

01	Progetto Definitivo			13/07/2023		PRR	
<b>Voltalia Italia S.r.l.</b> Viale Montenero, 32 Milano (MI) - 20135 - Italia		Tel. +39 02 89095269 info.italia@voltalia.com www.voltalia.it					
DISEGNATO: PRR		CONTROLLATO: VCC					
SCALA:	DATA: 13/07/2023	FOGLIO: 001/010	FORMATO A4	IL PRESENTE DOCUMENTO E' DI NOSTRA PROPRIETA' E NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO O INVIATO SENZA LA NOSTRA AUTORIZZAZIONE.			
<b>COMUNE DI NARO (AG)</b> Progetto definitivo di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte solare con potenza installata di 39,72 MW ed immessa in rete di 38 MW, da realizzarsi nel Comune di Naro (AG), località Serra La Guardia snc				<b>01</b>			
TITOLO:	<b>RELAZIONE CAMPI ELETTROMAGNETICI</b>			Documento N. <b>DEV-PLN-022-01-IT-S-GNG01-IT</b>			

## Sommario

1. OGGETTO DEL DOCUMENTO.....	2
2. LEGGI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	2
3. OPERE ELETTRICHE INERENTI ALLA CONNESSIONE ALLA RTN .....	4
4. VALUTAZIONE CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI.....	5
4.1 MODULI FOTOVOLTAICI .....	5
4.2 INVERTER CENTRALIZZATI .....	5
4.3 CAVIDOTTI INTERRATI .....	5

## 1. OGGETTO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i possibili campi elettromagnetici generati dall'impianto fotovoltaico da realizzare nel territorio comunale di Naro, in provincia di Agrigento. In particolare, si porrà maggiore attenzione alle linee elettriche in cavo interrato a 35 kV e la Cabina di Consegna a 36kV:

- In MT a 35 kV, interne al campo fotovoltaico che collegano le cabine inverter con quella utente
- In AT a 36 kV esterne al campo fotovoltaico che raggiungono la prima la Cabina di Consegna e in seguito la Stazione Elettrica per il collegamento alla RTN

L'impianto fotovoltaico avrà le seguenti caratteristiche:

• Potenza nominale impianto [MWp]	39,725
• Potenza in immissione in rete [MW]	38,0
• Potenza modulo fotovoltaico [Wp]	550
• Numero di moduli totali	72.228
• Area di impianto	55 ha circa
• N. di inverter totali	10
• N. control room	3
• N. Cabine utente	1
• N. Cabina di consegna a 36 kV	1
• Lunghezza cavidotto connessione alla SE [m]	12 km circa

## 2. LEGGI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

*Legge n. 36 del 22/02/2001 "Legge quadro sulla protezione delle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", pubblicata su G.U. n.55 del 7 Marzo 2001, finalizzata ad:*

- *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 nel rispetto dell'art.32 della Costituzione*
- *assicurare la tutela dell'ambiente e del paesaggio e promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento colte a minimizzare l'intensità e agli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.*

*D.P.C.M. del 08/07/2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", decreti attuativi della Legge n. 36/2001.*

*In particolare, il D.P.C.M. pubblicato su G.U. n. 200 il 29/08/2003 fissa i limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento ed all'esercizio degli elettrodotti:*

- *Art.3 comma 1: nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e per il campo elettrico, intesi come valori efficaci*
- *Art.3 comma 2: a titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio*
- *Art.4 1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.*

Da questa normativa si evincono le definizioni delle grandezze di interesse per la caratterizzazione dell'esposizione a campi elettromagnetici:

- a) **esposizione:** è la condizione di una persona soggetta a campi elettrici, magnetici, elettromagnetici, o a correnti di contatto, di origine artificiale;
- b) **limite di esposizione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, definito ai fini della tutela della salute da effetti acuti, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettera a);
- c) **valore di attenzione:** è il valore di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, considerato come valore di immissione, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate per le finalità di cui all'articolo 1, comma 1, lettere b) e c). Esso costituisce misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine e deve essere raggiunto nei tempi e nei modi previsti dalla legge;
- d) **obiettivi di qualità** sono:
  - 1) i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle leggi regionali secondo le competenze definite dall'articolo 8;
  - 2) i valori di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico, definiti dallo Stato secondo le previsioni di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), ai fini della progressiva mitigazione dell'esposizione ai campi medesimi;
- e) **elettrodotto:** è l'insieme delle linee elettriche, delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione;
- f) **esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici:** è ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici;

- g) **esposizione della popolazione:** è ogni tipo di esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici, ad eccezione dell'esposizione di cui alla lettera f) e di quella intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici.

Successivamente due D.P.C.M. dell'8 luglio 2003 hanno fissato i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione. I due decreti disciplinano separatamente le basse (elettrodotti) e le alte frequenze (impianti radiotelevisivi, stazioni radio base, ponti radio).

In particolare, si riportano di seguito gli articoli 3 e 4, in cui sono presenti i valori limite per elettrodotti esistenti (art. 3) e per la progettazione di nuovi elettrodotti (art. 4).

### Articolo 3

#### Limiti di esposizione e valori di attenzione

- 1) Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.
- 2) A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10  $\mu$ T, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

### Articolo 4

#### Obiettivi 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  $\mu$ T per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

## 3. OPERE ELETTRICHE INERENTI ALLA CONNESSIONE ALLA RTN

La rete elettrica da realizzare è divisa in tre sezioni in base alle tensioni di esercizio:

*Bassa tensione (inferiore a 1kV)* completamente interna al parco fotovoltaico

*Media tensione (da 1 kV fino a 36 kV)* completamente interna al parco fotovoltaico

*Alta tensione (36kV)* cavidotto di collegamento tra le cabine di trasformazione e quella utente e quello di collegamento alla Stazione Elettrica a 150/36kV

*Alta tensione (150kV)* relativa alla Stazione Elettrica di Terna S.p.A.

## 4. VALUTAZIONE CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI

### 4.1 MODULI FOTOVOLTAICI

I moduli fotovoltaici generano energia elettrica in corrente e tensione continue, per cui i campi magnetici generati sono limitati ai soli transitori di corrente che risultano di ridotta entità e di breve durata, per cui secondo le norme IEC 61215 e IEC 61730 non sono previste prove di compatibilità elettromagnetica in quanto irrilevanti per questi ultimi.

### 4.2 INVERTER CENTRALIZZATI

Per gli inverter centralizzati è opportuno prestare attenzione ai trasformatori 36 kV / BT ai quali verranno connessi, approssimabili alle cabine secondarie di trasformazione, per le quali è stata determinata la DPA tramite il metodo di calcolo descritto nel par.5.2.1 dell'allegato al DM 29/05/2008.

La DPA corrisponde alla distanza dalle pareti esterne della cabina, e viene calcolata considerando una linea trifase con cavi paralleli, percorsa dalla corrente nominale in bassa tensione in ingresso al trasformatore, considerando una distanza tra le fasi pari al diametro reale del cavo e calcolabile tramite la seguente formula:

$$DPA = 0,40942 \times x^{0,5241} \times \sqrt{I}$$

Dove:

- DPA = Distanza di Prima Approssimazione [m]
- I = corrente nominale [A]
- x = diametro reale dei cavi [m].

Per il presente impianto fotovoltaico vengono considerati n. 10 inverter centralizzati a 35 kV con potenza massima pari a 4.000 kVA cadauno, per un totale di 40 MVA; la corrente nominale circolante nel secondario è pari a circa 75 A.

La DPA così calcolata e approssimata per eccesso è pari a 1,5 m.

