,804



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 19

Da come si evince dalla tabella i valori più alti di induzione magnetica si registrano in prossimità del cavidotto mentre, al livello del suolo, (distanza dal suolo = 0) si registrano valori di induzione magnetica minori di $3 \mu\text{T}$ al di fuori della DPA scelta, in maniera cautelativa, arrotondando in eccesso i valori trovati. Tali valori, calcolati punto per punto in un sistema più dettagliato hanno permesso di ottenere il modello graficizzato del calcolo effettuato assegnando ad ogni valore un colore della scala cromatica scelta. Di seguito il modello grafico ottenuto.

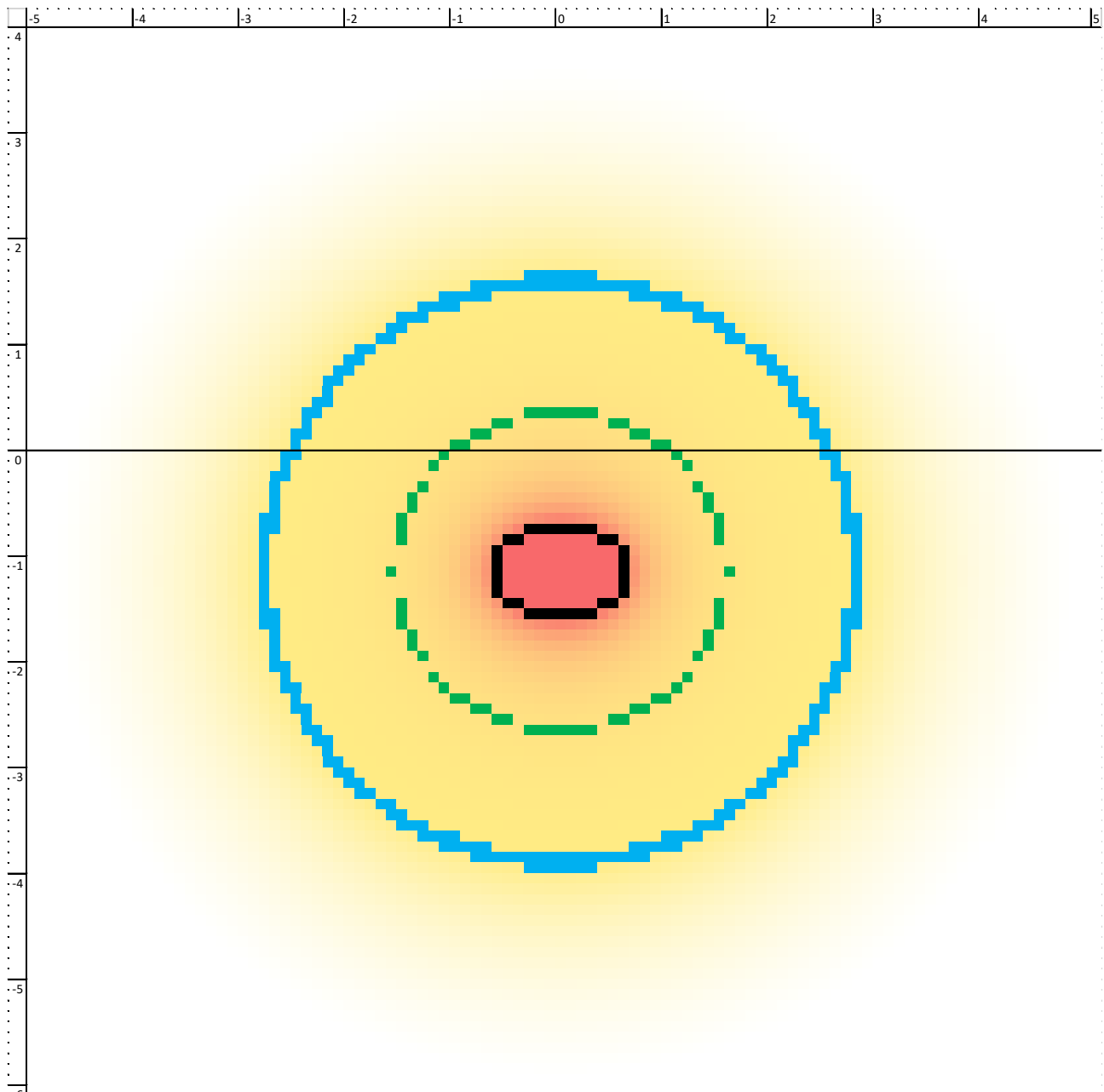


Figura 2 Sistema di calcolo graficizzato del campo magnetico nel caso in esame (in blu valori di $3 \mu\text{T}$, in verde valori di $10 \mu\text{T}$ e in nero valori di $100 \mu\text{T}$)



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 20

All'interno della fascia di rispetto (DPA di 3 μ T) non sono presenti recettori sensibili, ovvero ambienti nei quali sia prevedibile una permanenza umana continuativa superiore a 4 ore giornaliere, come definito dal DPCM 8 luglio 2003.

Si prevede, inoltre, che l'intera fascia DPA ricada all'interno del sedime stradale esistente, circostanza che contribuisce a escludere l'interazione con potenziali recettori sensibili.

Qualora, durante la fase esecutiva dell'intervento, dovessero insorgere criticità realizzative tali da comportare l'inclusione di recettori sensibili all'interno della DPA, si prevede l'adozione di idonei sistemi di schermatura atti a contenere i valori di induzione magnetica, che in ogni caso risulteranno inferiori al limite di 3 μ T. Questi sistemi potranno essere utilizzati presso incroci o affiancamenti con altre linee elettriche e altre zone attive producenti un campo elettromagnetico rilevante, considerate nello specifico caso per caso e a cui seguirà un'analisi approfondita. Verranno presi in considerazione sia elettrodotti di proprietà del soggetto proponente che di altri soggetti lungo il percorso del cavodotto. Per le aree interne all'impianto si prevede l'accesso soltanto a personale autorizzato e professionalmente esposto come prescritto dalle direttive del D.lgs. 81/2008.

8 SISTEMI DI SCHERMATURA DEGLI ELETTRODOTTI INTERRATI

8.1 Sistemi di schermatura degli elettrodotti interrati

All'interno della fascia di rispetto (DPA di 3 μ T) non sono presenti recettori sensibili, ma in fase esecutiva questa possibilità potrebbe presentarsi a causa di interferenze non attualmente riscontrabili. Pertanto i tratti di elettrodotto interrato limitrofi a punti elettromagneticamente attivi quali altri elettrodotti aerei o interrati, le buche giunti o prossimi a edifici, strutture o altre aree potenzialmente sensibili, è prevista l'adozione di sistemi di posa con schermatura passiva del campo magnetico, al fine di contenere i livelli di esposizione entro i limiti raccomandati dalla normativa vigente (CEI 11-60, ICNIRP 2020).

La tecnica consiste nell'alloggiamento dei cavi all'interno di canalette schermanti prefabbricate, costituite da elementi modulari in materiale ferromagnetico, riempiti con cemento a resistività termica stabilizzata. Tali canalette sono progettate per garantire una schermatura continua e uniforme, con l'interposizione di almeno 600 mm di copertura per ottimizzare l'efficacia schermante.

Le canalette presentano:

- Sezioni trapezoidali sequenziabili, adatte a seguire tracciati complessi, anche non planari;



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 21

- Configurazione chiusa, idonea alla posa interrata;
- Trattamento anticorrosivo mediante verniciatura a polvere epossidica, conforme a ISO 12944, per garantire durabilità anche in ambienti aggressivi;
- Dimensionamenti variabili in funzione del diametro dei cavi;
- Sistemi di giunzione flessibili, progettati per sfruttare giochi ed elasticità relative tra gli elementi, agevolando l'adattamento al tracciato;
- Coperchi fissati meccanicamente con morsetti, per assicurare la continuità del contatto elettrico tra scafo e copertura.

8.2 Prestazioni schermanti delle canalette schermanti

La **capacità schermante** delle canalette (Shielding Effectiveness, SE) è definita dalla seguente relazione:

$$SE = 20 \times \log \left(\frac{H_1}{H_2} \right)$$

dove:

- H_1 rappresenta il campo magnetico senza schermatura;
- H_2 rappresenta il campo magnetico misurato con l'interposizione dello schermo.

