

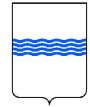
REGIONE  
PUGLIA



COMUNE DI SPINAZZOLA (BAT)

Località "Masseria Colangelo"

REGIONE  
BASILICATA



Provincia  
B.A.T.



COMUNE DI GENZANO DI LUCANIA (PZ)

Località "Gambarda"

Provincia  
Potenza



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN  
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 7 AEROGENERATORI E  
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

*Analisi dell'impatto elettromagnetico*

ELABORATO

PR\_15

PROPONENTE:



**ITW SPINAZZOLA 2 S.R.L.**

Sede Legale Via Del Gallitello, 89  
85100 Potenza (PZ)  
P.IVA 02054890765

CONSULENZA:



Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari tel. 080 3219948 fax. 080 2020986

Dott. Ing. Alessandro Antezza



Arch. Bernardina Bocuzzi



Dott. Sc. Nat. Maria Grazia Fracca

II DIRETTORE TECNICO  
Dott. Ing. Orazio Tricarico



EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
1	DIC 2019	B.B. - M.G.F.	A.A.	O.T.	Progetto definitivo

Progetto	<i>PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 7 AEROGENERATORI E DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R. T. N.</i>				
Regione	<i>Puglia - Basilicata</i>				
Comune	<i>Spinazzola (Provincia BAT – Regione Puglia) – Genzano di Lucania (Provincia PZ – Regione Basilicata)</i>				
Proponente	<i>ITW SPINAZZOLA 2 S.R.L. Sede Legale Via Del Gallitello, 89 85100 Potenza (PZ)</i>				
Redazione	<i>ATECH S.R.L. – Società di Ingegneria e Servizi di Ingegneria Sede Legale Via della Resistenza 48 70125 Bari (BA)</i>				
Documento	<i>Analisi dell'impatto elettromagnetico</i>				
Revisione	<i>00</i>				
Emissione	<i>Dicembre 2019</i>				
Redatto	<i>B.B. - M.G.F. – ed altri</i>	Verificato	<i>A.A.</i>	Approvato	<i>O.T.</i>

Redatto: Gruppo di lavoro	<i>Ing. Alessandro Antezza Arch. Berardina Boccuzzi Ing. Alessandrina Ester Calabrese Ing. Sara Calabritta Arch. Claudia Cascella Dott. Naturalista Maria Grazia Fraccalvieri Ing. Emanuela Palazzotto Ing. Orazio Tricarico</i>				
Verificato:	<i>Ing. Alessandro Antezza (Socio di Atech srl)</i>				
Approvato:	<i>Ing. Orazio Tricarico (Amministratore Unico e Direttore Tecnico di Atech srl)</i>				

*Questo rapporto è stato preparato da Atech Srl secondo le modalità concordate con il Cliente, ed esercitando il proprio giudizio professionale sulla base delle conoscenze disponibili, utilizzando personale di adeguata competenza, prestando la massima cura e l'attenzione possibili in funzione delle risorse umane e finanziarie allocate al progetto.*

*Il quadro di riferimento per la redazione del presente documento è definito al momento e alle condizioni in cui il servizio è fornito e pertanto non potrà essere valutato secondo standard applicabili in momenti successivi. Le stime dei costi, le raccomandazioni e le opinioni presentate in questo rapporto sono fornite sulla base della nostra esperienza e del nostro giudizio professionale e non costituiscono garanzie e/o certificazioni. Atech Srl non fornisce altre garanzie, esplicite o implicite, rispetto ai propri servizi.*

*Questo rapporto è destinato ad uso esclusivo di ITW SPINAZZOLA 2 S.R.L., Atech Srl non si assume responsabilità alcuna nei confronti di terzi a cui venga consegnato, in tutto o in parte, questo rapporto, ad esclusione dei casi in cui la diffusione a terzi sia stata preliminarmente concordata formalmente con Atech Srl.*

*I terzi sopra citati che utilizzino per qualsivoglia scopo i contenuti di questo rapporto lo fanno a loro esclusivo rischio e pericolo.*

*Atech Srl non si assume alcuna responsabilità nei confronti del Cliente e nei confronti di terzi in relazione a qualsiasi elemento non incluso nello scopo del lavoro preventivamente concordato con il Cliente stesso.*



