REGIONE LIGURIA

REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI SAVONA

COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE

OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COMPOSTO DA 7 AEROGENERATORI PER UNA POTENZA COMPLESSIVA PARI A 29,4 MW DENOMINATO "BRIC MUND" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI CAIRO MONTENOTTE (SV) IN LOCALITÁ CAMPONUOVO E DELLE OPERE CONNESSE E INFRASTRUTTURE INDISPENSABILI ALL'ESERCIZIO DELLE STESSE SITE NEI TERRITORI DI CARCARE (SV), ALTARE (SV) E MALLARE (SV)

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

Statkraft

SKI W A3 S.R.L.
Società soggetta ad attività di direzione e coordinamento di Statkraft AS

Partita IVA 11412940964
C.F. 12655750961

Foro Buonaparte 60
20121 Milano

TITOLO

RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI

PROGETTISTA

Dott. Ing. Girolamo Gorgone

Collaboratori

Ing. Gioacchino Ruisi
Ing. Giuseppina Brucato
Ing. Francesco Lipari
Dott. Agr. e For. Michele Virzì
Dott. Haritiana Ratsimba
Dott. Andrea Licata
Dott. Federica Ferrante
Dott. Annalisa Scardamaglia
Barbara Gorgone

CODICE ELABORATO

SKC_R_01_A_E_A_1

SCALA

Girolamo Gorgone
15.12.2025 18:58:11 GMT+02:00

n°.Rev.	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

Rif. PROGETTO

N.

NOME FILE DI STAMPA

SCALA DI STAMPA DA FILE

COPYRIGHT STATKRAFT- TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI A NORMA DI LEGGE

Sommario

PREMESSA 3

1 INTRODUZIONE AL PROGETTO 3

1.1 Inquadramento territoriale 3

2 SINTESI DEL QUADRO NORMATIVO 7

3 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO 9

4 CARATTERISTICHE DELLE LINEE DI COLLEGAMENTO 10

5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE NELLE VARIE SITUAZIONI 16

6 SIMULAZIONI DELL'INDUZIONE MAGNETICHE NEI VARI CASI 17

7 METODOLOGIA E CALCOLO 19

8 SISTEMI DI SCHERMATURA 24

8.1 Sistemi di schermatura degli elettrodotti interrati 24

8.2 Prestazioni schermanti delle canalette schermanti 25

9 CALCOLO DELLE DPA IN ALTRI CASI 27

9.1 Calcolo delle DPA degli Aerogeneratori 27

9.2 Calcolo delle DPA delle cabine elettriche 29

10 CONSIDERAZIONI FINALI 32

11 ALLEGATI: 33

Allegato 1 34

Allegato 2 35

Allegato 3 36

Allegato 4 37

Allegato 5 38

Allegato 6 39

Allegato 7 40

Allegato 8 41

PREMESSA

Il presente documento costituisce la **Relazione campi elettromagnetici**, relativa al Progetto definitivo per la realizzazione di un impianto eolico composto da 7 aerogeneratori da 4,2 MW ciascuno, per una potenza nominale complessiva di 29,4 MW. Ogni aerogeneratore, servito da un piazzale di sosta e manovra, è collegato agli altri mediante piste di accesso (in parte su tracciati viari già esistenti) necessarie tanto all'attività di realizzazione che di successiva manutenzione dell'impianto. Un cavidotto interrato in alta tensione collegherà le turbine alla futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione a 380/132/36 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 380 kV "Magliano - Vado Ligure".

L'area interessata dal parco eolico ricade nella provincia di Savona in Liguria e più specificatamente nel territorio comunale di Cairo Montenotte (SV), il cavidotto di connessione ricade interamente nei territori di Cairo Montenotte (SV), Carcare (SV), Altare (SV) e Mallare (SV). La futura stazione di connessione alla RTN si localizza nel territorio di Mallare (SV) in località Peirano.

L'azienda proponente l'iniziativa è la **SKI W A3 S.r.l.,** società controllata da **Statkraft Italia S.r.l.**, società internazionale leader nel settore idroelettrico e il più grande produttore di energia rinnovabile in Europa. Il Gruppo produce energia idroelettrica, eolica, solare, da gas e fornisce teleriscaldamento. Statkraft è un'azienda globale nella gestione dei mercati elettrici e conta oltre 6000 dipendenti in più di 20 paesi tra cui l'Italia.

1 INTRODUZIONE AL PROGETTO

1.1 Inquadramento territoriale

Il parco eolico in progetto e le infrastrutture indispensabili all'esercizio dello stesso ricadono nel territorio comunale di Cairo Montenotte (SV), ricadente nella provincia di Savona. Il cavidotto di connessione Interessa i comuni di Cairo Montenotte (SV), Carcare (SV), Altare (SV) e Mallare (SV) mentre la Futura stazione di connessione alla RTN, ricade nel territorio comunale di Mallare (SV).

Con riferimento alla cartografia della serie IGM 25V in scala 1:25000 il parco eolico (inteso come l'insieme degli aerogeneratori e delle piste che li collegano) e le relative opere indispensabili all'esercizio dello stesso ricadono nei Fogli 81 II-SO Cairo Montenotte, 81 II-SE Altare, 92 I-NO Mallare e 92 I-NE Vado Ligure.

In relazione alla Carta Tecnica Regionale della Liguria in scala 1:10000 il parco eolico (inteso come l'insieme degli aerogeneratori e delle piste che li collegano) e le opere di trasformazione e connessione ricadono nei Fogli 211160 Rocchetta Cairo, 212130 Giusvalla, 228040 Cairo Montenotte, 229010 Pra Sottano, 228080 Pallare.

Il sito del parco eolico è localizzato a circa 3,7 km a sud-est del centro abitato di Cairo Montenotte (SV) e a circa 4,5 km a nord-est di Carcare (SV). L'area risulta agevolmente raggiungibile da Genova percorrendo l'autostrada E25, proseguendo lungo la E80 fino a Savona e successivamente imboccando la E717. All'altezza del casello di Altare si accede alla NSA 338, per poi proseguire lungo la SP29 in direzione Cairo Montenotte (SV). Dal centro abitato, il sito è raggiungibile attraverso la strada comunale Camponuovo.

Il sito di impianto presenta una morfologia prevalentemente collinare-montuosa, con quote altimetriche comprese tra i 533 m s.l.m. in corrispondenza della postazione WTG05 e i 641 m s.l.m. in corrispondenza della postazione WTG01. Le aree individuate per l'installazione degli aerogeneratori risultano attualmente destinate prevalentemente a bosco a prevalenza di castagno, utilizzato a fini di arboricoltura da legno.

A livello geografico il sito si localizza alle coordinate (identificate da un punto mediano d'impianto):

Tabella 1. coordinate mediane d'impianto

WGS84	
N	44°23'27.51"N
E	8°19'26.48"E

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che permette di identificare: modello, denominazione e posizione geografica degli aerogeneratori che compongono il Parco eolico di progetto.

Tabella 2 - Inquadramento geografico-catastale del parco eolico

INQUADRAMENTO TERRITORIALE		
	PARCO EOLICO	PUNTO DI CONNESSIONE
Località impianto	Camponuovo	Peirano
Comuni interessati	Cairo Montenotte (SV)	Mallare (SV)
Inquadramento CTR	211160 Rocchetta Cairo 212130 Giusvalla 228040 Cairo Montenotte 229010 Pra Sottano	228080 Pallare
Inquadramento IGM	81 II-SO Cairo Montenotte 81 II-SE Altare	92 I-NO Mallare

CARATTERISTICHE DELLE TURBINE	
Modello	Vestas V150 o similare/equivalente
Potenza nominale	4,5 MW Limitate 4,2 MW
Dimensioni	Altezza del mozzo dal piano di campagna: fino a 105 m
	Diametro del rotore fino a 150 m
	Altezza totale dell'aerogeneratore: fino a 180 m

NUMERO E LOCALIZZAZIONE DELLE TURBINE						
Codice turbina	Comune	Foglio	Particella	Coordinate WGS84 (Lat. - Long.)		Quota (m s.l.m.)
CM-01	Cairo Montenotte (SV)	38	81	44°24'5.18"N	8°19'36.40"E	641,80
CM-02	Cairo Montenotte (SV)	55	3	44°23'44.59"N	8°20'0.72"E	632,49
CM-03	Cairo Montenotte (SV)	54	24	44°23'28.07"N	8°19'24.66"E	547,49
CM-04	Cairo Montenotte (SV)	53	113	44°23'31.36"N	8°18'53.21"E	608,18
CM-05	Cairo Montenotte (SV)	54	35	44°23'4.49"N	8°19'19.88"E	508,52
CM-06	Cairo Montenotte (SV)	72	152	44°22'49.81"N	8°19'17.16"E	533,02
CM-07	Cairo Montenotte (SV)	72	152	44°22'34.43"N	8°19'12.39"E	560,15

Nella successiva fase di progettazione esecutiva le specifiche tecniche delle turbine eoliche potranno variare sulla base di valutazioni tecniche, ottimizzazioni progettuali, disponibilità di mercato ed evoluzione dell'offerta commerciale al momento dell'approvvigionamento. Tali possibili variazioni, tuttavia, non inficeranno le caratteristiche progettuali di base (*e.g.* caratteristiche dimensionali) e le relative valutazioni ambientali presentate in questa fase.

Tabella 3 - Tabella delle lunghezze tratti ove è previsto il passaggio del cavidotto interrato

Comune	Strada percorsa	Tipologia di sedime	Distanza [m]	Tipologia cavidotto
Cairo Montenotte (SV)	Strada bianca	piazzale/pista	107,50	AT
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	sterrato	1746,12	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	piazzale/pista	86,50	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	terreno	837,94	
Cairo Montenotte (SV)	Strada camponuovo	sterrato	156,11	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	sterrato	308,42	
Cairo Montenotte (SV)	Strada bianca	piazzale/pista	1046,92	
Cairo Montenotte (SV)	Strada bianca	piazzale/pista	60,28	
Cairo Montenotte (SV)	Strada bianca	piazzale/pista	424,48	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	sterrato	88,37	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	sterrato	1160,27	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	sterrato	518,07	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	piazzale/pista	659,97	
Cairo Montenotte (SV)	N.r.	terreno	929,46	
Cairo Montenotte (SV)	Via Italia	asfalto	1564,44	
Cairo Montenotte (SV)	Viale della Libertà	asfalto	1554,71	
Cairo Montenotte (SV)	Viale della Libertà	terreno	153,85	
Cairo Montenotte (SV)	Viale della Libertà	asfalto	825,86	
Cairo Montenotte (SV)	SP 61	asfalto	851,08	
Carcare (SV)	SP 61	asfalto	158,64	
Altare (SV)	SP 29	asfalto	1268,10	
Altare (SV)	Via Fornace	asfalto	288,02	
Altare (SV)	Strada Castellaro (via Mallare)	asfalto	88,14	
Altare (SV)	Strada Isola Grande	asfalto	1419,22	
Altare (SV)	N.r.	terreno	55,75	
Altare (SV)	SP 5	asfalto	809,07	
Mallare (SV)	SP 5	asfalto	83,14	
Mallare (SV)	N.r.	terreno	117,21	
			Lunghezza totale cavidotto in alta tensione: 17367,64 m	

OPERE ACCESSORIE	
Piste di impianto	1636 m (piste di nuova realizzazione)
Piazzale di impianto (Permanente)	12496,14 m^2
Cavidotto interrato di connessione	17,37 km circa

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 μT
	Campo elettrico	5'000 V/m
Valore di Attenzione per il campo magnetico		10 μT
Obiettivo di Qualità per il campo magnetico		3 μT

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 μT 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 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 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'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 μT per il valore 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 μT 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:

- 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.lgs. 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 1000 μT.