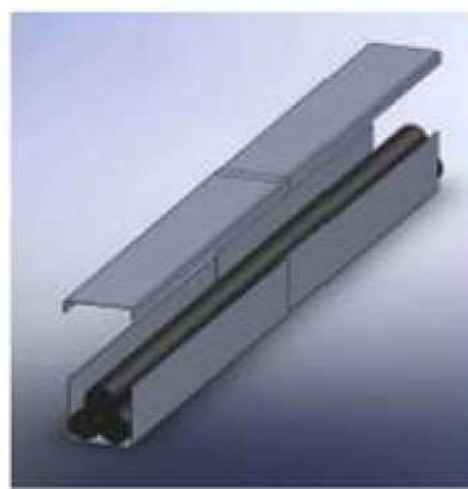
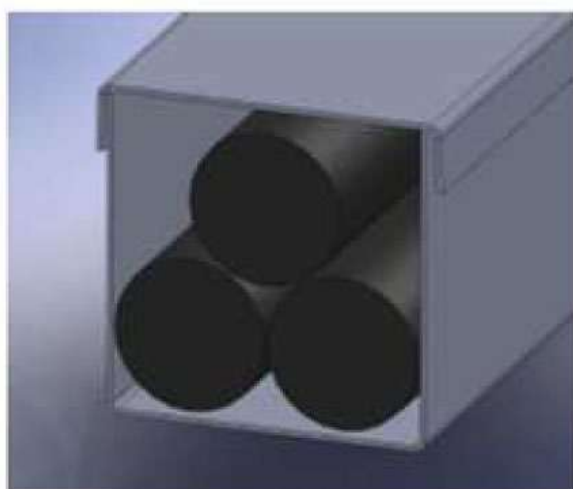


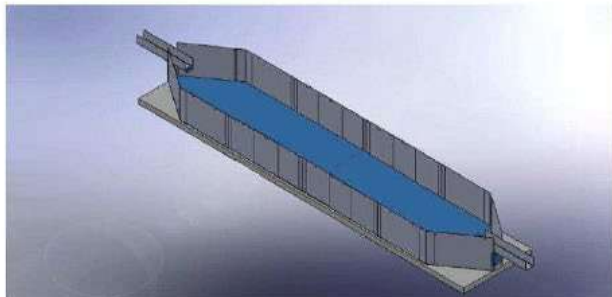
Figura 3 - Esempio di canaletta schermante tipo per cavidotto a terna elicordata o terna di cavi unipolari a contatto.



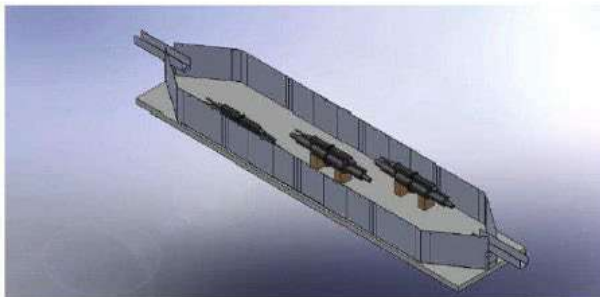
Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 22

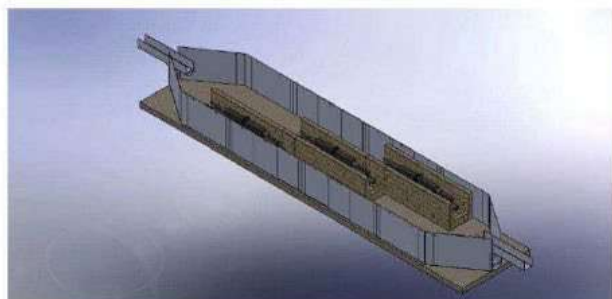
FASE 5 (getto platea interna)



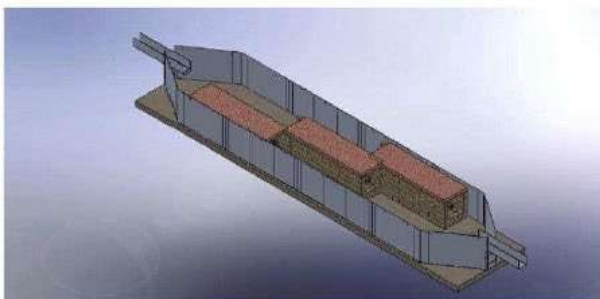
FASE 6 (realizzazione giunti)



FASE 7 (realizzazione muretti)



FASE 8 (realizzazione coperchi muretti)



FASE 9 (posa coperchi a completamento buca)

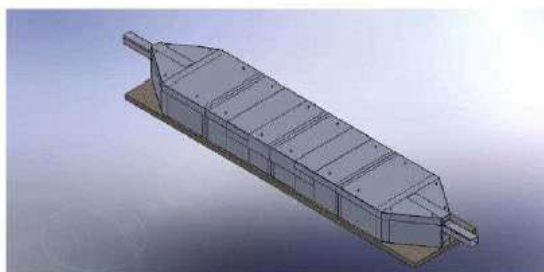


Figura 4 - Esempio di canaletta schermante tipo per buca giunti

Studi teorici condotti su canalette di pari configurazione e dimensionamento a quelle impiegate nella presente progettazione indicano valori di **capacità schermante variabili da 18 dB a 40 dB**, a seconda delle condizioni costruttive. Anche nel caso minimo (18 dB), si ottiene una **attenuazione pari a circa 7,9 volte** rispetto al campo originato da un cavo privo di schermatura.

In particolare, dalle esperienze di settore e per quanto dichiarato dalle ditte produttrici delle canalette schermanti, nei tratti in corrispondenza delle buche giunti, alla capacità schermante minima ottenibile (26 dB), il campo magnetico risulta attenuato di **19,95 volte** rispetto al valore generato dal cavo privo di schermatura. In altri termini, l'impiego della schermatura riduce il campo magnetico di quasi venti volte rispetto al caso non schermato.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Il comportamento schermante delle canalette è stato **validato sperimentalmente in impianti analoghi**, confermandone l'efficacia nel contenimento dei livelli di induzione magnetica, così come descritto dai produttori delle canalette schermanti.

In ogni caso, l'impiego di canalette schermanti o altri sistemi alternativi garantirà il rispetto dell'obiettivo di qualità di 3 μ T indipendentemente dalla posizione definitiva delle buche giunti.

9 CALCOLO DELLA DPA NELLE BUCHE GIUNTI

Considerata la lunghezza dei cavidotti esterni MT e AT, si prevedono buche giunti per collegare le pezzature di cavo di lunghezza variabile tra circa 400 e 600 m, stabilita in fase esecutiva in funzione delle esigenze di trasporto della bobina e delle forniture dei produttori. In ogni caso la scelta delle lunghezze dei cavi verrà stabilita in funzione di una pianificazione puntuale della posizione delle buche giunti. Considerato il percorso dei cavidotti verrà evitata la sovrapposizione di più buche giunti nello stesso luogo e la vicinanza ad aree ove si evidenzia la presenza di recettori sensibili.

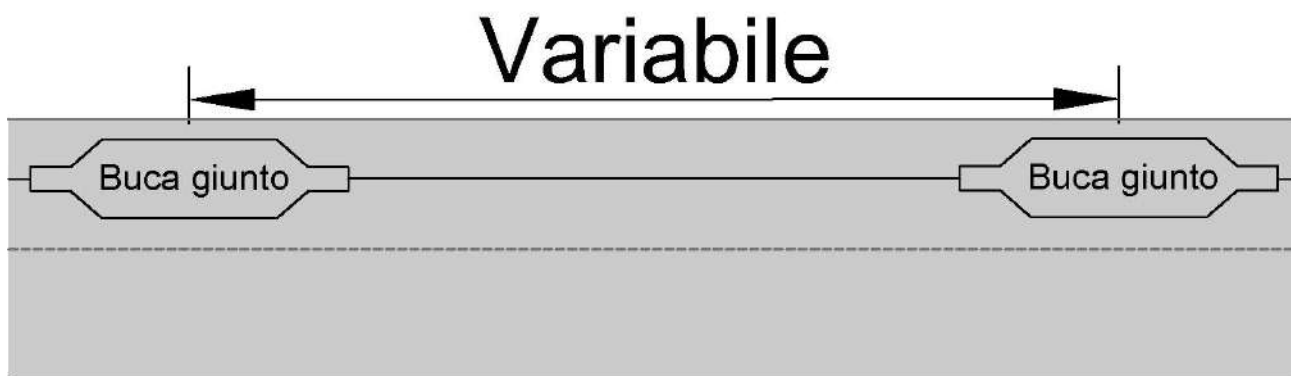


Figura 5 - Rappresentazione tipo della posizione di buche giunti tipo lungo il percorso del cavidotto su sedime stradale

La formazione di buche giunti permette la giunzione dei cavi elettrici in media ed alta tensione attraverso la trasposizione incrociata delle guaine metalliche e l'esecuzione di un cross-bonding completo, che consente di annullare le correnti di circolazione negli schermi dei cavi dovute all'induzione elettromagnetica. Si suppone per il giunto una disposizione in piano dei conduttori ed una distanza fra le fasi di 0,7 m.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 24



Figura 6 - Esempio di giunzioni di cavi tipo su buche giunti

La differente disposizione dei cavi consiglia di eseguire un nuovo calcolo del campo elettromagnetico. I risultati di tali elaborazioni sono illustrati di seguito riportate; si evidenziano valori di induzione magnetica superiori a quelli precedenti, in quanto i contributi dovuti alle tre fasi non si compensano come nel caso della posa a trifoglio e i fattori di riduzione applicati secondo norma CEI 11-17 da tenere in considerazione per il calcolo saranno meno riduttivi.

9.1 Buca giunti per linea 3x4x630 mm²

Di seguito si prende in esame il sistema di cavidotto MT esterno all'impianto in cui una delle terne (la più esterna) è sottoposta alla giunzione con altri conduttori in cavi unipolari all'interno di una buca giunti. Il cavidotto sarà pertanto composto da 3 terne di cavi con posa a trifoglio poste ad una distanza l'una dall'altra di 20 cm e affiancate ad una terna di cavi con disposizione in piano con cavi unipolari posti tra loro ad una distanza di 70 cm. La distanza tra l'asse della terza terna con posa a trifoglio e l'asse della terna con configurazione in piano sarà di 140 cm.

Tabella 6 - Dati di calcolo

Area Sezione cavi	Progressivi terne	Distanza centri cavi S [m]	Portata di calcolo I	Fattore di riduzione	Portata di calcolo I _{rid}	Distanza asse x [m]	Distanza asse y [m]
630	1	0,0583	617	0,65	401,05	-0,30	-1,1
630	2	0,0583	617	0,65	401,05	-0,10	-1,1
630	3	0,0583	617	0,65	401,05	0,10	-1,1
630	4	0,7000	617	0,85	524,45	1,70	-1,1



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

La tabella seguente mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa e in ordinata pari a 0,5 m.