<b>1. OGGETTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. DISPOSIZIONI LEGISLATIVE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. NORMATIVA ITALIANA</b>	<b>5</b>
<b>2.2. NORMATIVA ITALIANA CEI</b>	<b>6</b>
<b>3. CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO .....</b>	<b>10</b>
<b>4.1. CABINE DI TRASFORMAZIONE INTERNE ALLE TORRI E CABINE DI SMISTAMENTO</b>	<b>10</b>
<b>4.2. CAVIDOTTO INTERRATO</b>	<b>12</b>
<b>5. ANALISI DEL TRATTO DI CAVIDOTTO CON POTENZA TRASMESSA PARI A 70,00 MW..</b>	<b>16</b>
<b>5.1. CAVIDOTTI</b>	<b>16</b>
<b>5.2. MODALITÀ DI POSA DELL'ELETTRODOTTO INTERRATO</b>	<b>17</b>
<b>5.3. RISULTATI DEL CALCOLO DEL CAMPO MAGNETICO</b>	<b>19</b>
5.3.1. VALORE DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO INDOTTO DAI CAVIDOTTI INTERRATI	19
5.3.2. ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI	21
5.3.3. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI PRODOTTI DAI CAMPI ELETTROMAGNETICI	22



## 1. OGGETTO

La presente relazione ha lo scopo di descrivere le emissioni di campi magnetici, elettrici ed elettromagnetici generati durante l'esercizio del parco eolico, dell'elettrodotto in media tensione a servizio del parco eolico proposto dalla società **ITW SPINAZZOLA 2 srl**, con sede in Via del Gallitello 89 in Potenza (PZ), P. IVA 02054890765 e l'installazione della relativa stazione di consegna AT/MT per la connessione alla rete elettrica nazionale da realizzarsi nel Comune di Montemilone in adiacenza alla Futura Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN 380/150 kV da inserire in entra-esce sulla linea 380 kV Genzano-Bisaccia e definire la compatibilità dell'opera suddetta con i limiti normativi di esposizione e tutela della popolazione.

Il parco eolico sarà collegato alla rete elettrica di distribuzione di media tensione in corrente alternata da esercire alla tensione di 30 kV.

Per quanto riguarda il campo elettromagnetico generato dalle singole apparecchiature installate in sottostazione, non esistendo un modello matematico che permetta il calcolo preventivo, si sottolinea che tutte le apparecchiature installate rispetteranno i requisiti di legge e tutte le normative tecniche di prodotto riguardo la compatibilità e le emissioni elettromagnetiche.

In materia di inquinamento elettromagnetico, una delle problematiche più studiate è certamente quella concernente l'esposizione ai campi elettrici e magnetici dispersi nell'ambiente dalle linee di trasporto e di distribuzione dell'energia elettrica, la cui frequenza (50 Hz in Europa, 60 Hz negli Stati Uniti) rientra nella cosiddetta banda ELF (30 - 300 Hz). I campi ELF, contraddistinti da frequenze estremamente basse, sono caratterizzabili mediante la semplificazione delle equazioni di Maxwell dei "campi elettromagnetici quasi statici" e quindi da due entità distinte:

- **il campo elettrico**, generato dalla presenza di cariche elettriche o tensioni e quindi direttamente proporzionale al valore della tensione di linea;
- **il campo magnetico**, generato invece dalle correnti elettriche.

In generale, dagli elettrodotti si generano sia un campo elettrico che un campo magnetico.

Il campo elettrico è legato in maniera direttamente proporzionale alla tensione della sorgente; esso si attenua, allontanandosi da un elettrodotto, come l'inverso della distanza dai conduttori. I valori efficaci delle tensioni di linea variano debolmente con le correnti che le attraversano, pertanto l'intensità del campo elettrico può considerarsi, in prima approssimazione, costante. La presenza di alberi, oggetti conduttori o edifici in prossimità delle linee riduce l'intensità del campo elettrico e, in particolare all'interno degli edifici si possono misurare intensità di campo fino a 10 (anche 100) volte inferiori a quelle rilevabili all'esterno.