### 4.3 CAVIDOTTI INTERRATI

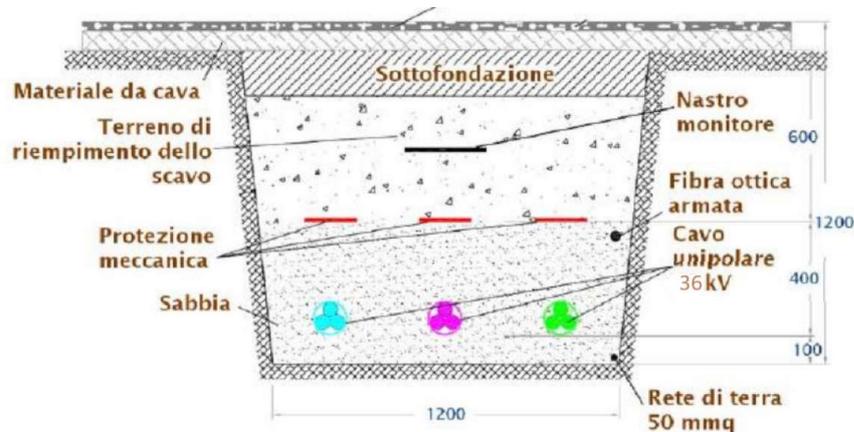
La scelta di prevedere esclusivamente linee interrato permette di eliminare la componente elettrica del campo, grazie all'effetto schermante del terreno; inoltre, la limitata distanza tra i cavi (ulteriormente ridotta grazie all'impiego di terne cosiddette "a trifoglio") fa sì che l'induzione magnetica risulti significativa solo nelle immediate prossimità dei cavi.

Per quanto riguarda il campo magnetico, l'utilizzo di cavi cordati ad elica implica l'esclusione di tale tipologia di linea dalla valutazione, in base a quanto prescritto dal D.M.29/05/2008 al punto 3.2 (e art. 7.1.1 CEI 106- 11) in quanto le relative fasce di rispetto hanno un'ampiezza ridotta, inferiore alle distanze previste dal DM 21 marzo 1988, n. 449 e s.m.i.

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

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

Non è possibile affermare lo stesso per il tratto di collegamento tra il Parco Fotovoltaico e la stazione di trasformazione, costituito (nel tratto più gravoso, ovvero caratterizzato dalla maggior potenza trasportata) da un cavidotto composto da n°3 terne di cavi unipolari di sezione pari a 400 mm<sup>2</sup> disposti a trifoglio, come rappresentato in Figura.



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 "Guida pratica ai metodi e criteri di riduzione dei campi magnetici prodotti dalle cabine elettriche MT / BT" la quale fornisce la relazione di calcolo di cui alla formula seguente:

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

dove

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

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

Considerata quindi la disposizione spaziale delle 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:

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

Dove:

- B = induzione magnetica in un generico punto distante R dal centro del sistema (posizione baricentrica delle terne di cavi [m]);
- h = la distanza dal suolo [m];
- d = profondità di posa del cavidotto [m];
- S = diametro reale del cavo [m];
- I = corrente circolante nel cavo [A].

L'elettrodotto verrà realizzato con il seguente cavo:

**RG7H1R 26/45 kV**

**Caratteristiche tecniche/Technical characteristics**  
**U max: 52 kV**

Formazione Size	Ø indicativo conduttore Approx. conduct Ø	Spessore medio isolante Average insulation thickness	Ø esterno max. Max outer Ø	Peso indicativo cavo Approx. cable weight	Portata di corrente Current rating			
					A		kA	
					in aria In air	in piano Flat	in trincea* In trench*	in piano Flat
n° x mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	kg/km	in aria In air	in piano Flat	in trincea* In trench*	in piano Flat
1 x 70	9,7	10,3	41,9	2150,0	290,0	315,0	255,0	290,0
1 x 95	11,4	10,3	43,9	2490,0	340,0	380,0	300,0	310,0
1 x 120	12,9	10,0	44,8	2735,0	395,0	440,0	385,0	395,0
1 x 150	14,3	9,5	45,1	3020,0	445,0	495,0	385,0	395,0
1 x 185	16,0	9,3	47,1	3395,0	510,0	570,0	440,0	450,0
1 x 240	18,3	9,3	49,2	4025,0	600,0	665,0	510,0	520,0
1 x 300	21,0	9,0	52,2	4725,0	695,0	760,0	570,0	580,0
1 x 400	23,2	9,0	54,6	5635,0	800,0	875,0	650,0	655,0
1 x 500	26,1	9,0	58,6	6825,0	930,0	1010,0	735,0	740,0
1 x 630	30,3	9,0	62,7	8260,0	1070,0	1180,0	835,0	845,0