Tabella 7 - Risultati di calcolo al variare della distanza

		Distanza dal suolo						
		0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
Distanza dall'asse cavidotto	-5	2,634	2,695	2,720	2,709	2,662	2,583	2,478
	-4,5	3,106	3,192	3,229	3,213	3,146	3,034	2,889
	-4	3,719	3,846	3,902	3,878	3,778	3,615	3,407
	-3,5	4,536	4,733	4,820	4,782	4,626	4,378	4,071
	-3	5,658	5,982	6,129	6,065	5,805	5,406	4,934
	-2,5	7,257	7,837	8,114	7,992	7,516	6,829	6,073
	-2	9,639	10,806	11,417	11,143	10,142	8,854	7,586
	-1,5	13,341	16,095	17,859	17,033	14,450	11,783	9,583
	-1	19,150	27,036	35,452	30,966	21,878	15,933	12,131
	-0,5	27,274	50,579	182,254	75,532	33,453	21,258	15,173
	0	35,727	71,354	661,001	119,771	44,636	27,149	18,547
	0,5	44,858	74,654	119,996	92,273	54,716	33,821	22,116
	1	60,073	117,130	194,897	151,526	77,834	42,147	25,497
	1,5	76,552	230,832	1805,387	456,114	110,975	48,792	27,429
	2	72,261	203,489	903,203	363,521	103,248	46,583	26,455
	2,5	50,781	92,363	140,913	114,917	64,307	36,569	22,822
	3	32,606	45,602	54,698	50,381	37,630	26,130	18,272
	3,5	21,426	26,276	29,002	27,766	23,458	18,450	14,168
	4	14,792	16,921	17,993	17,517	15,721	13,322	10,948
	4,5	10,707	11,768	12,270	12,049	11,181	9,921	8,549
	5	8,065	8,647	8,912	8,796	8,328	7,614	6,783

Da come si evince dalla tabella i valori più alti di induzione magnetica si registrano in prossimità del cavidotto mentre, al livello del suolo, (distanza dal suolo = 0) si registrano valori di induzione magnetica minori di 3 μ T al di fuori della DPA scelta, in maniera cautelativa, arrotondando in eccesso i valori trovati. Tali valori, calcolati punto per punto in un sistema più dettagliato hanno permesso di ottenere il modello graficizzato del calcolo effettuato assegnando ad ogni valore un colore della scala cromatica scelta. Di seguito il modello grafico ottenuto.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 26

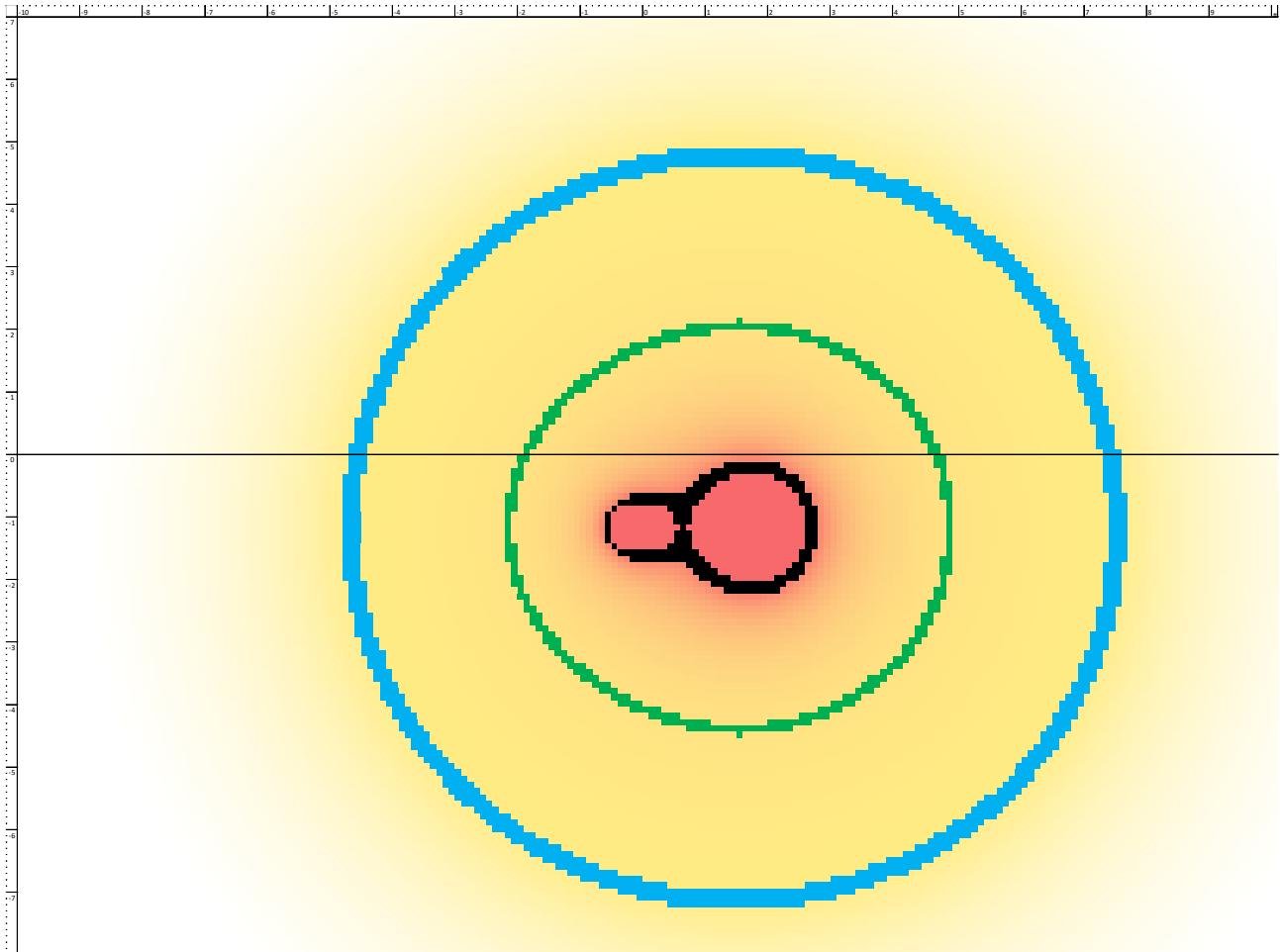


Figura 7 Sistema di calcolo graficizzato del campo magnetico nel caso in esame (in blu valori di $3 \mu T$, in verde valori di $10 \mu T$ e in nero valori di $100 \mu T$)

I valori trovati per il caso in esame evidenziano una intersezione tra il livello del suolo (distanza dal suolo = 0) e l'isolinea corrispondente al valore di $3 \mu T$ ovvero una **DPA** relativamente all'asse per il lato destro di **7,37 m** e per il lato sinistro di **-4,60 m** evidenziando una **fascia di rispetto totale di 11.97 m**. Questo valore è notevolmente superiore ai requisiti imposti dal progetto in oggetto, per cui di seguito si procederà ad una simulazione con l'utilizzo di canaletta schermante e applicando quindi un coefficiente di attenuazione che riduca l'intensità del campo elettromagnetico generato. Viene scelto un coefficiente minimo, a vantaggio di sicurezza, e pari a 7,9, considerato che le canalette schermanti sono in grado di ridurre il campo elettromagnetico anche sino a 20 volte. **Il coefficiente di attenuazione ridurrà di 7,9 volte il campo** originato da un cavo privo di schermatura. Il risultato è illustrato nel seguente grafico.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 27