L'intensità del campo magnetico generato in corrispondenza di un elettrodotto dipende invece dall'intensità della corrente circolante nel conduttore; tale flusso risulta estremamente variabile sia nell'arco di una giornata sia su scala temporale maggiore quale quella stagionale. Non c'è alcun effetto schermante nei confronti dei campi magnetici da parte di edifici, alberi o altri oggetti vicini alla linea, quindi all'interno di eventuali edifici circostanti si può misurare un campo magnetico di intensità comparabile a quello riscontrabile all'esterno. Quindi, sia il campo elettrico che il campo magnetico decadono all'aumentare della distanza dalla linea elettrica, ma mentre il campo elettrico è facilmente schermabile da oggetti quali legno, metallo, ma anche alberi ed edifici, il campo magnetico non è schermabile dalla maggior parte dei materiali di uso comune.

L'analisi del campo elettromagnetico generato dai cavidotti è effettuato ai sensi della Legge Regionale n. 25 del 9 Ottobre 2008 e la valutazione relativa ai vari componenti dell'impianto fa riferimento ai limiti previsti dall'applicazione del D.M. 20 Maggio 2008 con riferimento al D.P.C.M. del 8 Luglio 2003. L'analisi dell'impatto elettromagnetico presentata nel seguito analizza principalmente le scelte effettuate per andare ad individuare lungo il tracciato del cavidotto le fasce di rispetto (DPA) coerentemente a quanto richiesto dalla legge regionale suddetta.

Il parco eolico è costituito da gruppi di turbine collegate tra loro da un cavidotto che è successivamente sezionato e protetto nelle cabine di smistamento.

Nel presente studio sono state prese in considerazione le condizioni maggiormente significative al fine di valutare la rispondenza ai requisiti di legge dei nuovi elettrodotti: se tali condizioni fossero verificate, nel caso più sfavorevole dal punto di vista dell'emissione elettromagnetica, automaticamente lo sarebbe anche in tutte le altre situazioni in esame.

Le simulazioni relative al calcolo dell'intensità del campo magnetico sono state elaborate in accordo con le indicazioni fornite dalle norme CEI 211-4/1996 e 211-10/2002.



## 2. DISPOSIZIONI LEGISLATIVE

### 2.1. Normativa italiana

Il panorama italiano in fatto di protezione contro l'esposizione dei campi elettromagnetici si riferisce alla Legge n. 36 del 22/2/01, legge quadro sulla protezione delle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici completata a regime con l'emanazione del D.P.C.M. 8/7/2003 e del D.M. 29/05/2008.

La 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, è finalizzata ad:

- assicurare la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazioni dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici 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 gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici secondo le migliori tecnologie disponibili.

Nel D.P.C.M. 8/7/2003 "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti", vengono fissati i limiti di esposizione e i valori di attenzione per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti. In particolare, agli articoli 3 e 4, vengono individuate le seguenti 3 soglie di rispetto per l'induzione magnetica:

- *"Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti non deve essere superato il limite di esposizione di 100  $\mu$ T per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico intesi come valori efficaci" (art. 3, comma 1);*
- *"A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione*



*magnetica il valore di attenzione di  $10 \mu T$ , da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio (art. 4)".*

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

A tal proposito occorre precisare che nelle valutazioni che seguono è stata considerata normale condizione di esercizio quella in cui l'impianto trasferisce alla rete di trasmissione nazionale la massima produzione (28,00 MW). Questa ipotesi conduce a valutazioni conservative con riferimento all'intensità massima della induzione magnetica esistente.

Nel D.M. del 29 maggio 2008 è approvata la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, per la quale si dovrà fare riferimento all'obiettivo di qualità di cui all'articolo 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV e alle Regioni per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV.

## **2.2. Normativa italiana CEI**

La costruzione ed esercizio della centrale elettrica, così come riportato negli elaborati tecnici di progetto, sarà eseguita secondo le norme di legge e le norme tecniche del CEI nonché, per la parte di connessione alla rete, secondo le disposizioni normative di Terna e dell'Enel Distribuzione S.p.A..

La valutazione dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale è invece argomento della Norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche", dalla quale sono state tratte tutte le ipotesi di calcolo.