\*Resistività termica del terreno 100°C cm/W  
\*Ground thermal resistivity 100°C cm/W

**Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics**

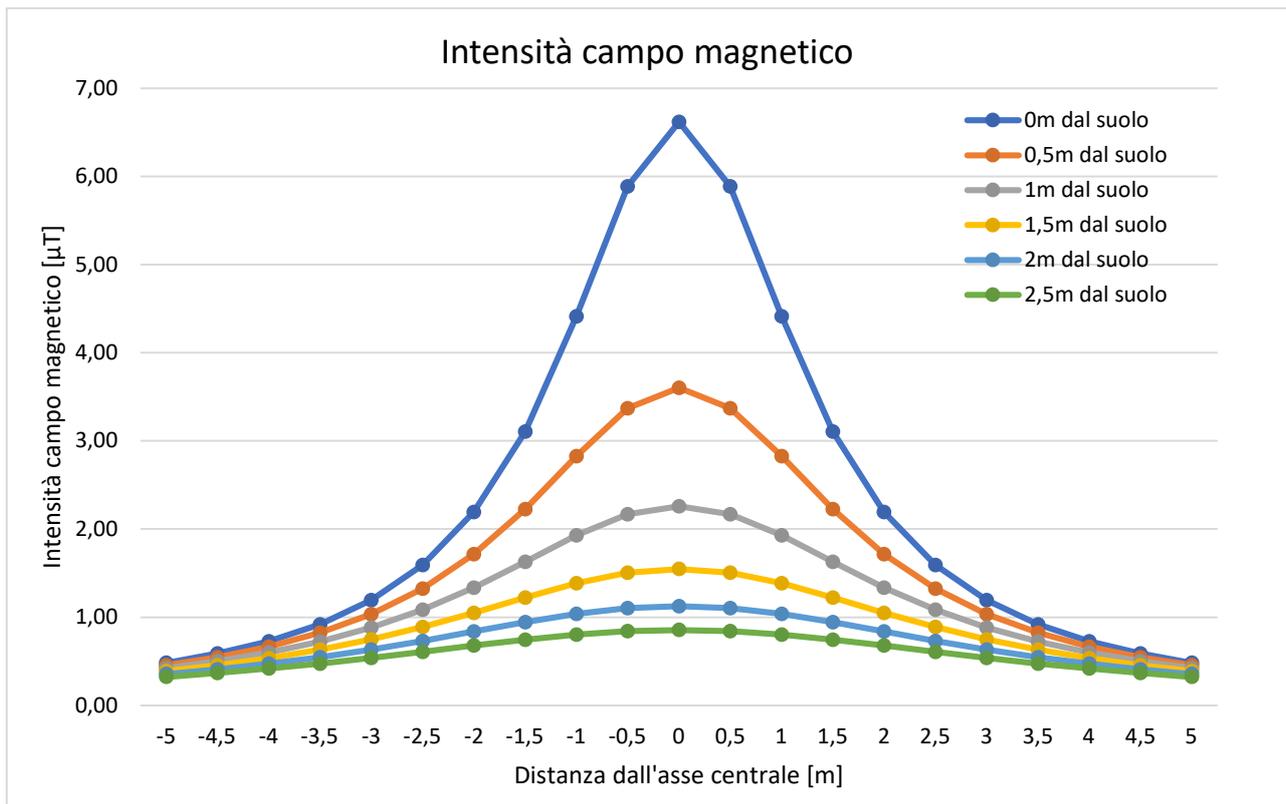
Formazione Size	Resistenza elettrica a 20°C Max. electrical resistance at 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz Conductivity apparent resistance at 90°C and 50Hz			Resistenza di fase Phase reactance		Capacità a 50Hz Capacity at 50Hz
		a trifase in air		a trifase in piano Flat			
		Ø90m	Ø90m	Ø90m	Ø90m		
n° x mm <sup>2</sup>	Ø90m	Ø90m	Ø90m	Ø90m	Ø90m	µF/km	
1 x 70	0,268	0,342	0,342	0,15	0,21	0,15	
1 x 95	0,193	0,245	0,245	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	0,0386	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	