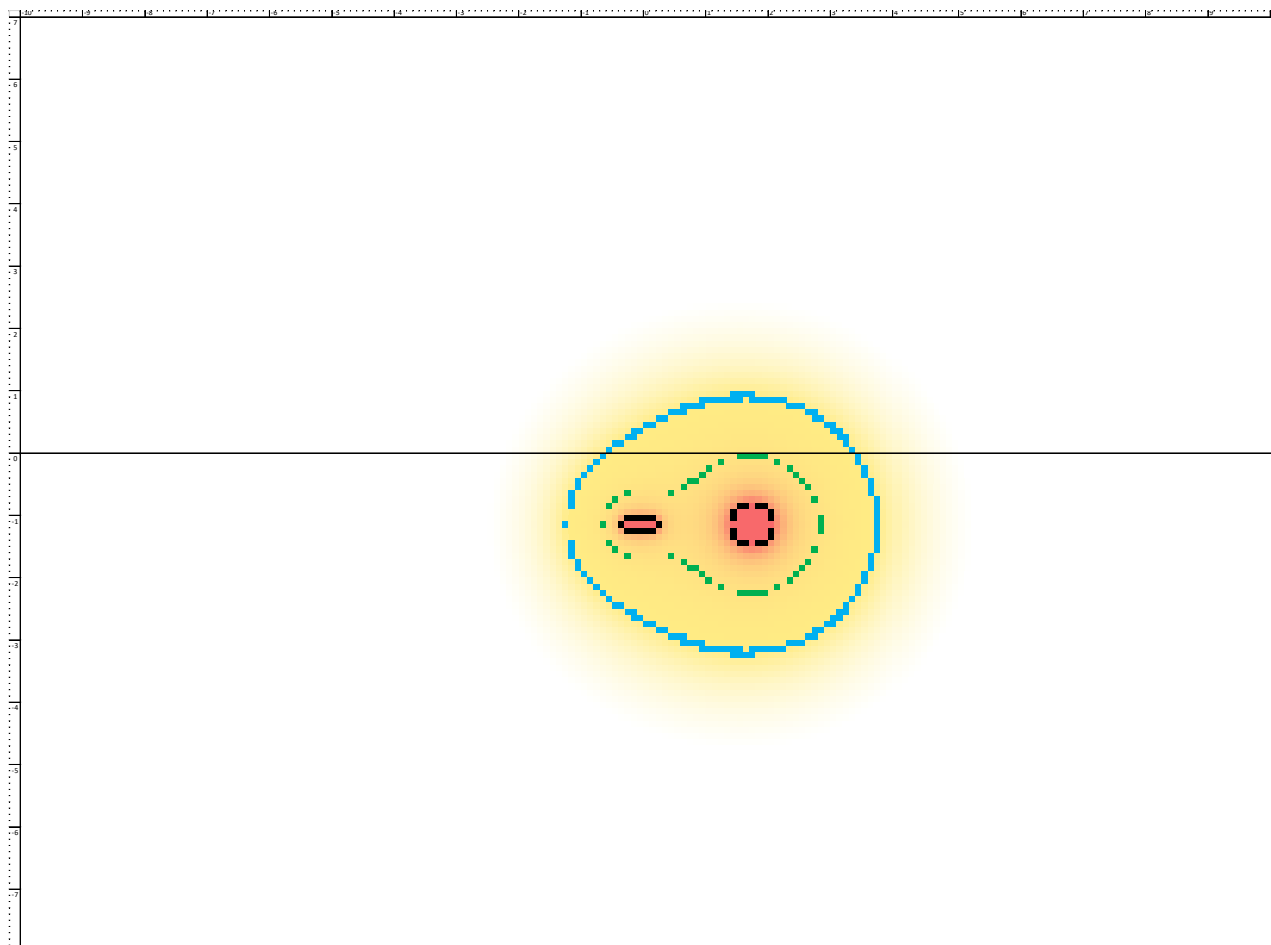


Figura 8 Sistema di calcolo graficizzato del campo magnetico nel caso in esame (in blu valori di 3 μT , in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

I valori trovati per il caso in esame evidenziano una intersezione tra il livello del suolo (distanza dal suolo = 0) e l'isolinea corrispondente al valore di 3 μT ovvero una **DPA** relativamente all'asse per il lato destro di **3,40 m** e per il lato sinistro di **-0,60 m** evidenziando una **fascia di rispetto totale di 4.00 m**. Questo valore è congruo per i requisiti imposti dal progetto in oggetto pertanto si può affermare che utilizzando l'opportuna canaletta schermante è possibile soddisfare i requisiti imposti dal DPCM 8 luglio 2003.

Come già evidenziato, tutto questo vale per valori di corrente efficace molto superiori a quelli attesi mediamente transitanti.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

9.2 Buca giunti per linea 3x1x1600 mm²

Di seguito si prende in esame il sistema di cavidotto AT esterno all'impianto in cui l'unica terna è sottoposta alla giunzione con altri conduttori in cavi unipolari all'interno di una buca giunti. Il cavidotto sarà pertanto composto da una terna di cavi con disposizione in piano con cavi unipolari posti tra loro ad una distanza di 70 cm.

Tabella 8 - Dati di calcolo

Area Sezione cavi	Progressivi terne	Distanza centri cavi S [m]	Portata di calcolo I	Fattore di riduzione	Portata di calcolo I _{rid}	Distanza asse x [m]	Distanza asse y [m]
1600	1	0,7000	1065	1,00	1065,00	0,00	-1,6

La tabella seguente mostra i valori della distribuzione, con un intervallo di campionamento dei valori in ascissa e in ordinata pari a 0,5 m.

Tabella 9 - Risultati di calcolo al variare della distanza

		Distanza dal suolo						
		0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3
Distanza dall'asse cavidotto	-5	6,626	6,967	7,201	7,301	7,258	7,075	6,773
	-4,5	8,006	8,509	8,860	9,013	8,947	8,671	8,222
	-4	9,839	10,611	11,162	11,406	11,300	10,863	10,168
	-3,5	12,330	13,567	14,481	14,895	14,715	13,982	12,851
	-3	15,797	17,885	19,510	20,267	19,936	18,615	16,661
	-2,5	20,728	24,478	27,626	29,171	28,488	25,865	22,242
	-2	27,837	35,050	41,883	45,539	43,897	37,965	30,639
	-1,5	37,965	52,777	69,965	80,801	75,772	59,676	43,375
	-1	51,295	82,629	134,272	180,801	157,422	100,889	61,692
	-0,5	64,986	125,075	299,360	702,344	445,389	172,273	82,629
	0	71,332	150,917	507,249	18260,946	1141,309	225,444	93,168
	0,5	64,986	125,075	299,360	702,344	445,389	172,273	82,629
	1	51,295	82,629	134,272	180,801	157,422	100,889	61,692
	1,5	37,965	52,777	69,965	80,801	75,772	59,676	43,375
	2	27,837	35,050	41,883	45,539	43,897	37,965	30,639
	2,5	20,728	24,478	27,626	29,171	28,488	25,865	22,242
	3	15,797	17,885	19,510	20,267	19,936	18,615	16,661
	3,5	12,330	13,567	14,481	14,895	14,715	13,982	12,851
	4	9,839	10,611	11,162	11,406	11,300	10,863	10,168
	4,5	8,006	8,509	8,860	9,013	8,947	8,671	8,222
	5	6,626	6,967	7,201	7,301	7,258	7,075	6,773



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 29

Da come si evince dalla tabella i valori più alti di induzione magnetica si registrano in prossimità del cavidotto mentre, al livello del suolo, (distanza dal suolo = 0) si registrano valori di induzione magnetica minori di $3 \mu\text{T}$ al di fuori della DPA scelta, in maniera cautelativa, arrotondando in eccesso i valori trovati. Tali valori, calcolati punto per punto in un sistema più dettagliato hanno permesso di ottenere il modello graficizzato del calcolo effettuato assegnando ad ogni valore un colore della scala cromatica scelta. Di seguito il modello grafico ottenuto.

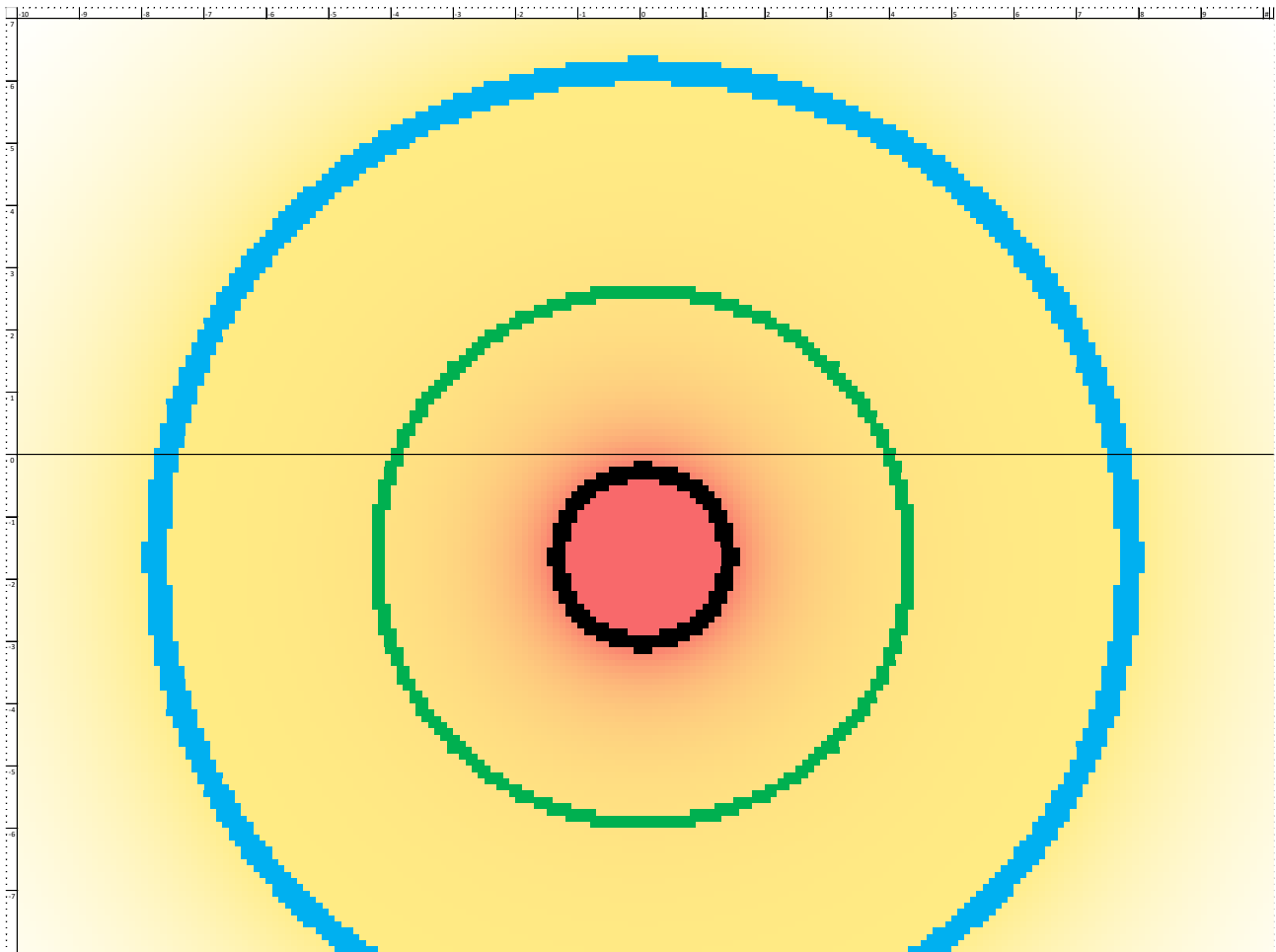


Figura 9 Sistema di calcolo graficizzato del campo magnetico nel caso in esame (in blu valori di $3 \mu\text{T}$, in verde valori di $10 \mu\text{T}$ e in nero valori di $100 \mu\text{T}$)