### 3. CALCOLO DEL CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO

I campi elettromagnetici sono grandezze fisiche misurabili, introdotte per caratterizzare un insieme di fenomeni in cui è presente un'azione a distanza attraverso lo spazio. Quattro sono i **vettori** che inquadrano le grandezze introdotte nella definizione del modello fisico dei campi elettromagnetici:

- E campo elettrico;
- H Campo magnetico;
- D spostamento elettrico o induzione dielettrica;
- B induzione magnetica.

Per quanto concerne i fenomeni elettrici, si fa riferimento al campo elettrico, il quale può essere definito come una perturbazione di una regione spaziale determinata dalla presenza nell'intorno di una distribuzione di carica elettrica.

Per i fenomeni di natura magnetica si fa riferimento a una caratterizzazione dell'esposizione ai campi magnetici in termini di induzione magnetica, che tiene conto dell'interazione con l'ambiente e dei mezzi materiali in cui il campo si propaga. La normativa attualmente in vigore disciplina in modo differente ed in due decreti attuativi diversi i valori ammissibili di campo elettromagnetico, distinguendo così i **"campi elettromagnetici quasi statici"** ed i **"campi elettromagnetici a radio frequenza"**.

Nel caso dei campi quasi statici, ha senso ragionare separatamente sui fenomeni elettrici e magnetici e ha quindi senso imporre separatamente dei limiti normativi alle intensità del campo elettrico e dell'induzione magnetica. Il modello quasi statico è applicato per il caso concreto della distribuzione di energia, in relazione alla frequenza di distribuzione dell'energia della rete che è pari a 50 Hz per il parco eolico in questione.

*In generale gli elettrodotti dedicati alla trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono percorsi da correnti elettriche di intensità diversa, ma tutte alla frequenza di 50 Hz, e quindi tutti i fenomeni elettromagnetici che li vedono come sorgenti possono essere studiati correttamente con il modello per campi quasi statici.*





**Tab. 3-1 Spettro elettromagnetico (insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche)**

DENOMINAZIONE	SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE	ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME	VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz
INFRAROSSO	IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm
LUCE VISIBILE		385 - 750THz	780 - 400nm
ULTRAVIOLETTA	UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI	X	> 3000THz	< 100nm

Il metodo di calcolo adottato dal progettista dell'opera per la stima dei campi elettromagnetici è conforme alla norma CEI 211-4 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche".

Gli impianti per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica alla frequenza di 50 Hz costituiscono una sorgente di campi elettromagnetici nell'intervallo 30-300 Hz. Il campo magnetico è generato in funzione della potenza trasmessa (corrente) e della disposizione geometrica dei conduttori, che può essere nel piano o a triangolo.

Il campo elettrico E generato da un conduttore interrato risente molto dello smorzamento dovuto alla presenza del terreno ed è dato dall'equazione:

$$E = (r \times I) / 2 \times r \times r^2$$

dove:

r = densità di carica volumica del terreno, pari a 102 Wm;

I = corrente circolante nel cavo;

r = distanza a cui si calcola il valore del campo elettrico.



Il campo di induzione magnetica  $B$  in ogni punto  $P$  dello spazio è calcolato integrando numericamente per ogni singolo conduttore l'equazione:

$$B = \mu_0 \mu_r \int \frac{i}{r^3} (r \times s) ds$$

dove:

$i$  = corrente all'interno dei cavi;

$r$  = vettore distanza tra un tratto  $ds$  di conduttore ed il punto  $P$ ;

$\mu_0$  = permeabilità magnetica dell'aria;

$\mu_r$  = permeabilità magnetica del terreno.

Nel calcolo si è assunto il valore di  $1.25 \times 10^{-6}$  N/A<sup>2</sup> per la permeabilità magnetica  $\mu_0$  dell'aria ed un valore unitario per la permeabilità magnetica relativa  $\mu_r$  del terreno. L'intensità del campo generato da ogni conduttore è poi sommata vettorialmente, tenendo conto sia degli sfasamenti di corrente che della diversa posizione di ogni conduttore.