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 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 generato dal passaggio di corrente elettrica.

4 CARATTERISTICHE DELLE LINEE DI COLLEGAMENTO

L'intervento è illustrato nei vari documenti progettuali.

Il progetto prevede che i collegamenti elettrici, tra i generatori eolici e la cabina di raccolta e sezionamento utente avvengano, su linee indipendenti per ogni aerogeneratore, in cavidotto interrato con cavi a conduttore in alluminio, alla tensione di 36 kV e tra quest'ultima alla stazione di consegna dell'energia, in cavidotto interrato con cavo a conduttore in rame, alla tensione di 36 kV.

Il cavo utilizzato per la sezione AT a 36 kV indicato di seguito è stato previsto per i trasporti di energia di 7,2 MW dal singolo aerogeneratore alla SSEU è del tipo ARE4H5E 20,8/36 kV con conduttore in alluminio avente sezione 500 mm^2.

Di seguito estratto della scheda tecnica tipo del prodotto che potrà essere variata in fase esecutiva a seguito di variazioni al sistema di trasporto dell'energia in progetto e alla disponibilità commerciale al momento della realizzazione:

Nexans

ARE4H5E
20,8/36kV
1x... SR/0,2

HIGH VOLTAGE POWER CABLES

SINGLE CORE CABLES WITH ALUMINIUM CONDUCTOR, REDUCED THICKNESS XLPE INSULATION, ALLUMINIUM TAPE SCREEN AND PE OUTER SHEATH, LONGITUDINAL AND RADIAL WATERTIGHTNESS

APPLICATIONS

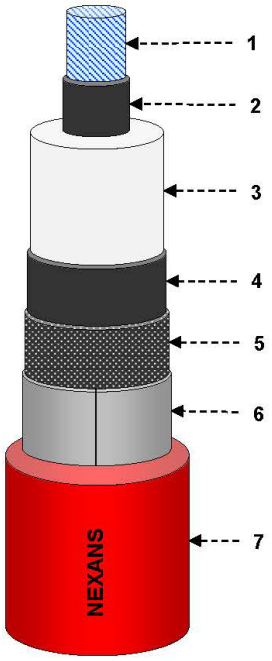
In HV energy distribution networks for voltage systems up to **42kV**.
Suitable for fixed installation indoor or outdoor laying in air or directly or indirectly buried, also in wet location.

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

Rated voltage U_0/U:	**20,8/36**	kV
Maximum voltage U_m:	**42**	kV
Test voltage:	**2,5**	U_0
Max operating temperature of conductor:	**90**	°C
Max short-circuit temperature:	**250**	°C (max duration 5 s)
Max short-circuit temperature (screen):	**150**	°C

CONSTRUCTION

1. **Conductor**
   stranded, compacted, round ***aluminium*** *- class* ***2*** *acc. to IEC 60228*
2. **Conductor screen**
   extruded semiconducting compound
3. **Insulation**
   extruded ***XLPE*** *compound*
4. **Insulation screen**
   extruded semiconducting compound - ***fully bonded***
5. **Longitudinal watertightness**
   semiconducting ***water blocking tape***
6. **Metallic screen and radial water barrier**
   aluminium tape *longitudinally applied (nominal thickness = 0,20 mm)*
7. **Outer sheath**
   extruded ***PE*** *compound - colour:* ***red***



INSTALLATION DATA

Max pulling force during laying
50 N/mm² (applied on the conductors)
Min bending radius during laying
14 D_{cable} (dynamic condition)
Min temperature during laying
- 25 °C (cable temperature)

STANDARDS

IEC 60840 where applicable *(testing)*
Nexans Design
HD 620 where applicable *(materials)*

MARKING by ink-jet of the following legend:
"**NEXANS B <Year> ARE4H5E 20,8/36kV 1x<S> <meter marking>**"
<Year> = year of manufacturing
<S> = section of the conductor


Longitudinal waterproof


Radial waterproof


Max operating temp. of conductor: **90 °C**


Max short-circuit temperature : **250 °C**


Max short-circuit temperature screen: **150 °C**


Minimum installation temperature: **-25 °C**

ARE4H5E 20,8/36kV 1x...

Type	Conductor diameter nominal	Insulation thickness min	Insulation diameter nominal	Sheath thickness nominal	Cable diameter approx	Cable weight indicative	Electrical resistance at 20 °C - d.c. max	Electrical resistance at 90 °C - a.c.	X at 50 Hz	C	Current capacity in ground at 20 °C	Current capacity in free air at 30 °C	Short circuit current conductor Tmax 250°C	Short circuit current screen Tmax 150°C
n° x mm²	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
1x120	13,1	7,9	30,7	2,2	**39,2**	**1.260**	0,253	0,325	0,125	0,185	**254**	**332**	11,3	2,2
1x150	14,3	7,6	31,3	2,2	**39,8**	**1.340**	0,206	0,265	0,121	0,201	**283**	**374**	14,2	2,2
1x185	16,0	7,4	32,6	2,2	**41,2**	**1.470**	0,1640	0,211	0,116	0,221	**321**	**430**	17,5	2,3
1x240	18,5	7,1	34,5	2,3	**43,4**	**1.690**	0,1250	0,161	0,110	0,252	**372**	**508**	22,7	2,3
1x300	20,7	6,8	36,1	2,3	**45,0**	**1.880**	0,1000	0,129	0,105	0,283	**419**	**583**	28,3	2,4
1x400	23,5	6,9	39,1	2,4	**48,3**	**2.220**	0,0778	0,101	0,101	0,308	**479**	**680**	37,8	2,6
1x500	26,5	7,0	42,6	2,5	**52,2**	**2.670**	0,0605	0,079	0,099	0,337	**547**	**792**	47,2	2,9
1x630	30,0	7,1	46,3	2,7	**56,4**	**3.220**	0,0469	0,063	0,096	0,367	**622**	**921**	59,5	3,0

Note

Laying condition:	trefoil formation
depth (m):	0,8
soil thermal resistivity (°Cm/W):	1,5
metallic layers connection:	solid bonding (earthed at both ends)

X = phase reactance
C = capacitance

Nexans reserves the right to change the technical data as a result of changes in standards and product improvements

Figura 1 - Scheda tecnica cavo

Il cavo utilizzato per la sezione AT a 36 kV indicato di seguito è stato previsto per i trasporti di energia di 29,4 MW dalla SSEU al pozzetto di connessione a 36 kV in SE Terna è del tipo RG16H1R12 26/45 kV con conduttore in rame avente sezione 630 mm^2.

Di seguito estratto della scheda tecnica tipo del prodotto che potrà essere variata in fase esecutiva a seguito di variazioni al sistema di trasporto dell'energia in progetto e alla disponibilità commerciale al momento della realizzazione:

RG16H1R12 / Descrizione

- Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G16, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: rame rosso, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore: estruso (solo cavi Uo/U ≥ 6/10 kV)
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G16 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo (solo cavi Uo/U ≥ 6/10 kV)
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità R12
- Colore: rosso

N.B. Il cavo può essere fornito nella versione tripolare riunito ad elica visibile. In tal caso la sigla di designazione diventa RG16H1R12X seguita dalla tensione nominale di esercizio.

RG16H1OR12 / Descrizione

- Cavi tripolari isolati in gomma HEPR di qualità G16, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: rame rosso, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore: estruso (solo cavi Uo/U ≥ 6/10 kV)
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G16 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo (solo cavi Uo/U ≥ 6/10 kV)
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Identificazione fasi: fili o nastrini colorati
- Riempitivo: estruso penetrante tra le anime
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità R12
- Colore: rosso

Caratteristiche particolari

Buona resistenza ai raggi UV.
(ISO 4892-2:2013 / IEC 60811-501:2012 / 1000h)

Caratteristiche funzionali

- Tensione nominale di esercizio Uo/U: 1,8/3 ÷ 26/45 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C

Condizioni di posa

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 14 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 60 N/mm^2 di sezione del rame

Impiego e tipo di posa

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale.
Ammessa la posa interrata anche non protetta, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

Riferimento Regolamento Prodotti da Costruzione 305/2011/UE e Norma EN 50575:
Il cavo è adatto per l'alimentazione di energia elettrica nelle costruzioni ed altre opere di ingegneria civile.

Marcatura

Pb free [Ditta] RG16H1(O)R12 [tens. nominale] [form.] Eca [anno] [ordine] (logo CE) [metrica]

RG16H1R12 - 26/45 kV
Uo/U: 26/45 kV
U max: 52 kV

Caratteristiche tecniche

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Ø esterno indicativo	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A			
					in aria		interrato*	
n° x mm²	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano
1 x 50	8,1	10,3	37,7	1910	225	250	205	212
1 x 70	9,7	10,3	39,3	2190	280	315	255	260
1 x 95	11,4	10,3	41,2	2540	340	380	300	310
1 x 120	12,9	10,0	42,2	2805	395	440	355	365
1 x 150	14,3	9,5	42,8	3080	445	495	385	395
1 x 185	16,0	9,3	44,3	3465	510	570	440	450
1 x 240	18,3	9,3	46,9	4160	600	665	510	520
1 x 300	21,0	9,0	49,2	4875	695	760	570	580
1 x 400	23,2	9,0	51,8	5782	800	875	650	655
1 x 500	26,1	9,0	55,3	7000	930	1010	735	740
1 x 630	30,3	9,0	59,3	8355	1070	1180	835	845

(*) I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:
- Resistività termica del terreno: 1 K·m/W
- Temperatura ambiente 20°C
- profondità di posa: 0,8 m

Caratteristiche elettriche

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz Ω/km		Reattanza di fase Ω/Km		Capacità a 50Hz
n° x mm²	Ω/Km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	µF/km
1 x 50	0,387	0,494	0,494	0,15	0,20	0,15
1 x 70	0,268	0,342	0,342	0,15	0,21	0,15
1 x 95	0,193	0,246	0,246	0,14	0,20	0,16
1 x 120	0,153	0,196	0,196	0,14	0,20	0,18
1 x 150	0,124	0,159	0,158	0,13	0,19	0,20
1 x 185	0,0991	0,128	0,127	0,13	0,19	0,21
1 x 240	0,0754	0,0985	0,0972	0,12	0,18	0,23
1 x 300	0,0601	0,0797	0,0779	0,12	0,18	0,26
1 x 400	0,0470	0,0638	0,0616	0,11	0,17	0,28
1 x 500	0,0366	0,0517	0,0489	0,11	0,17	0,31
1 x 630	0,0283	0,0425	0,0389	0,10	0,16	0,34