I valori trovati per il caso in esame evidenziano una intersezione tra il livello del suolo (distanza dal suolo = 0) e l'isolinea corrispondente al valore di $3 \mu\text{T}$ ovvero una **DPA** relativamente all'asse di **7,64 m** evidenziando una **fascia di rispetto totale di 15.27 m**. Questo valore è notevolmente superiore ai requisiti imposti dal progetto in oggetto, per cui di seguito si procederà ad una simulazione con l'utilizzo di canaletta schermante e applicando quindi un coefficiente di attenuazione che riduca



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 30

l'intensità del campo elettromagnetico generato. Viene scelto un coefficiente minimo, a vantaggio di sicurezza, e pari a 7,9, considerato che le canalette schermanti sono in grado di ridurre il campo elettromagnetico anche sino a 20 volte. **Il coefficiente di attenuazione ridurrà di 7,9 volte il campo** originato da un cavo privo di schermatura. Il risultato è illustrato nel seguente grafico.

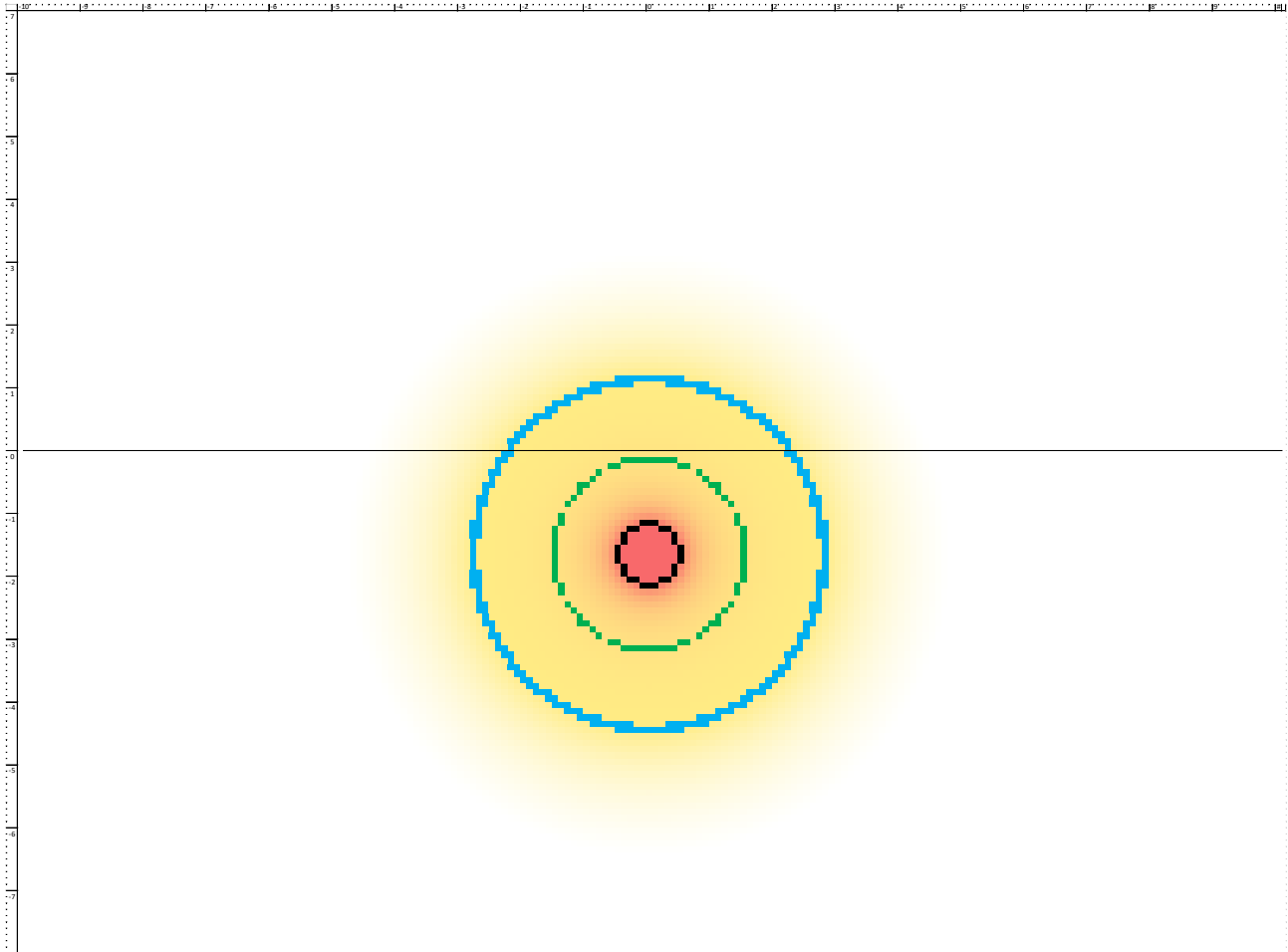


Figura 10 Sistema di calcolo graficizzato del campo magnetico nel caso in esame (in blu valori di 3 μT , in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

I valori trovati per il caso in esame evidenziano una intersezione tra il livello del suolo (distanza dal suolo = 0) e l'isolinea corrispondente al valore di 3 μT ovvero una **DPA** relativamente all'asse di **2,20 m** evidenziando una **fascia di rispetto totale di 4.40 m**. Questo valore è congruo per i requisiti imposti dal progetto in oggetto pertanto si può affermare che utilizzando l'opportuna canaletta schermante è possibile soddisfare i requisiti imposti dal DPCM 8 luglio 2003.

Come già evidenziato, tutto questo vale per valori di corrente efficace molto superiori a quelli attesi mediamente transitanti.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

10 CALCOLO DELLA DPA NELLA MTR

La sale quadri MTR (main technical room) a 30 kV ha la funzione di gestire e distribuire l'energia elettrica generata dall'impianto e quindi elevata dalle Power station da BT a MT per poi convogliarla in un cavidotto esterno che arriva alla SSE utente di trasformazione. La principale sorgente di campi magnetici è costituita dai conduttori e dalle apparecchiature MT percorsi dalla corrente nominale.

Per le sale quadri, la DPA (Distanza di Protezione Ambientale) può essere stimata analogamente alle cabine di trasformazione, considerando una linea trifase con conduttori paralleli percorsi dalla corrente nominale I . La corrente si calcola in funzione della potenza apparente P della linea o del quadro:

$$I = \frac{P}{(V_n * \sqrt{3})}$$

In relazione alla determinazione delle distanze di prima approssimazione, per le MTR così come per le Power Station è stata considerata la distanza rispetto a ciascuna superficie delimitante il volume della cabina o ingombro della stessa (tetto, pavimento e pareti laterali). Tale scelta è motivata dal fatto che gli ambienti interni non sono classificati come luoghi di lavoro continuativo, ma sono accessibili esclusivamente dal personale tecnico per interventi di manutenzione svolti in maniera saltuaria e, nella maggior parte dei casi, in condizioni di assenza di tensione.

Le distanze di prima approssimazione (DPA) sono state quindi stimate applicando la formula semplificata riportata nell'Allegato al Decreto 29 maggio 2008, recante l'“Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti”. Il calcolo prevede la simulazione semplificata della legge di Biot-Savart per il caso di una linea trifase a cavi paralleli, attraversata dalla corrente nominale in bassa tensione in uscita dal trasformatore (I), con interasse tra le fasi pari al diametro reale del cavo (conduttore più isolante), secondo la seguente espressione:

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

Dove:

- **Dpa:** distanza di prima approssimazione (m)
- **x:** distanza tra le fasi, pari al diametro esterno del cavo (conduttore + isolante), espressa in metri (m)
- **I:** corrente nominale che percorre il cavo, espressa in ampere (A)



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

L'andamento della curva rappresentata dall'equazione viene rappresentata dalla normativa secondo il seguente grafico e la seguente tabella riepilogativa di esempi reali precalcolati (considerata una tensione di 40 kV):