Per quanto riguarda il valore del campo elettrico, trattandosi di linee interrate, esso è da ritenersi insignificante in quanto la somma vettoriale delle tre correnti di fase è nulla, essendo il sistema esercito a neutro isolato, eventuali sfasamenti di lievissima entità, inoltre, risulterebbero ulteriormente attenuati grazie anche all'effetto schermante del rivestimento del cavo e del terreno. Nel seguito verranno quindi esposti i risultati del solo calcolo del campo magnetico. La situazione più significativa ai fini del calcolo dell'intensità del campo magnetico è quella relativa al campo magnetico generato dal tratto di cavidotto che parte dalla cabina di raccolta interna all'impianto (potenza elettrica trasportata 28,00 MW) e arriva alla cabina di trasformazione.



## **4. ANALISI DELL'IMPATTO ELETTROMAGNETICO**

L'impatto elettromagnetico relativo al parco eolico in progetto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica, è legato:

- **all'utilizzo delle cabine di trasformazione BT/MT;**
- **alla realizzazione del cavidotto interrato** per la connessione elettrica dei campi in cui è suddiviso elettricamente l'impianto, con la cabina elettrica di connessione e consegna alla rete di distribuzione nazionale.

**Nell'intervento proposto non è prevista la realizzazione di linee elettriche aeree, ma esclusivamente la realizzazione di cavidotti interrati in MT (30 kV) per la distribuzione dell'energia elettrica prodotta dall'impianto alla cabina di connessione e consegna alla rete elettrica MT (30 kV).**

### **4.1. Cabine di trasformazione interne alle torri e Cabine di smistamento**

Data la distanza assicurata in fase di progetto fra i trasformatori posizionati ai piedi delle torri eoliche e le abitazioni circostanti più prossime, comunque molto lontane, si può ritenere trascurabile il contributo di tali apparati elettrici in riferimento a campi elettrici e magnetici. L'impianto, inoltre, non è stabilmente presidiato, la presenza dell'uomo nelle vicinanze della torre eolica è legata unicamente agli interventi di manutenzione ordinaria e/o straordinaria che, in ogni caso, sono effettuate a torre ferma, dunque quando il campo elettromagnetico generato dalla corrente prodotta dal generatore è nulla. Dunque anche tale effetto è da trascurare.

In ogni caso, anche durante il funzionamento della torre, nell'ipotesi sebbene remota che si riscontrassero valori di campo magnetico superiori ai limiti di legge, si ricorrerà alla tecnica della schermatura attraverso gli schermi magnetici o gli schermi conduttivi. Nel primo caso, l'obiettivo della schermatura è quello di distogliere il flusso magnetico dal suo percorso, per convogliarlo in zone non presidiate da persone, mentre nel secondo, attraverso gli schermi conduttivi, si contrasta il flusso esistente con un altro contrario. La schermatura può essere limitata alle sorgenti (soprattutto cavi e quadri BT) o estesa all'intero locale cabina. Di seguito alcune precisazioni relative alla schermatura, individuate dalla guida CEI 11-35:



- gli interventi di schermatura, facili da effettuare in fase progettuale, sono talvolta difficili (o addirittura impossibili) da realizzare su cabine esistenti e possono essere anche particolarmente costosi;
- la schermatura può essere parziale, limitata cioè alle principali sorgenti di campo magnetico (cavi, quadri, trasformatore) o al limite ad alcune pareti, oppure totale, ovvero estesa all'intera cabina;
- la scelta del tipo di schermo (sagoma, dimensioni, materiale) dipende molto dalle caratteristiche delle sorgenti e dal livello di mitigazione di campo magnetico che si vuole raggiungere. Perciò saranno individuati i livelli di campo magnetico più significativi, ne sarà descritta la distribuzione spaziale in termini sia di intensità che di orientamento e saranno associati i componenti di cabina che verosimilmente ne rappresentano le sorgenti primarie;
- la schermatura parziale consiste nell'avvolgere le principali sorgenti di campo con schermi ferromagnetici se si vuole ridurre il campo nelle immediate vicinanze dello schermo, oppure conduttori se si vogliono ottenere migliori risultati anche a distanze maggiori. L'accoppiamento dei due tipi di schermo rappresenta la soluzione tecnica per risolvere i casi più difficili. Infatti, la geometria complessa dei circuiti di cabina, e quindi la presenza contemporanea di campi con componenti significative sia verticali che orizzontali, impone talvolta di dover ricorrere a schermature combinate (con materiali conduttori e ferromagnetici);
- nel caso di fasci di cavi, la schermatura può essere effettuata con profilati sagomati ad U di adeguato spessore. In questo caso lo schermo per essere efficace deve avere uno spessore di qualche millimetro; ciò conferisce per altro allo schermo buone proprietà meccaniche che lo rendono anche utilizzabile, se opportunamente sagomato, come struttura portante dei cavi da schermare;
- la schermatura totale di una parete può essere effettuata mettendo in opera lastre di materiale conduttore o ferromagnetico o di entrambi i tipi; in alcuni casi pratici sono stati ottenuti dei buoni risultati impiegando lamiera di acciaio commerciale di spessore 3 mm ÷ 5 mm. A questo riguardo si evidenzia che gli acciai normalmente in commercio non sono caratterizzati da valori di permeabilità e conducibilità definiti, per cui la loro efficacia