Figura 2 - Scheda tecnica cavo

In linea generale si contano 3 linee AT a 36 kV indipendenti costituite da una terna di cavi unipolari ciascuna. Di seguito vengono rappresentate le caratteristiche del singolo cavo unipolare utilizzato:

- Cavo ARE4H5E 20,8/36 kV da 300 mm^2
  - Conduttore in Alluminio di sezione 300 mm^2;
  - Isolamento il XLPE;
  - Diametro sul conduttore 20,7 mm;
  - Diametro sull'isolante esterno della singola fase 36,1 mm;
  - Diametro esterno della singola fase 45,0 mm;
  - Massima temperatura in condizioni normali di esercizio 90 °C;
  - Massa indicativa 1.880 [kg/km];
  - Portata nominale in corrente in regime permanente 419 Ampere alla temperatura di esercizio di 90 °C.
- Cavo ARE4H5E 20,8/36 kV da 500 mm^2
  - Conduttore in Alluminio di sezione 500 mm^2;
  - Isolamento il XLPE;
  - Diametro sul conduttore 26,5 mm;
  - Diametro sull'isolante esterno della singola fase 42,6 mm;
  - Diametro esterno della singola fase 52,2 mm;
  - Massima temperatura in condizioni normali di esercizio 90 °C;
  - Massa indicativa 2.670 [kg/km];
  - Portata nominale in corrente in regime permanente 547 Ampere alla temperatura di esercizio di 90 °C.
- Cavo RG16H1R12 ÷ 26/45 kV da 630 mm^2
  - Conduttore in rame di sezione 630 mm^2;
  - Isolamento il HEPR;
  - Diametro sul conduttore 30,3 mm;
  - Spessore medio isolante 9,0 mm;
  - Diametro esterno della singola fase 59,3 mm;
  - Massima temperatura in condizioni normali di esercizio 90 °C;
  - Massa indicativa 8355 [kg/km];
  - Portata nominale in corrente in regime permanente 835 Ampere alla temperatura di esercizio di 90 °C.

5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE NELLE VARIE SITUAZIONI

Per le finalità della seguente relazione si prendono in esame le diverse sezioni di posa che prevedono cavidotti AT da una a tre terne di cavi tutti nella stessa trincea. Nel caso in oggetto, per il cavidotto AT la configurazione peggiore dal punto di vista dei campi elettromagnetici risulta quella composta 2 terne in alluminio da 300 mm^2 e 1 terna in alluminio da 500 mm^2. Nei cataloghi dei vari produttori di cavi viene riportata la portata nominale del cavo prescindendo dalle varie tipologie di posa.

La norma IEC 60502-2 utilizzata per il calcolo della portata in regime permanente che attraversa linee in cavo (portata in corrente in servizio normale) descrive 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 per la rete AT cavi in alluminio o rame con sezione 300, 500 e 630 mm^2 e cavidotti da 1, 2, o 3 terne, come elencato di seguito:

- **Cavidotti AT in alluminio:**
  - 3x1x300 mm^2;
  - 3x1x500 mm^2;
  - 3x2x300 mm^2;
  - 3x1x300 mm^2 + 3x1x500 mm^2;
  - 3x2x500 mm^2;
  - 3x2x300 mm^2 + 3x1x500 mm^2;

- **Cavidotto AT in rame:**
  - 3x1x630 mm^2;

Per una trattazione di conoscenza più ampia si considerano le configurazioni di terne maggiormente utilizzate considerando come previsto dalla normativa fattori di riduzione.

Per il caso più gravoso, cavidotto con tre terne con conduttore in alluminio composizione 3x2x300 mm^2 + 3x1x500 mm^2, si è proceduto ad un'ulteriore simulazione considerando la portata massima degli aerogeneratori. Per tale simulazione non si considerano fattori di riduzione essendo di fatti la massima potenza raggiungibile e trasferita in cavidotto per il progetto in oggetto.

Nella seguente tabella i dati di calcolo:

Tabella 4 Risultati calcolo portate

Tensione e tipologia cavo	Numero di terne nella trincea	Configurazione del cavidotto	Portata nominale singolo cavo	Fattore di riduzione	Portata di calcolo singolo cavo
		[mm^2]	[Ampere]		[Ampere]
36 kV ARE4H5E in alluminio	1	3x1x300	419	1,00	419
	1	3x1x500	547	1,00	547
	2	3x1x300 + 3x1x500	419 + 547	0,90	377,10 + 492,30
	2	3x2x500	547 + 547	0,90	492,30 + 492,30
	3	3x2x300 + 3x1x500	419 + 419 + 547	0,80	335,20 + 335,20 + 437,60
36 kV ARE4H5E in alluminio	3	3x2x300 + 3x1x500	419 + 419 + 547	n.a.	419 + 419 + 547
36 kV ARE4H5E in rame	1	3x1x630	835,00	1,00	835,00

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, per i casi specifici più gravosi le isolinee dei 3, 10 e 100 µT, le DPA e le relative fasce di rispetto.

I risultati sono riportati nei seguenti allegati:

- Allegato 2 - DPA per linea 36 kV con una terna con conduttore in alluminio da 300 mm^2;
- Allegato 3 - DPA per linea 36 kV con una terna con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 4 - DPA per linea 36 kV con due terne, una con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 5 - DPA per linea 36 kV con due terne con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 6 - DPA per linea 36 kV con tre terne, due con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 7 - DPA per linea 36 kV con tre terne, due con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2, portata massima di progetto senza fattori di riduzione;
- Allegato 8 - DPA per linea 36 kV con una terna con conduttore in rame da 630 mm^2;

Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti per il calcolo della distanza di prima approssimazione (DPA) e la larghezza del corridoio con all'interno valori di B>3 μT.

Tabella 5 Risultati simulazioni dell'induzione magnetica

Tensione e tipologia cavo	Numero di terne nella trincea	Configurazione del cavidotto	Risultato DPA da calcolo	DPA considerata	Larghezza corridoio con B>3μT
		[mm^2]	[m]	[m]	[m]
36 kV ARE4H5E in alluminio	1	3x1x300	0,57	1	2
	1	3x1x500	1,06	1,5	3
	2	3x1x300 + 3x1x500	1,49	2	4
	2	3x2x500	1,73	2	4
	3	3x2x300 + 3x1x500	1,81	2,5	5
36 kV ARE4H5E in alluminio	3	3x2x300 + 3x1x500	0,97	2,5	5
36 kV ARE4H5E in rame	1	3x1x630	1,68	2,5	5

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 allo loro potenza nominale che di fatto sarà molto inferiore alla corrente usata per le simulazioni ed in ultima analisi le DPA calcolate sono cautelative.

Per le tipologie di cavidotto interrato indicate nel progetto, è previsto un superamento del valore di 3 μT al di sopra del piano di campagna. Tutti i tratti di cavidotto considerati percorrono esclusivamente strade pubbliche o altre aree di cui si prevede l'acquisizione del diritto di passaggio del cavidotto e nelle quali non è prevista, una destinazione d'uso che possa comportare la presenza di recettori sensibili, come definiti dal DPCM 8 luglio 2003.

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:

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

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.

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:

$$\mathrm{B} = 0{,}1 \cdot \sqrt{6} \cdot \frac{S1 \cdot I1}{\mathrm{R}^2}$$

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].

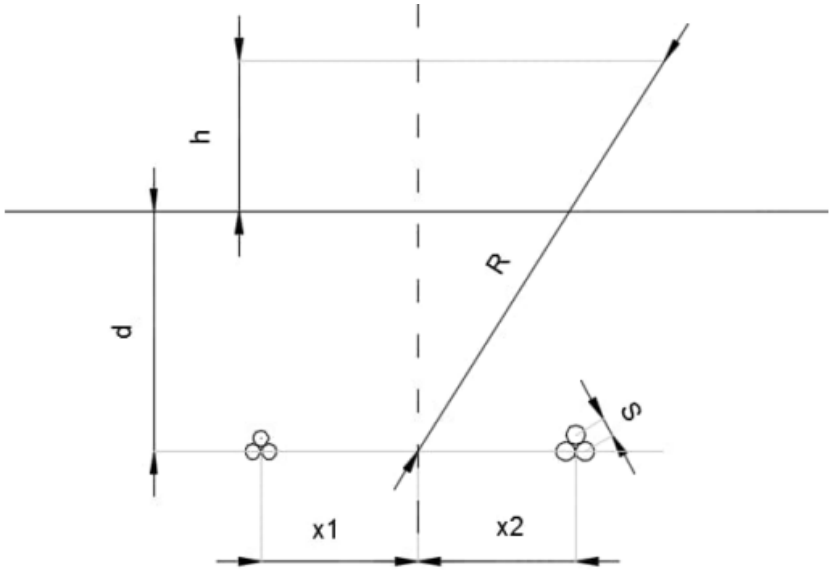


Figura 3 Sistema di riferimento per la valutazione dei campi magnetici nel caso in esame

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:

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

Di seguito i dati per il calcolo dell'induzione magnetica fissati i valori per il sistema di cavidotto in esame, scelto tra il caso più gravoso tra i cavidotti AT: cavidotto con quattro terne da 500 mm^2 in alluminio:

Tabella 6 - Dati di calcolo

Cavo	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]
ARE4H5E 20,8/36kV	300	1	0,0450	419,00	0,80	335,20	0,00	-1,1

ARE4H5E 20,8/36kV	300	2	0,0450	419,00	0,80	335,20	-0,20	-1,1
ARE4H5E 20,8/36kV	500	3	0,0522	547,00	0,80	437,60	0,20	-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 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	0,491	0,508	0,515	0,512	0,499	0,478	0,450
	-4,5	0,600	0,625	0,635	0,631	0,611	0,580	0,540
	-4	0,748	0,786	0,803	0,796	0,765	0,716	0,656
	-3,5	0,955	1,020	1,049	1,036	0,985	0,905	0,811
	-3	1,259	1,373	1,427	1,403	1,310	1,173	1,020
	-2,5	1,722	1,944	2,054	2,005	1,820	1,565	1,303
	-2	2,464	2,950	3,212	3,094	2,671	2,153	1,687
	-1,5	3,707	4,940	5,738	5,365	4,198	3,044	2,188
	-1	5,780	9,520	13,201	11,301	7,076	4,315	2,779
	-0,5	8,664	20,850	62,350	32,399	11,895	5,758	3,321
	0	10,486	33,489	555,283	69,543	15,491	6,530	3,569
	0,5	9,008	22,838	77,553	37,077	12,545	5,909	3,371
	1	6,091	10,365	14,815	12,489	7,542	4,487	2,850
	1,5	3,898	5,282	6,200	5,769	4,444	3,172	2,255
	2	2,577	3,112	3,405	3,273	2,804	2,239	1,740
	2,5	1,791	2,032	2,152	2,099	1,897	1,621	1,342
	3	1,303	1,426	1,483	1,458	1,358	1,211	1,048
	3,5	0,985	1,053	1,084	1,071	1,016	0,932	0,832
	4	0,768	0,809	0,827	0,819	0,787	0,735	0,672
	4,5	0,615	0,641	0,652	0,647	0,627	0,594	0,552
	5	0,502	0,520	0,527	0,524	0,510	0,488	0,460

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 μT 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.