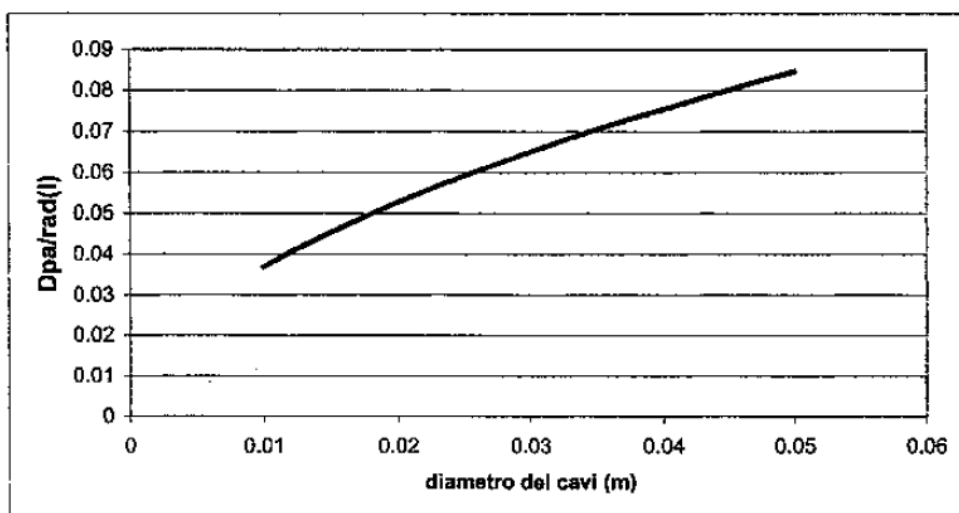


Figura 11 - Andamento del rapporto tra DPA e radice della corrente nominale al variare del diametro dei cavi

Diametro dei cavi (m)	Tipologia trasformatore (kVA)	Corrente (A)	Dpa (m)
0.010	250	361	1
	400	578	1
	630	909	1.5
0.012	250	361	1
	400	578	1.5
	630	909	1.5
0.014	250	361	1
	400	578	1.5
	630	909	1.5
0.018	250	0.947	1.5
	400	1.199	1.5
	630	1.503	2
0.022	250	361	1.5
	400	578	1.5
	630	909	2
0.027	250	361	1.5
	400	578	2
	630	909	2.5
0.035	250	361	1.5
	400	578	2
	630	909	2.5

Figura 12 - DPA calcolate a titolo di esempio dall' allegato al Decreto 29 maggio 2008 per cabine elettriche



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 33

Per il caso in esame una serie di quadri MT alimentati da trasformatori con secondario a 30 kV, con potenza complessiva al trasformatore pari a 40.000 kW e corrente nominale pari a 855,33 A. Scelto un valore del diametro dei cavi, pari a 0,20 m (distanza tipo tra le sbarre dei quadri elettrici MT), e fissata a vantaggio di sicurezza una corrente pari a 1250 A (pari alla corrente massima in cui può operare il quadro elettrico tipo), la DPA risulta:

$$\text{DPA} = 7,00 \text{ m}$$

La metodologia di seguito riportata per l'individuazione delle distanze di prima approssimazione è da riferirsi a cabine di ultima generazione, ovvero della tipologia utilizzata, realizzate secondo gli standard di riferimento nazionali; in particolare, tale metodologia si applica a cabine tipo box (con dimensioni mediamente di 4 x 2.4 m, altezze di 2.4 e 2.7 m e trasformatore da 250-400-630 kVA), tipologia comunque tra le più diffuse sul territorio nazionale e di attuale realizzazione.

Considerata la diversa tipologia di applicazione, per un confronto più puntuale si è ricorso ad una forma semplificata della legge di Biot e Savart più generica nell'utilizzo, la quale porta alla seguente formula analitica per l'induzione magnetica B (T) nel punto P alla distanza D (m) dal centro della spira lungo l'asse passante per tale centro e ortogonale al piano della spira:

$$B(\mu T) = \frac{\pi}{5} * \frac{I * R^2}{D^3}$$

Dove:

- **R** è il raggio della spira (m);
- **I** è la corrente che la percorre (A);
- **D** è la distanza dal punto di esplorazione (m).

Ai fini della valutazione del campo magnetico generato in fase di esercizio, i trasformatori di potenza e i quadri elettrici sono stati modellati come sorgenti puntiformi, mentre i cavi elettrici in bassa tensione e a 30 kV sono stati rappresentati come sorgenti filiformi, configurate come terne trifase con conduttori disposti complanarmente. Per considerare la presenza simultanea di più sorgenti emmissive, è stato adottato il principio di sovrapposizione degli effetti.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 34

a) Terna trifase di conduttori in piano	b) Terna trifase di conduttori in verticale	c) Terna trifase di conduttori a triangolo
$B(\mu T) = 0,2 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{I \text{ S}}{D \text{ D}}$		$B(\mu T) = 0,1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{I \text{ S}}{D \text{ D}}$

Figura 13 - formule approssimate per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta da un sistema trifase di conduttori rettilinei e paralleli e percorsi da 3i correnti equilibrate e simmetriche (una terna) - sorgenti filiformi rettilinei

Per il caso in esame, ovvero cabina MTR, costituita da un sistema di quadri elettrici a media tensione a 30 kV(tra cui quadro elettrico ausiliario MT/BT), trasformatore ausiliario, cavi elettrici 30 kV, la DPA trovata applicando il caso precedente descritto al punto "b" terna trifase conduttori in verticale si ottiene un valore di 3 μ T e peranto una DPA scelta con arrotondamento in eccesso è pari a:

$$DPA = 8,5 \text{ m}$$

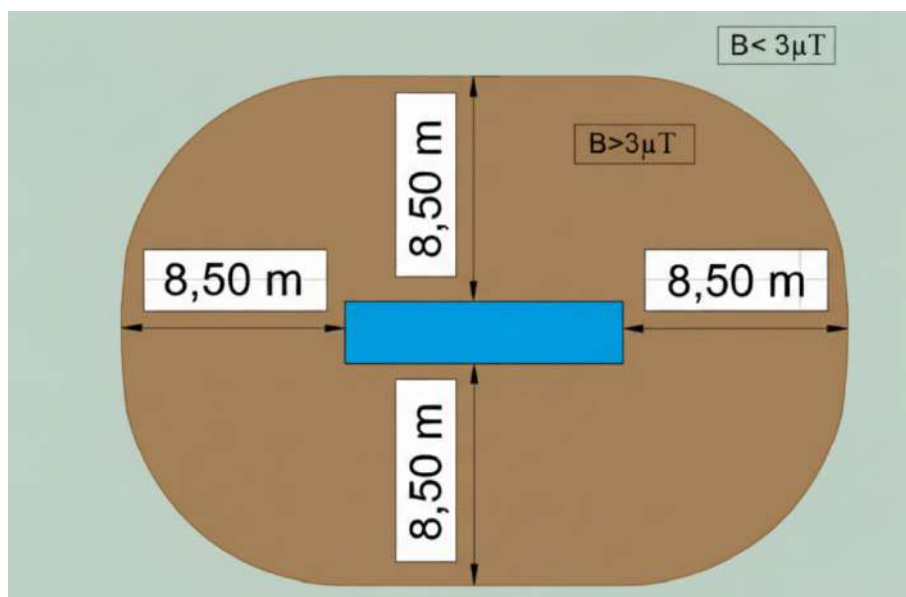


Figura 14 - DPA calcolata per una cabina elettrica operante a 30 KV per il caso in esame



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

11 CALCOLO DELLA DPA NELLE STAZIONI ELETTRICHE

Analogamente alle linee elettriche, anche nel caso delle cabine primarie e delle stazioni lo spazio definito da tutti i punti caratterizzati da valori di induzione magnetica di intensità maggiore o uguale all'obiettivo di qualità definisce attorno a tali impianti un volume. La superficie di tale volume delimita la fascia di rispetto. Per le stazioni, la DPA, e di conseguenza la fascia di rispetto, rientrano generalmente nei confini dell'area di pertinenza dell'impianto stesso (DM del 29 maggio 2008). In particolare, nel caso in oggetto, per una terna di conduttori disposti in piano con una corrente di esercizio pari alla corrente di impiego delle linee AT, ed una distanza S tra le fasi AT pari a 2,2 m, la distanza d dal baricentro delle sbarre, a cui corrisponde un campo di 3 μ T, si può calcolare con la formula che segue (norma CEI 106-11):

$$d = 0.34 * \sqrt{S * I}$$

La Linea Guida di E-Distribuzione riferito alle Cabine Primarie fornisce una situazione tipo che verrà presa come riferimento avente caratteristiche in merito al passaggio di corrente superiori a quelle attese per il progetto in oggetto.

Nel funzionamento atteso delle stazioni con la potenza complessiva sia sulle sbarre condivise dell' "area condivisa produttori", sia sullo stallo di inserimento produttore in SE di connessione pari a 120 MW, considerata come potenza apparente del trasformatore AT/MT sono previste correnti fino a:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} = \frac{120 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132 \cdot 10^3} = 525 \text{ A}$$

Si ottiene una distanza d pari 11,6 m. Pertanto, si assume una DPA cautelativamente pari a 12 m, che ricade nei confini dell'area della SSE Utente.

In ogni caso, è stato preso come riferimento per la progettazione il risultato più cautelativo di 14 m ricavati dal calcolo indicato dalla Linea Guida di E-Distribuzione riferito alle Cabine Primarie.

Tipologia trasformatore [MVA]	CABINA PRIMARIA						
	D.P.A. Cab. da centro sbarre AT	Distanza tra le fasi AT	Corrente	D.P.A. Cab. da centro sbarre MT	Distanza tra le fasi MT	Corrente	Riferimento
	m	m	A	m	m	A	
63	14	2.20	870	7	0.38	2332	A16

Figura 15: Riferimento A16 E-Distribuzione: Linea Guida per l'applicazione del punto 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Per quanto riguarda la DPA relativa allo stallo AT lato produttore in SE di connessione, si può ricorrere nuovamente alla guida E-Distribuzione sopracitata, in cui in uno stallo in aria con distanza tra le fasi 2,2 m, considerando una corrente di 870 A, alla tensione di 132kV/150 kV, si ottiene una distanza di prima approssimazione pari a 14 m, come mostrato dalla tabella sopracitata. Questa distanza è sicuramente superiore alla distanza che si otterrebbe per cui soddisfa il requisito, in quanto ricade nell'area della SE di connessione stessa. Il produttore si collega in un area stabilita nella STMG in Stazione elettrica di connessione della RTN progettata e operante con correnti elettriche superiori a quelle in cui opera il produttore in immissione.