Sono stati quindi calcolate, fissando vari valori di h, le distribuzioni dell'intensità del campo magnetico su piani fuori terra paralleli al suolo. Le condizioni operative per le quali sono stati eseguiti i calcoli sono le seguenti:

Profondità di posa dei cavi	1,4 m
Distanza terna 1 dall'asse y	0 m
Distanza terna 2 dall'asse y	+0,125 m
Distanza terna 3 dall'asse y	-0,125 m
Sezione conduttore	400 mm <sup>2</sup>
Portata nominale	650 A
Portata corretta ( $k_{tot}=0,66$ )	429 A

Con questi valori otteniamo i seguenti valori dell'induzione magnetica.

		Distanza dal suolo					
		0	0,5	1	1,5	2	2,5
Distanza dall'asse del caviotto	-5,0	0,345	0,325	0,303	0,279	0,255	0,231
	-4,5	0,419	0,390	0,358	0,325	0,293	0,262
	-4,0	0,519	0,475	0,428	0,381	0,338	0,298
	-3,5	0,656	0,587	0,517	0,451	0,391	0,339
	-3,0	0,851	0,739	0,631	0,535	0,453	0,384
	-2,5	1,136	0,945	0,775	0,635	0,522	0,433
	-2,0	1,565	1,224	0,954	0,750	0,598	0,484
	-1,5	2,216	1,589	1,161	0,872	0,673	0,533
	-1,0	3,146	2,017	1,375	0,988	0,740	0,574
	-0,5	4,198	2,405	1,546	1,073	0,787	0,601
	0,0	4,721	2,569	1,612	1,105	0,804	0,611
	0,5	4,198	2,405	1,546	1,073	0,787	0,601
	1,0	3,146	2,017	1,375	0,988	0,740	0,574
	1,5	2,216	1,589	1,161	0,872	0,673	0,533
	2,0	1,565	1,224	0,954	0,750	0,598	0,484
	2,5	1,136	0,945	0,775	0,635	0,522	0,433
	3,0	0,851	0,739	0,631	0,535	0,453	0,384
	3,5	0,656	0,587	0,517	0,451	0,391	0,339
	4,0	0,519	0,475	0,428	0,381	0,338	0,298
4,5	0,419	0,390	0,358	0,325	0,293	0,262	
5,0	0,345	0,325	0,303	0,279	0,255	0,231	



Si può osservare come nel caso peggiore, ovvero considerando un'altezza dal suolo pari a 0 m, il valore di 3  $\mu\text{T}$  (per una corrente pari a 680 A e tensione 36 kV) è raggiunto ad una distanza inferiore a 2 m dall'asse del cavidotto. Il valore della Distanza di Prima Approssimazione (DPA) così calcolato è risultato pari a 2m (valore approssimato per eccesso). Tale valore è stato inoltre considerato per verificare la presenza di eventuali recettori sensibili lungo il percorso di tutti i cavidotti 36 KV esterni all'impianto. Tramite un'analisi dettagliata del percorso del sovra-menzionato cavidotto, è stato possibile escludere la presenza di recettori sensibili ricadenti all'interno della DPA dei cavidotti interrati.