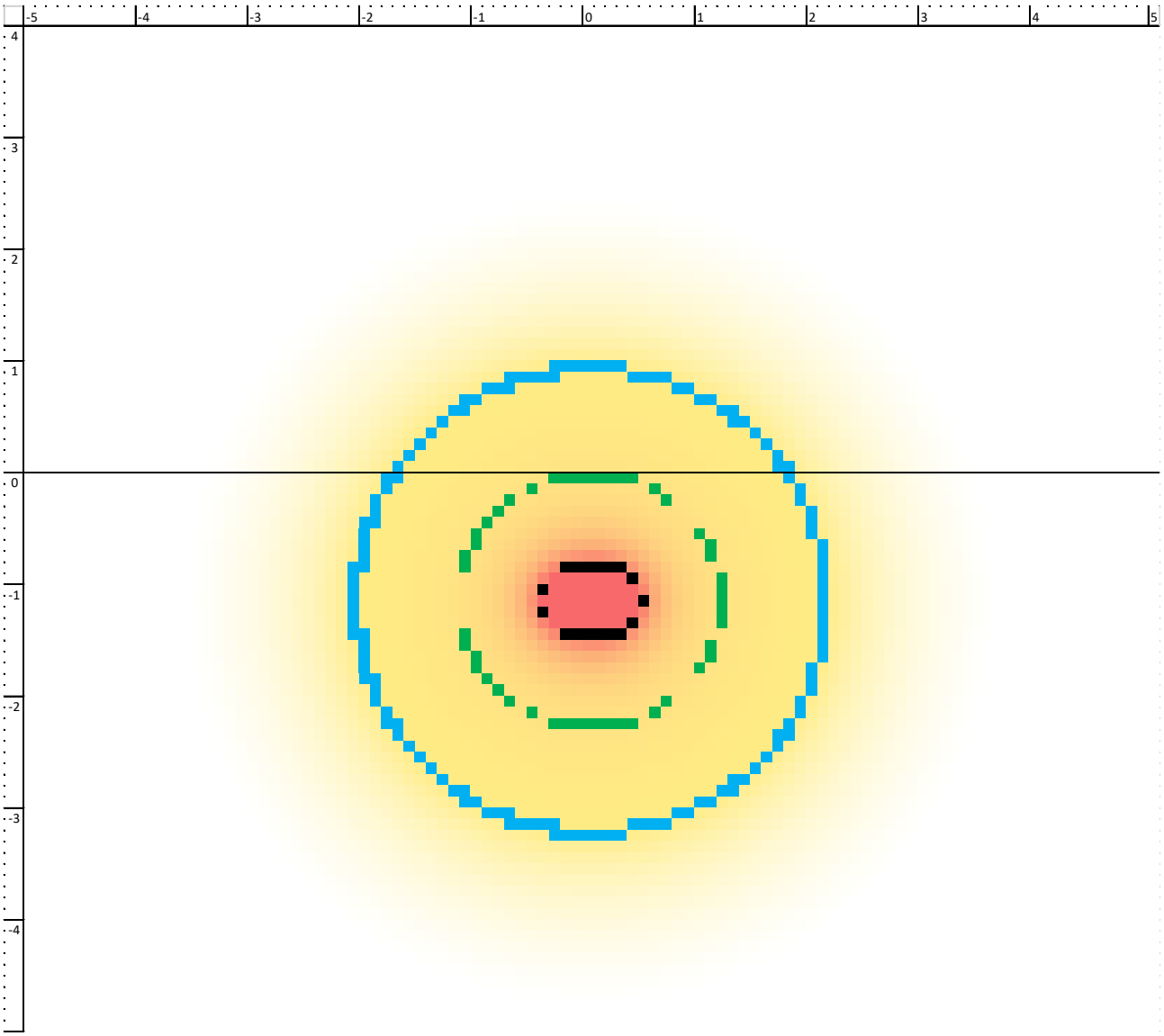


Figura 4 Sistema di calcolo graficizzato del campo magnetico nel caso in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

All'interno della fascia di rispetto (DPA > 3 μT) 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 µT. 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 cavidotto. 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

8.1 Sistemi di schermatura degli elettrodotti interrati

All'interno della fascia di rispetto (DPA di 3 µT) 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;
- 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:

$$SE = 20 \times \log\left(\frac{\mathrm{H1}}{\mathrm{H2}}\right)$$

dove:

- $\mathbf{H_1}$ rappresenta il campo magnetico senza schermatura;
- $\mathbf{H_2}$ rappresenta il campo magnetico misurato con l'interposizione dello schermo.

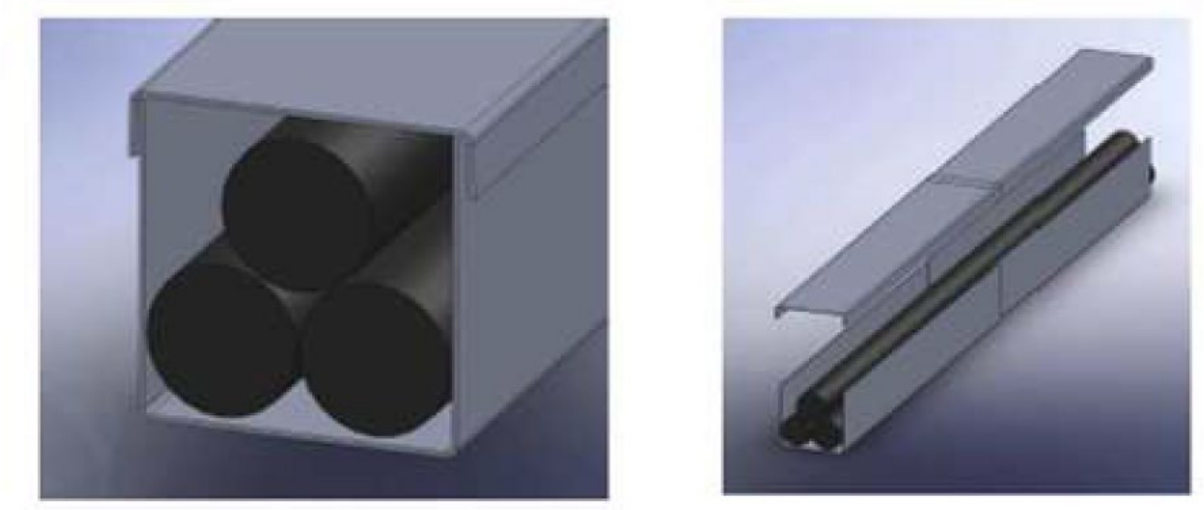


Figura 5 - Esempio di canaletta schermante tipo per cavidotto a terna elicordata o terna di cavi unipolari a contatto.

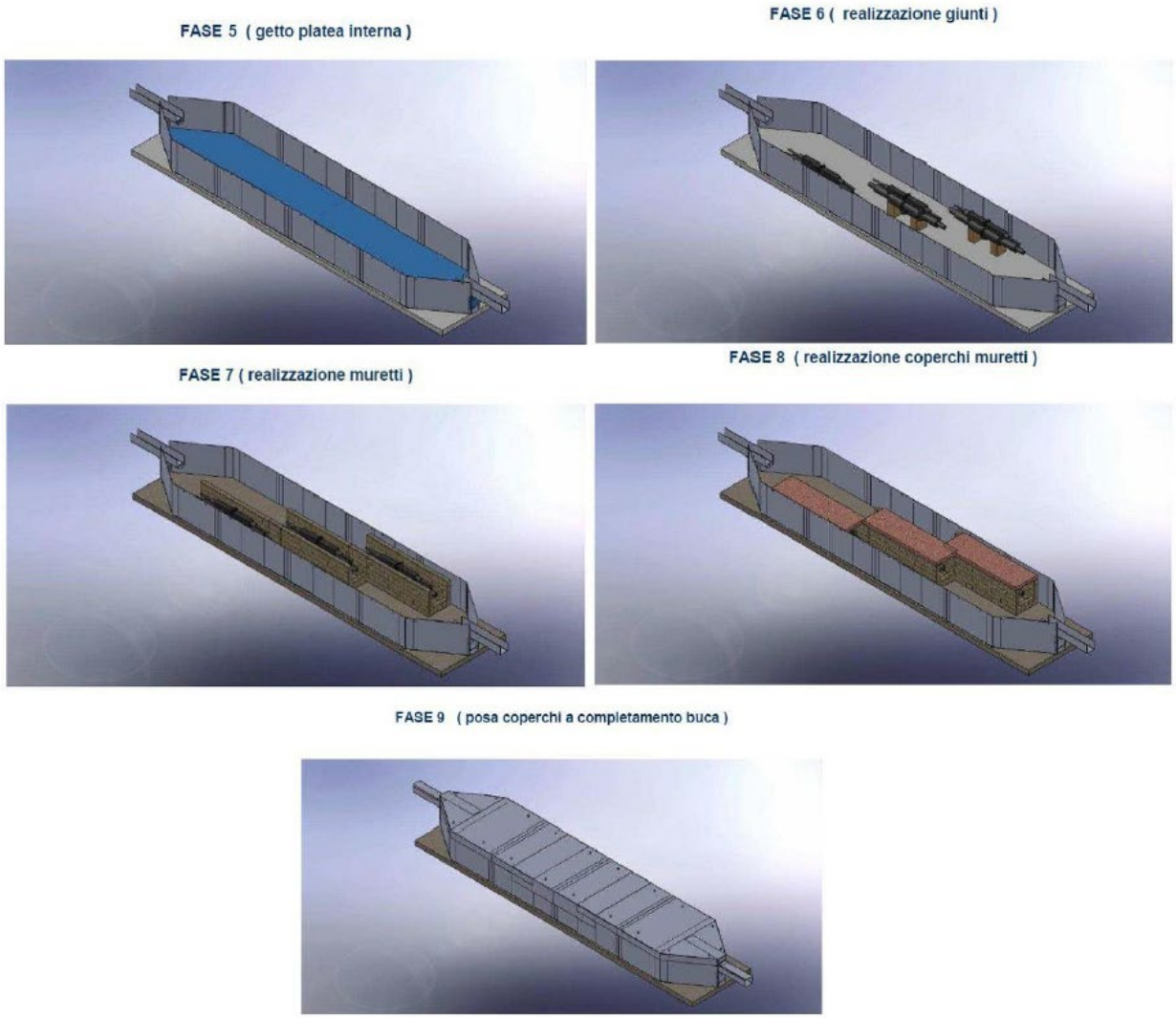


Figura 6 - Esempio di canaletta schermante tipo per buca giunti

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.