12 CONSIDERAZIONI FINALI

Nella presente relazione si sono presi in esame le diverse tipologie di elettrodotti in cavi sotterranei necessari per immettere l'energia elettrica prodotta dall'impianto in immissione nella rete di trasmissione pubblica.

Verranno utilizzati cavi schermati, per cui gli elettrodotti sotterranei, come dichiarato dalle ditte costruttrici, non genereranno campi elettrici nel rispetto delle prescrizioni di cui all'art. 3 del DPCM 08/07/03 (limite di 5 kV/m).

Ai fini della valutazione dei campi magnetici e per la determinazione delle fasce di rispetto previste dalla normativa vigente sono state eseguite delle simulazioni i cui risultati sono riportati negli allegati seguenti, i cui risultati sono riassunti nella tabella 2.

Dette simulazioni sono state eseguite con il massimo valore della corrente in regime permanente che risulta essere decisamente maggiore della corrente che i diversi generatori immetteranno negli elettrodotti, corretti secondo i fattori di riduzione previsti dalla norma CEI 11-17 quindi le DPA e le fasce determinate sono ampiamente cautelative.

All'interno della fascia di rispetto (DPA di 3 μ T) non sono presenti recettori sensibili come definiti dal DPCM 8 luglio 2003, non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore alle 4 ore.

In ogni particolare ed accessorio, gli elettrodotti verranno costruiti in conformità a tutte le Leggi e Norme vigenti ed alle eventuali prescrizioni dell'Autorità Competente indicate nel provvedimento autorizzativo.



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Pagina | 37

Nell'esecuzione dei lavori, verranno adottati inoltre i migliori provvedimenti suggeriti dalla tecnica e dall'esperienza per salvaguardare l'incolumità delle persone ed evitare danni alle opere interessate dai tracciati degli elettrodotti.

Palermo 30/08/2025

Ing. Girolamo Gorgone

13 ALLEGATI

Allegato 1 - Sezioni tipiche di posa cavidotti MT

Allegato 2 - DPA e fascia di rispetto per linea 30 kV con quattro terne da 630 mmq

Allegato 3 - DPA e fascia di rispetto per linea 30 kV con due terne da 400 mmq

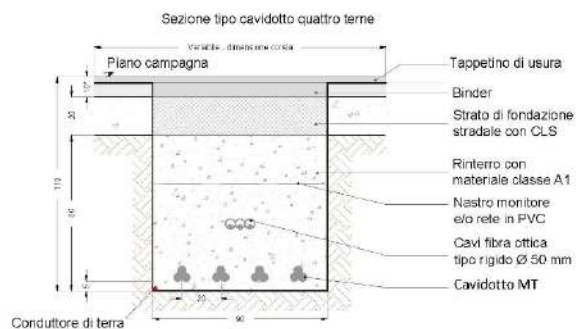
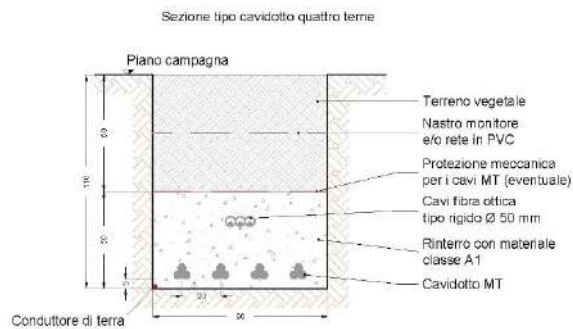
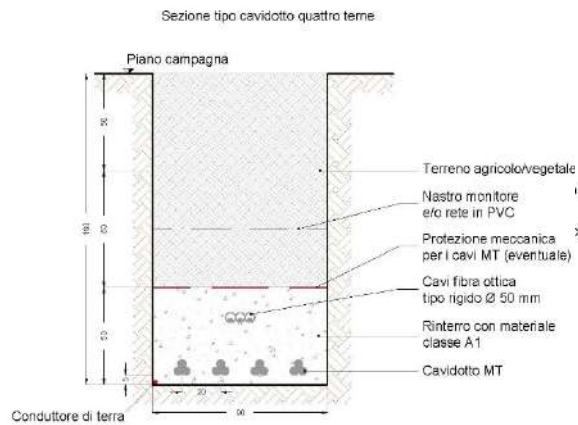
Allegato 4 - DPA e fascia di rispetto per linea 132 kV con una terna da 1600 mmq



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Allegato 1

Qui di seguito sono riportate alcune sezioni tipiche di posa dei cavidotti:



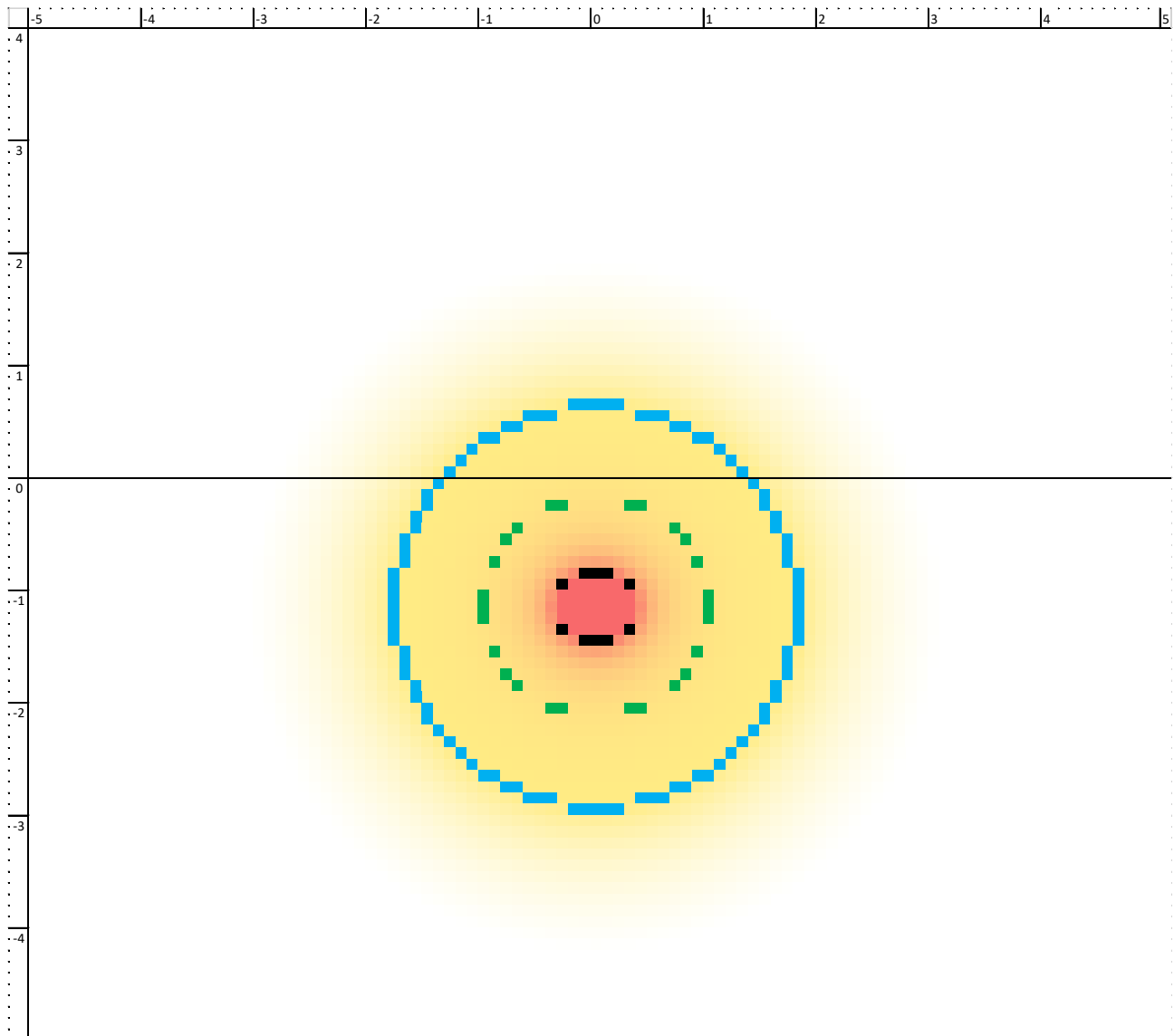


Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Allegato 2

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per una linea a 30 kV in cavi sotterranei con due terne da 400 mm², configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Area Sezione cavi	Progressivi terne	Distanza centri cavi S [m]	Portata di calcolo I	Fattore di riduzione	Portata di calcolo I _{rid}	Distanza asse x [m]	Distanza asse y [m]
400	1	0,0507	476	0,80	380,80	-0,10	-1,1
400	2	0,0507	476	0,80	380,80	0,10	-1,1