schermante può essere anche molto diversa da caso a caso. Per ovviare a questo inconveniente si possono utilizzare materiali ferromagnetici a permeabilità controllata, oppure materiali conduttori che hanno un comportamento ben definito ed una buona efficienza schermante.

Tutti i precedenti ragionamenti sono validi anche per le tre cabine di smistamento che, non contenendo trasformatori, avranno emissioni di campo elettromagnetico molto inferiori.

#### **4.2. Cavidotto interrato**

**Come si evince dalle tavole allegate, il cavidotto percorrerà strade pubbliche, rimanendo sempre distante da zone abitate; i fabbricati presenti si trovano comunque a distanze relativamente considerevoli dal tracciato degli scavi.**

#### **Campo elettrico**

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, proprio a causa dell'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati.

#### **Campo magnetico**

Le grandezze che determinano l'intensità del campo magnetico circostante un elettrodotto sono principalmente:

- distanza dalle sorgenti (conduttori);
- intensità delle sorgenti (correnti di linea);
- disposizione e distanza tra sorgenti (distanza mutua tra i conduttori di fase);
- presenza di sorgenti compensatrici;

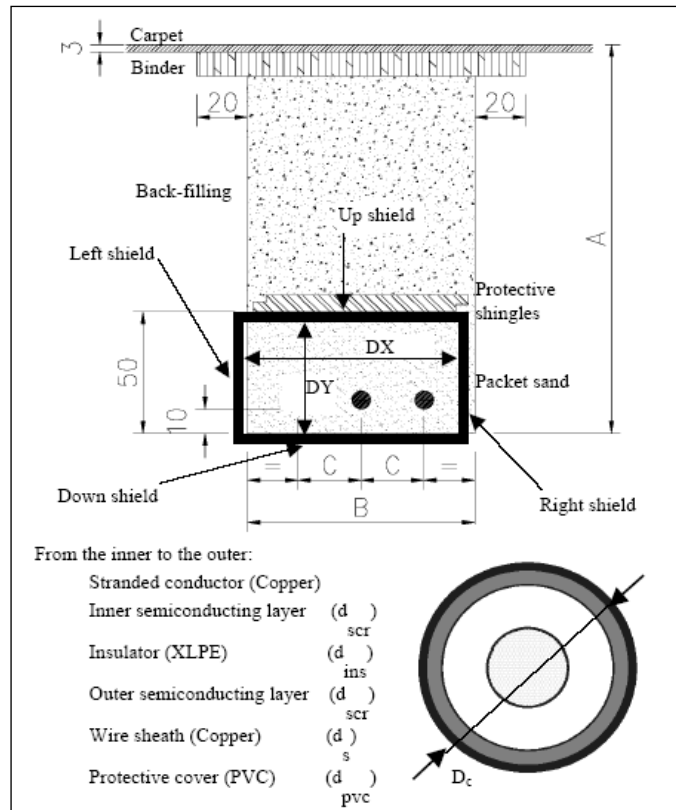


- suddivisione delle sorgenti (terne multiple).