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 μT indipendentemente dalla posizione definitiva delle buche giunti.

9 CALCOLO DELLE DPA IN ALTRI CASI

9.1 Calcolo delle DPA degli Aerogeneratori

I componenti principali dell'aerogeneratore in cui si ha emissione di campi elettromagnetici sono:

- il generatore elettrico BT;
- Il trasformatore di tensione BT/MT
- le linee di connessione MT dalla navicella fino al quadro MT a base torre.

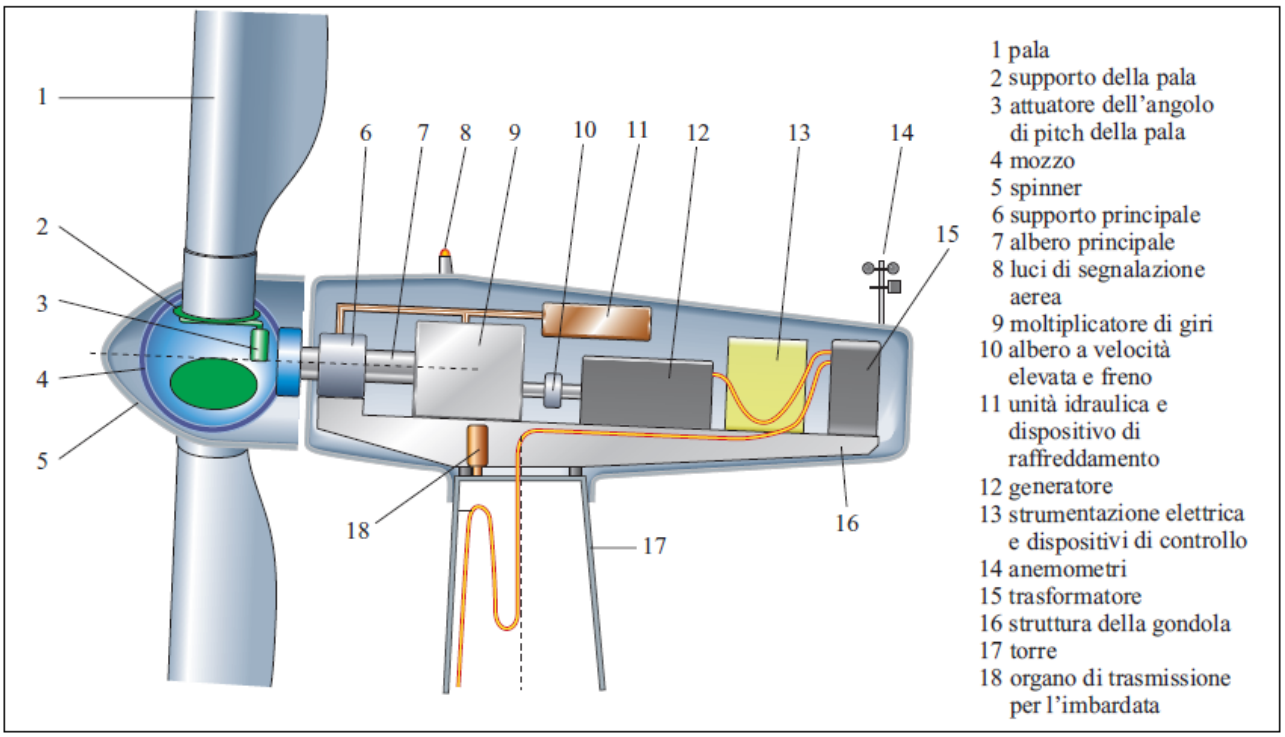


Figura 7. Schema tipo di funzionamento di un aerogeneratore, fonte www.e-nsight.com

Il generatore elettrico e il trasformatore, come evidenziato nell'immagine che risulta essere tipica per gli aerogeneratori utilizzati, si trovano nella navicella dell'aerogeneratore ad un'altezza che rende il campo elettromagnetico generato ininfluente ai fini della definizione della DPA a terra. Nella valutazione del campo magnetico si considera pertanto il cavidotto di collegamento alla base della torre nell'ipotesi che questo sia attraversato dalla corrente in condizioni di massima produzione. Pertanto la potenza considerata sarà, in via cautelativa, quella ottenuta dal trasformatore (potenza al trasformatore di 8,4 MVA) di un aerogeneratore con tensione di esercizio di 36 kV, calcolabile come:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{5{,}3 \cdot 10\text{^}6}{\sqrt{3} \cdot 36 \cdot 10\text{^}3 \cdot 0.90} = 94{,}44\ A$$

Considerando i conduttori sulla parete del sostegno dell'aerogeneratore, il campo generato si può calcolare con la relazione ottenuta dalla norma CEI 106-11 e valida per una terna di conduttori disposti in piano o in verticale (a bandiera) con distanza tra i conduttori adiacenti pari a S [m], percorsi da correnti simmetriche ed equilibrate di ampiezza pari a I [A], l'induzione magnetica B[μT] in un generico punto distante R [m] dal conduttore centrale, con R >> S, è data dalla seguente equazione:

$$B = \frac{0{,}2 \cdot \sqrt{3} \cdot S \cdot I}{R^2}$$

Dalla relazione si può calcolare la distanza R corrispondente ad un valore di B pari a 3 μT (soglia obiettivo di qualità D.P.C.M. 8 luglio 2003).

$$R = 0{,}34 \cdot \sqrt{(S \cdot I)}$$

Assumendo S pari a 0,1 m, risulta:

$$R = 0{,}34 \cdot \sqrt{(0{,}1 \cdot 94{,}44)} = 1{,}04\ m.$$

Di conseguenza, in via cautelativa viene assunta una **DPA di 2 m** misurata a partire dalle pareti esterne della torre.

L'area ove ricade la fascia di rispetto considerata, ricade all'interno dell'area di proprietà del soggetto proponente (area contrattualizzata) il quale apporrà nei pressi dell'area opportuna segnaletica di "Divieto di accesso ai non addetti ai lavori" ed eventuale recinzione con paletti e rete al fine di garantire la non permanenza superiore alle 4 ore secondo le prescrizioni del DPCM 8 luglio 2003.



Figura 8 DPA base aerogeneratore con segnaletica

9.2 Calcolo delle DPA delle cabine elettriche

La sala quadri AT a 36 kV ha la funzione di gestire e distribuire l'energia elettrica generata dall'impianto per poi convogliarla in un cavidotto esterno che arriva alla SE terna. La principale sorgente di campi magnetici è costituita dai conduttori e dalle apparecchiature AT percorsi dalla corrente nominale.

Per la sala quadri presente in SSE utente e operante ad una potenza di 29,4 MW e tensione di esercizio 36 kV, 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:

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

In relazione alla determinazione delle distanze di prima approssimazione, per le cabine MT così 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 i conduttori, espressa in metri (m);
- **I**: corrente nominale che percorre il cavo, espressa in ampere (A).

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):

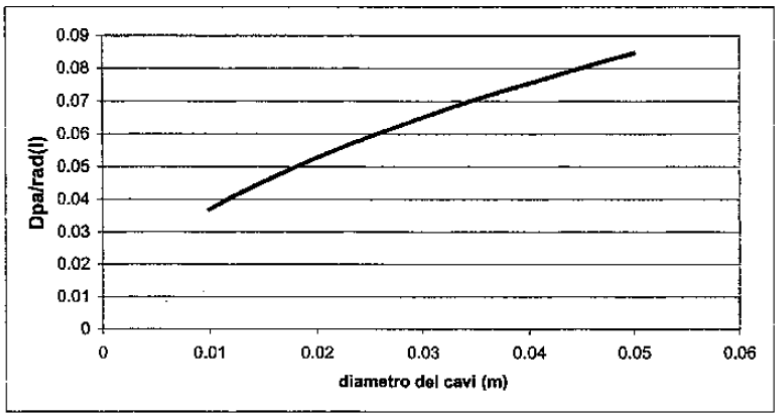


Figura 9 - Andamento del rapporto tra DPA e radice della corrente nominale al variare del diametro dei cavi

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

Per il caso in esame una serie di quadri AT alimentati a 36 kV, con potenza complessiva pari a 29.400 kW e corrente nominale di impiego pertanto pari a 523,89 A (cos ϕ=0,9). Scelto un valore della distanza tra le fasi, pari a 0,23 m (distanza tipo tra le sbarre dei quadri elettrici AT), la DPA risulta:

$$Dpa = 0.40942 \cdot 0.23^{0.5241} \cdot \sqrt{513{,}20} = 4{,}34 \text{ m}$$

Con un valore di DPA considerata pari a:

DPA = 4,50 m (distanza tra le pareti della cabina)

10 CONSIDERAZIONI FINALI

All' interno delle fasce di rispetto (DPA di 3 μT) dagli elettrodotti di progetto non sono presenti recettori sensibili come definiti dal DPCM 8 luglio 2003, e per cui non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, ovvero un uso che comporti una permanenza superiore alle 4 ore.

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 e riassunti nelle tabelle precedenti.

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, sono stati utilizzati fattori di riduzione previsti dalla norma CEI 11-17. Le DPA e le fasce determinate utilizzate sono ampiamente cautelative. Verranno eseguiti monitoraggi dei campi elettromagnetici previsti dalla normativa ed effettuati ante e post operam.

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.

Nell'esecuzione dei lavori di realizzazione, 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 06/10/2025 Ing. Girolamo Gorgone

11 ALLEGATI:

I risultati sono riportati nei seguenti allegati:

- Allegato 1 - Sezioni tipiche di posa dei cavidotti AT;
- Allegato 2 - DPA per linea 36 kV con una terna con conduttore in alluminio da 300 mm^2;
- Allegato 3 - DPA per linea 36 kV con una terna con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 4 - DPA per linea 36 kV con due terne, una con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 5 - DPA per linea 36 kV con due terne con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 6 - DPA per linea 36 kV con tre terne, due con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2;
- Allegato 7 - DPA per linea 36 kV con tre terne, due con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2, portata massima di progetto senza fattori di riduzione;
- Allegato 8 - DPA per linea 36 kV con una terna con conduttore in rame da 630 mm^2;

Allegato 1

Qui di seguito sono riportate le sezioni tipiche di posa dei cavidotti AT:

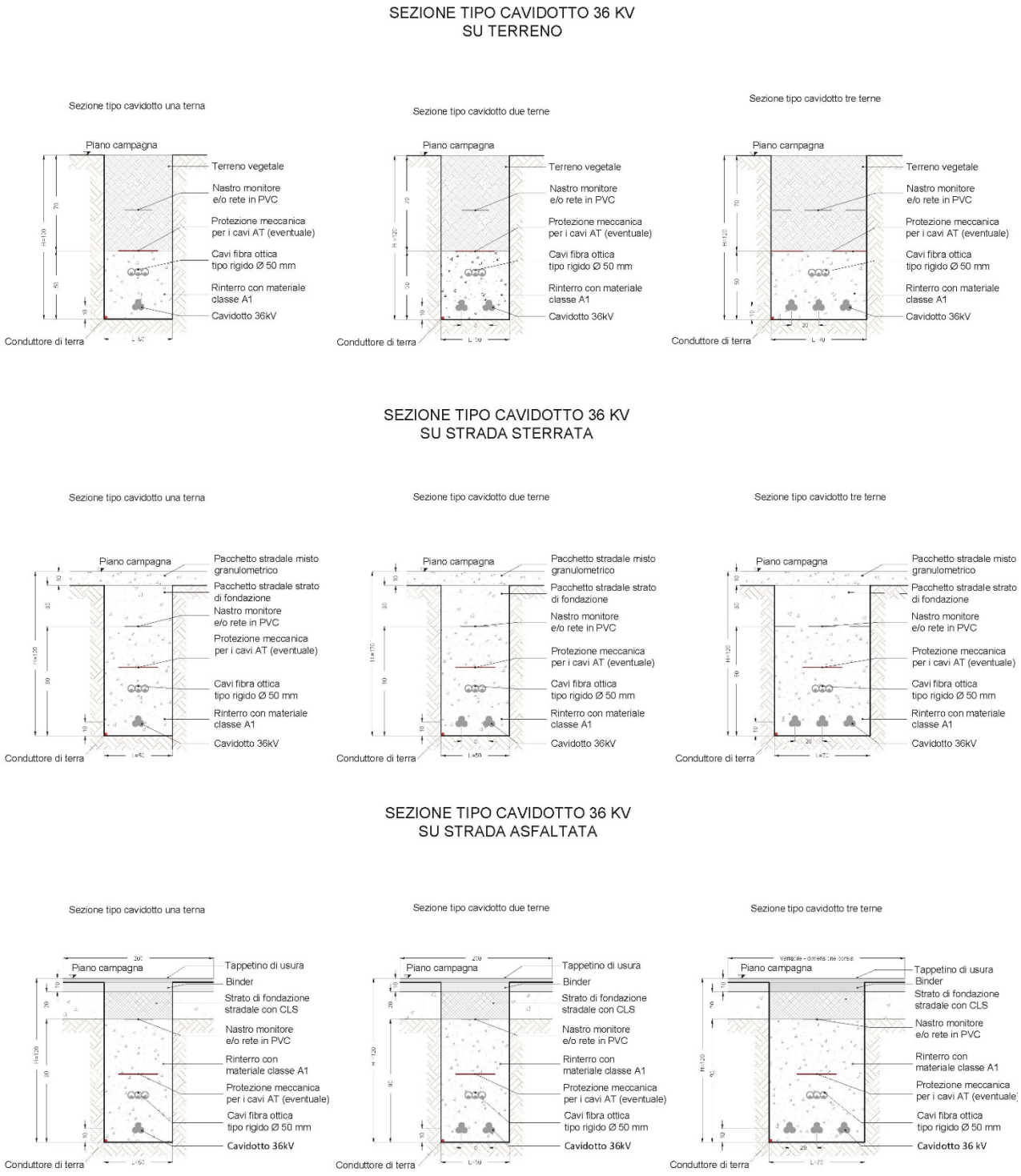
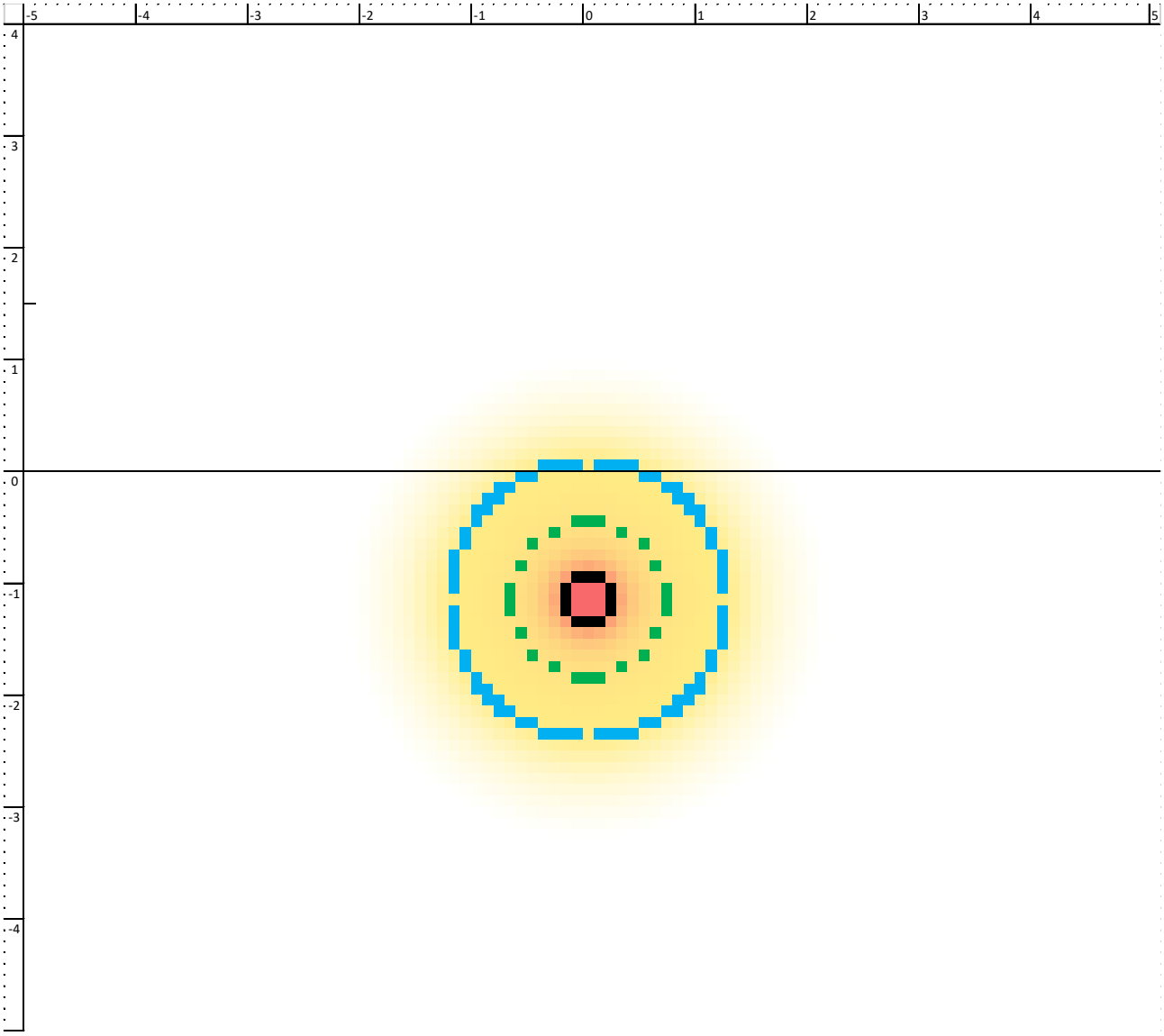


Figura 11 - Sezione tipo cavidotti 36 kV

Allegato 2

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per linea a 36 kV in cavi sotterranei con una terna con conduttore in alluminio da 300 mm^2, configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Cavo	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]
ARE4H5E 20,8/36kV	300	1	0,0450	419,00	1,00	419,00	0,00	-1,1

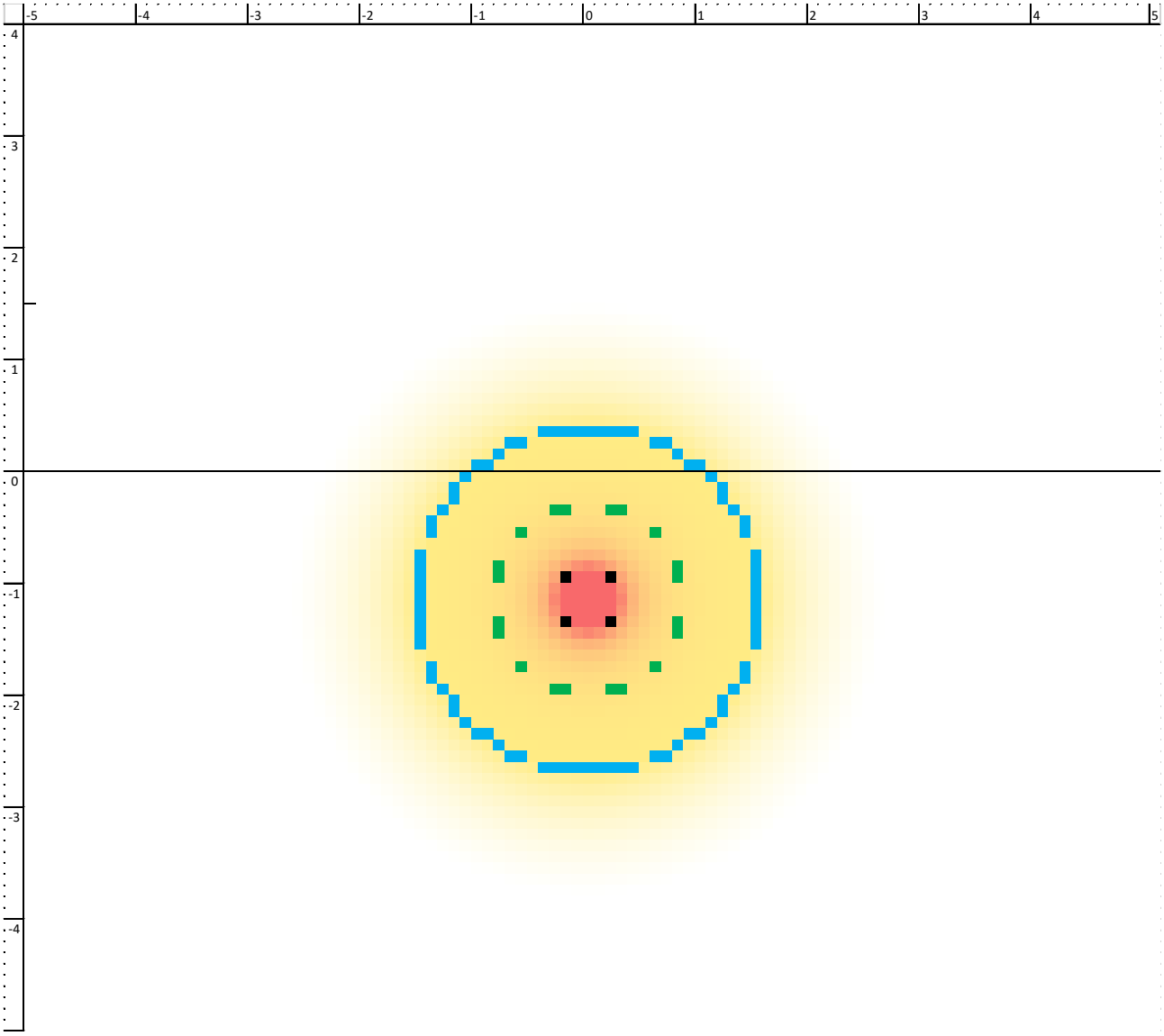


Calcolo del campo magnetico in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