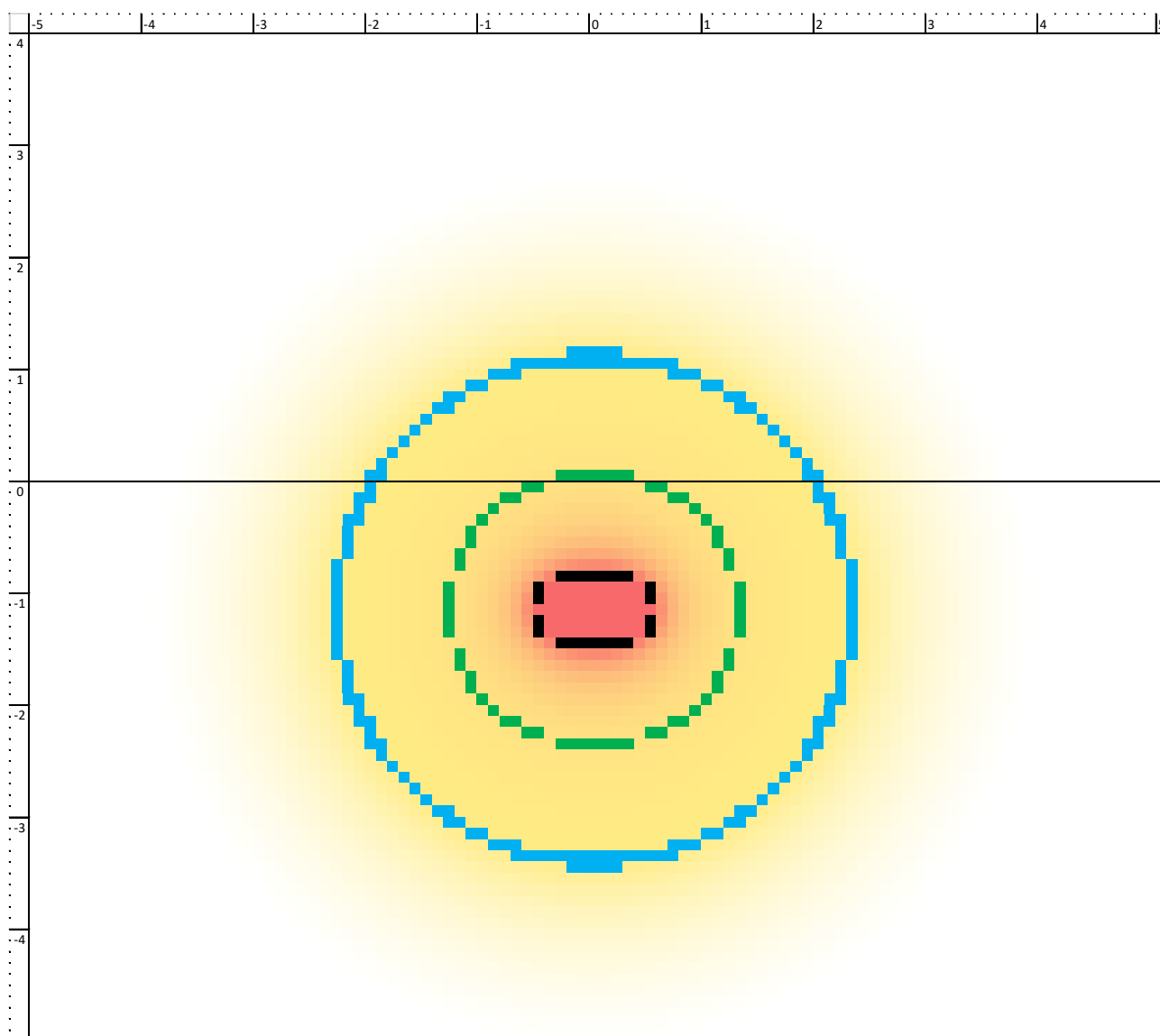


Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Allegato 3

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per una linea a 30 kV in cavi sotterranei con quattro terne da 400 mm², configurazione di posa con cavi a trifoglio

Area Sezione cavi	Progressivi terne	Distanza centri cavi S [m]	Portata di calcolo I	Fattore di riduzione	Portata di calcolo I _{rid}	Distanza asse x [m]	Distanza asse y [m]
400	1	0,0507	476	0,65	309,40	-0,30	-1,1
400	2	0,0507	476	0,65	309,40	-0,10	-1,1
400	3	0,0507	476	0,65	309,40	0,10	-1,1
400	4	0,0507	476	0,65	309,40	0,30	-1,1



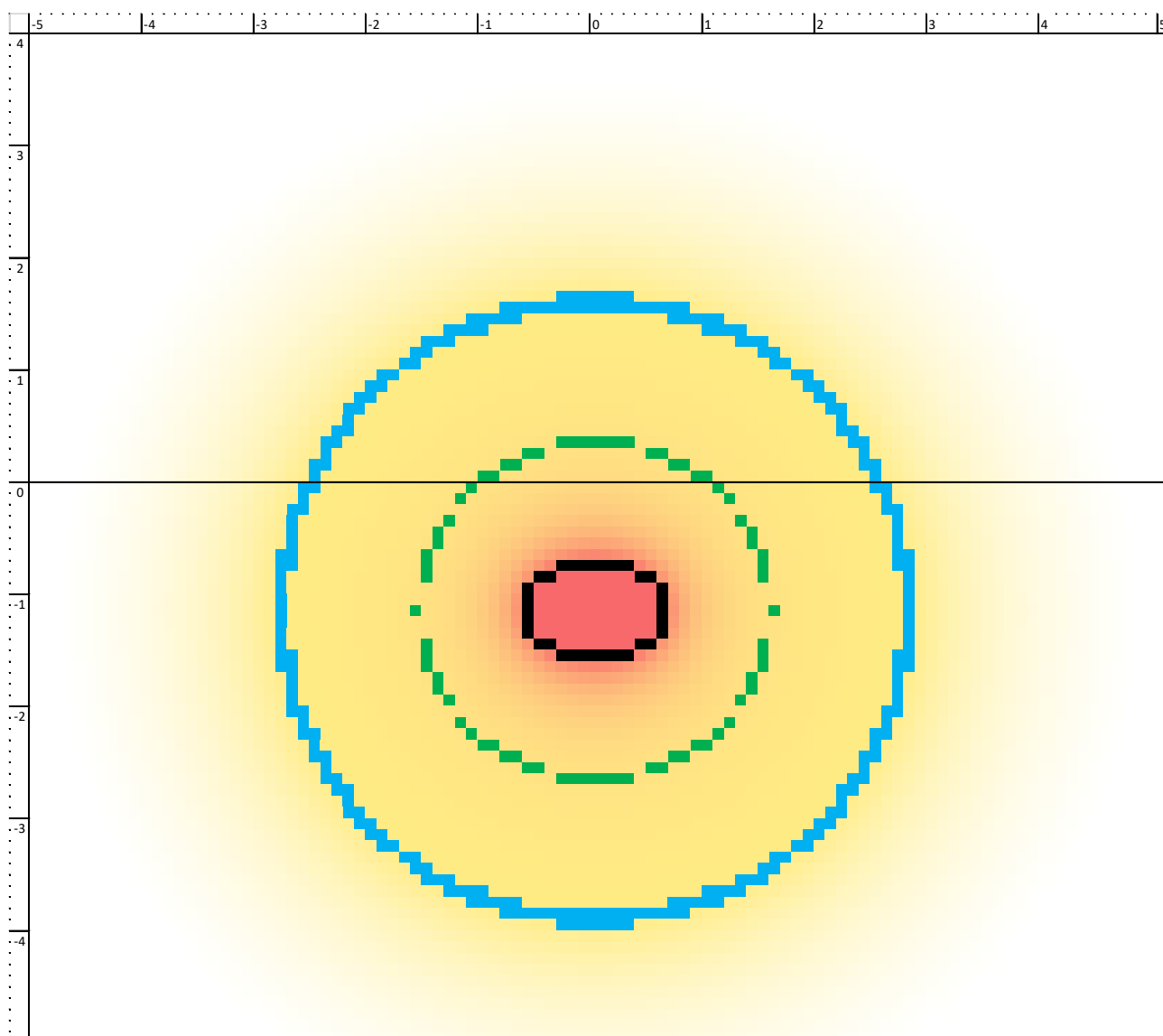


Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Allegato 4

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per una linea a 30 kV in cavi sotterranei con quattro terne da 630 mm², configurazione di posa con cavi a trifoglio

Area Sezione cavi	Progressivi terne	Distanza centri cavi S [m]	Portata di calcolo I	Fattore di riduzione	Portata di calcolo I _{rid}	Distanza asse x [m]	Distanza asse y [m]
630	1	0,0583	617	0,65	401,05	-0,30	-1,1
630	2	0,0583	617	0,65	401,05	-0,10	-1,1
630	3	0,0583	617	0,65	401,05	0,10	-1,1
630	4	0,0583	617	0,65	401,05	0,30	-1,1





Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico con una potenza nominale pari a 40 MW (40 MW in immissione) denominato "Giacomelli" da realizzarsi nel comune di Pradamano (UD) nella provincia di Udine in località denominata "Colli Giacomelli" e delle opere connesse ed infrastrutture indispensabili all'esercizio delle stesse site nei comuni di Pradamano (UD) e Remanzacco (UD).

Allegato 5

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per una linea a 132/150 kV in cavi sotterranei con una terna da 1600 mm², configurazione di posa con cavi a trifoglio

Area Sezione cavi	Progressivi terne	Distanza centri cavi S [m]	Portata di calcolo I	Fattore di riduzione	Portata di calcolo I _{rid}	Distanza asse x [m]	Distanza asse y [m]
1600	1	0,1090	1065	1,00	1065,00	0,00	-1,6