Allegato 3

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per linea a 36 kV in cavi sotterranei con una terna con conduttore in alluminio da 500 mm^2, configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Cavo	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]
ARE4H5E 20,8/36kV	500	1	0,0522	547,00	1,00	547,00	0,00	-1,1

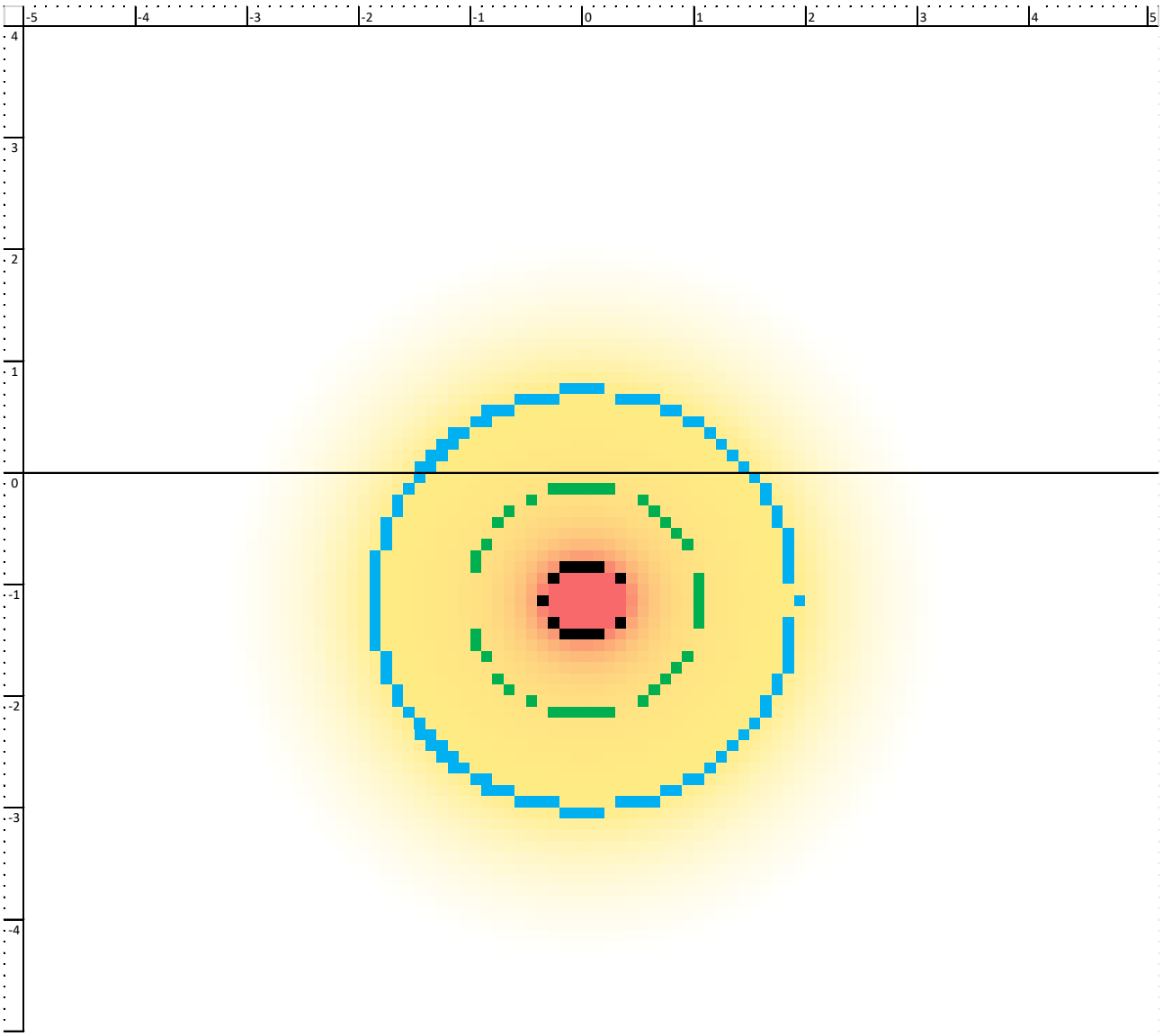


Calcolo del campo magnetico in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

Allegato 4

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per linea a 36 kV in cavi sotterranei con una terna con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e una terna con conduttore in alluminio da 500 mm^2, configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Cavo	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]
ARE4H5E 20,8/36kV	300	1	0,0450	419,00	0,90	377,10	0,10	-1,1
ARE4H5E 20,8/36kV	500	2	0,0522	547,00	0,90	492,30	-0,10	-1,1

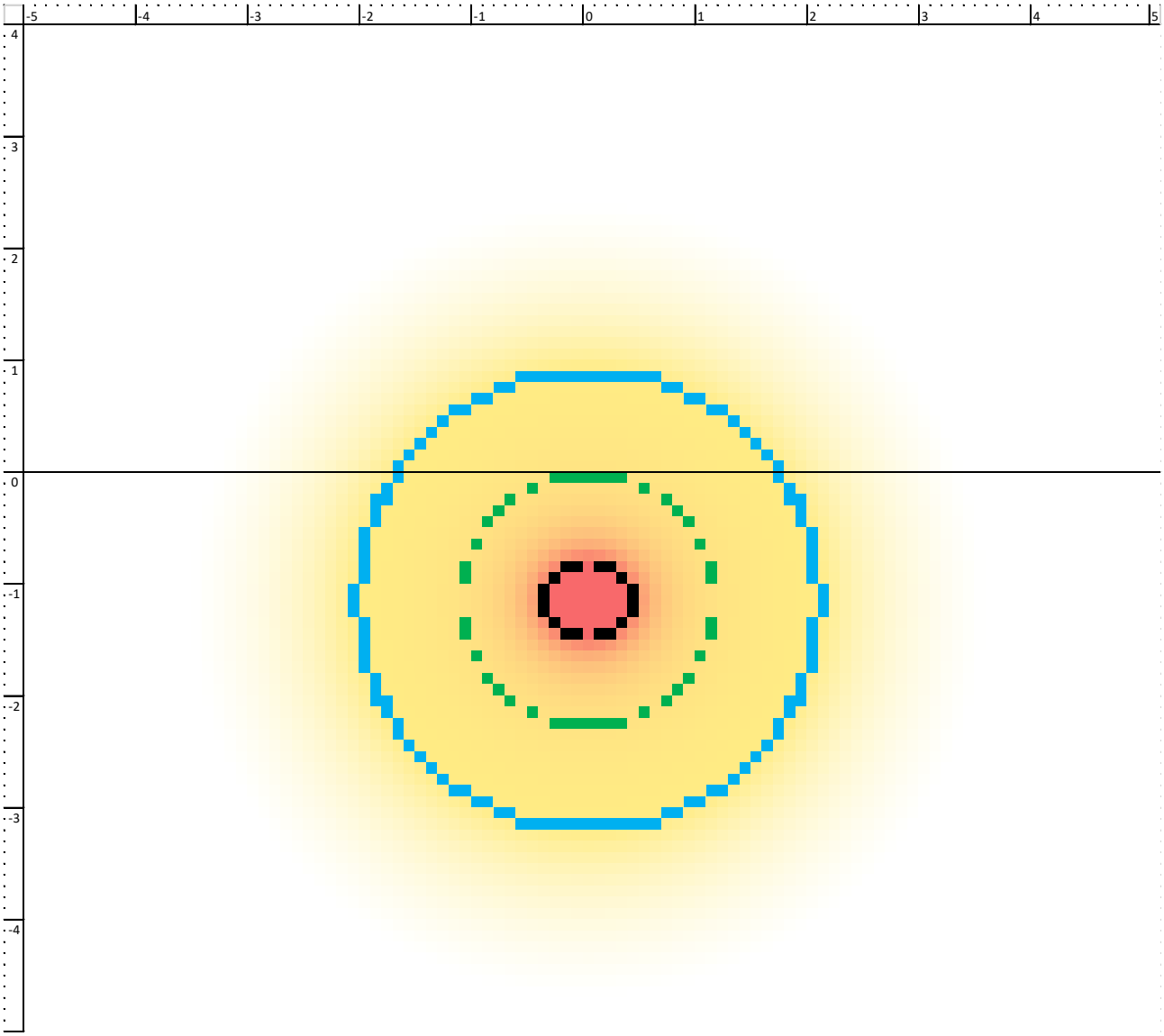


Calcolo del campo magnetico in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

Allegato 5

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per linea a 36 kV in cavi sotterranei con due terne con conduttore in alluminio da 500 mm^2, configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Cavo	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]
ARE4H5E 20,8/36kV	500	1	0,0522	547,00	0,90	492,30	0,10	-1,1
ARE4H5E 20,8/36kV	500	2	0,0522	547,00	0,90	492,30	-0,10	-1,1

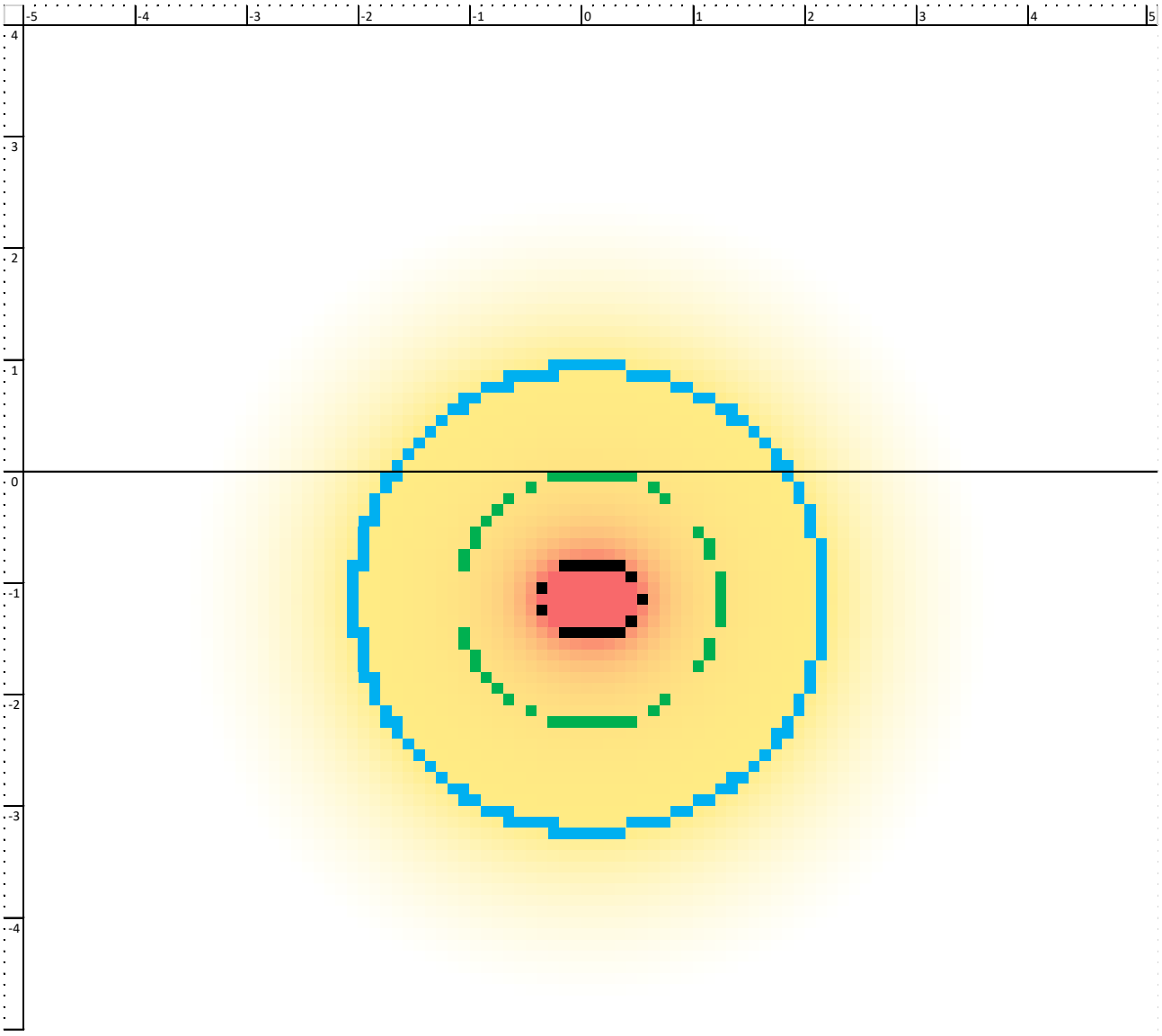


Calcolo del campo magnetico in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

Allegato 6

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per linea a 36 kV in cavi sotterranei con tre terne, due con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2 (con fattori di riduzione), configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Cavo	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]
ARE4H5E 20,8/36kV	300	1	0,0450	419,00	0,80	335,20	0,00	-1,1
ARE4H5E 20,8/36kV	300	2	0,0450	419,00	0,80	335,20	-0,20	-1,1
ARE4H5E 20,8/36kV	500	3	0,0522	547,00	0,80	437,60	0,20	-1,1

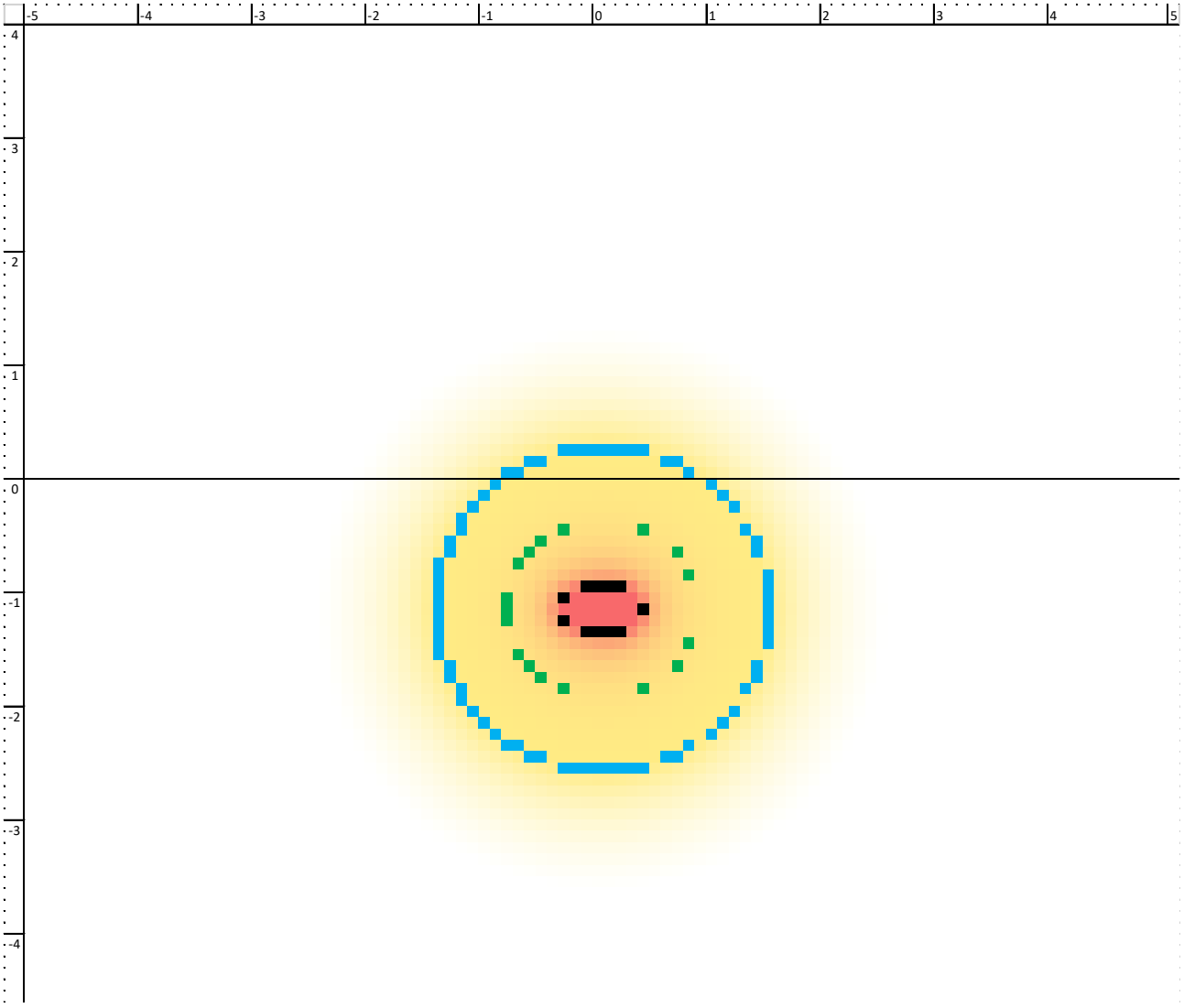


Calcolo del campo magnetico in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

Allegato 7

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per linea a 36 kV in cavi sotterranei con tre terne, due con conduttore in alluminio da 300 mm^2 e l'altra con conduttore in alluminio da 500 mm^2 (portata massima di progetto senza applicazione di fattori di riduzione), configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Cavo	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]
ARE4H5E 20,8/36kV	500	1	0,0450	149,69	1,00	149,69	0,00	-1,1
ARE4H5E 20,8/36kV	500	2	0,0450	149,69	1,00	149,69	-0,20	-1,1
ARE4H5E 20,8/36kV	500	3	0,0522	224,53	1,00	224,53	0,20	-1,1

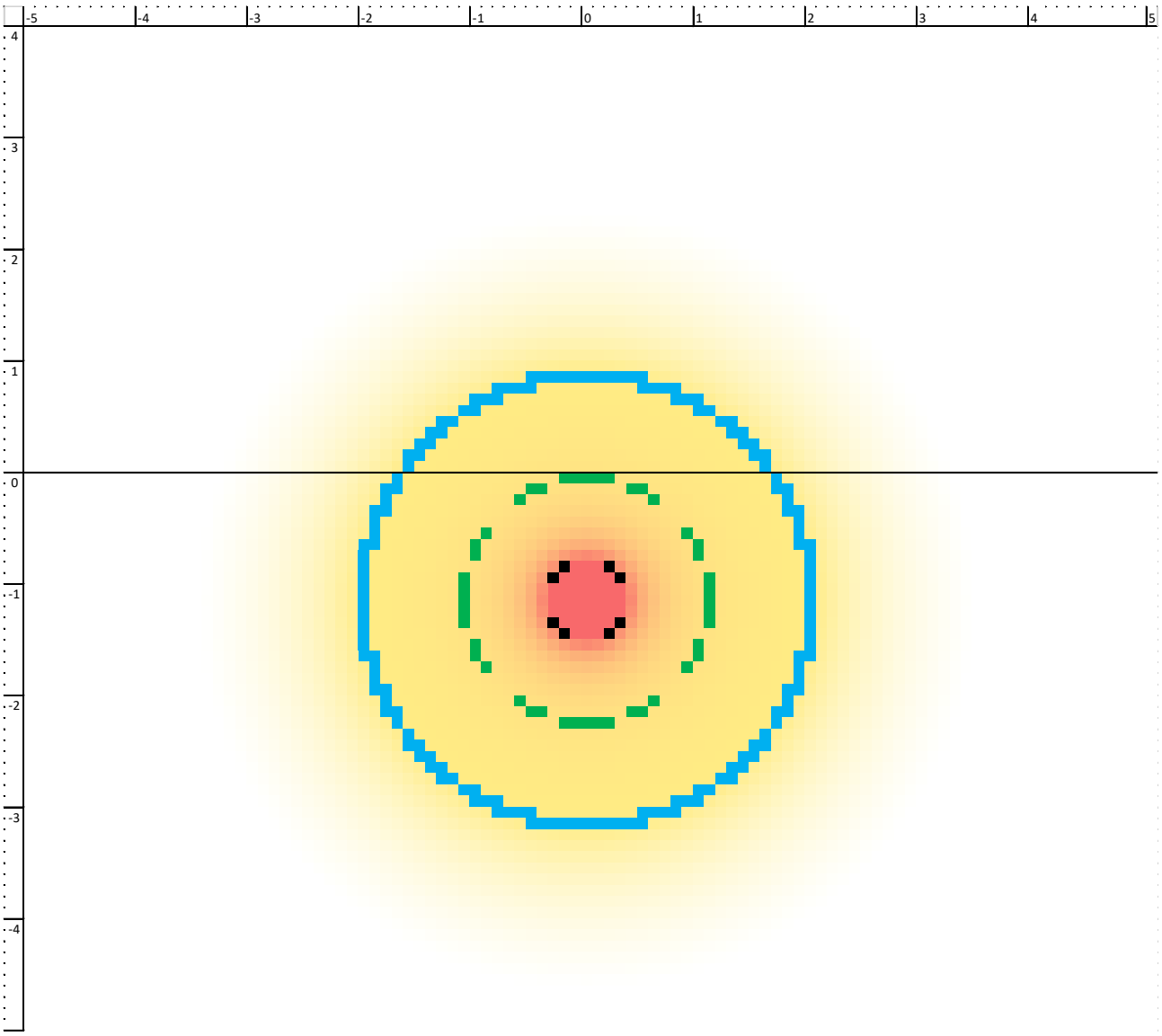


Calcolo del campo magnetico in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)

Allegato 8

Determinazione della fascia di rispetto per il campo magnetico per linea a 36 kV in cavi sotterranei con una terna con conduttore in rame da 630 mm^2, configurazione di posa con cavi a trifoglio:

Cavo	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]
RG16H1R12 - 26/45 kV	630	1	0,0593	835,00	1,00	835,00	0,00	-1,1



Calcolo del campo magnetico in esame (in blu valori di 3 μT, in verde valori di 10 μT e in nero valori di 100 μT)