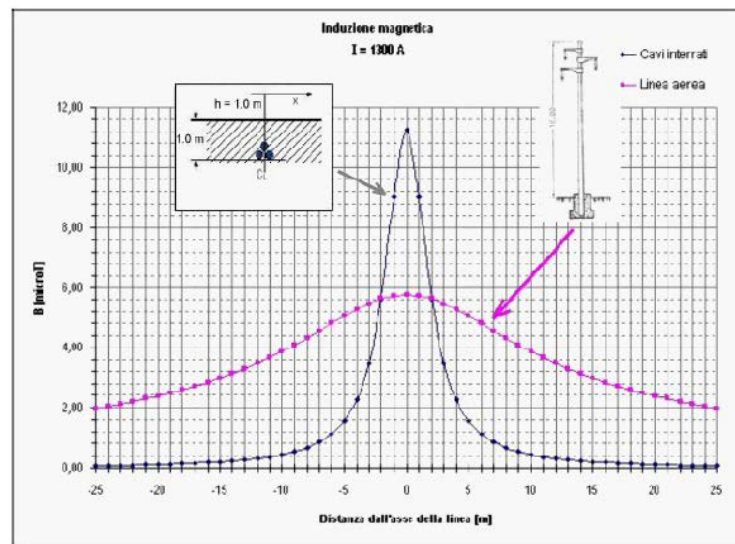
I metodi di controllo del campo magnetico si basano principalmente sulla riduzione della distanza tra le fasi, sull'installazione di circuiti addizionali (spire) nei quali circolano correnti di schermo, sull'utilizzazione di circuiti in doppia terna a fasi incrociate e sull'utilizzazione di linee in cavo. I valori di campo magnetico risultano, inoltre, essere notevolmente abbattuti mediante interrimento degli elettrodotti. Questi vengono posti a circa 1,2 metri di profondità e sono composti da un conduttore cilindrico, una guaina isolante, una guaina conduttrice (la quale funge da schermante per i disturbi esterni, i quali sono più acuti nel sottosuolo in quanto il terreno è molto più conduttore dell'aria) e un rivestimento produttivo. I cavi interrati generano, a parità di corrente trasportata, un campo magnetico al livello del suolo più intenso degli elettrodotti aerei (circa il doppio), però l'intensità di campo magnetico si riduce molto più rapidamente con la distanza. Tra i vantaggi collegati all'impiego dei cavi interrati c'è da considerare che i valori di intensità di campo magnetico decrescono molto più rapidamente con la distanza. Tra gli svantaggi ci sono problemi di perdita di energia legati alla potenza reattiva (produzione, oltre ad una certa lunghezza del cavo, di una corrente capacitiva, dovuta all'interazione tra il cavo ed il terreno stesso, che si contrappone a quella di trasmissione). Altri metodi con i quali ridurre i valori di intensità di campo elettrico e magnetico possono essere quelli di usare "linee compatte", dove i cavi vengono avvicinati tra di loro in quanto questi sono isolati con delle membrane isolanti.

*Confrontando il campo magnetico generato da linee aeree con quello generato da cavi interrati, si rileva che per i cavi interrati l'intensità massima del campo magnetico è più elevata, ma presenta un'attenuazione più pronunciata.*



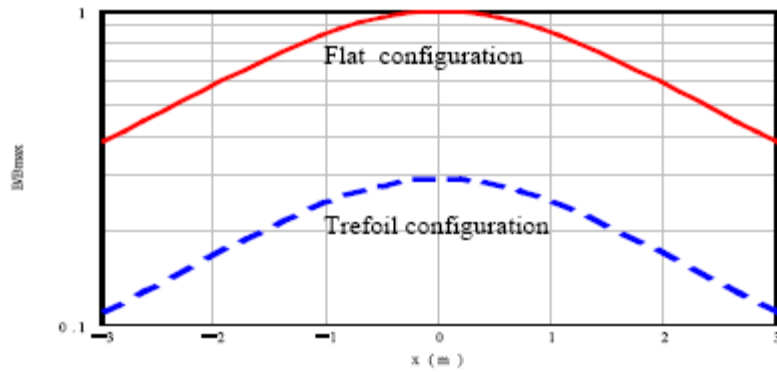


**Fig. 4.1** Rappresentazione schematica di un cavidotto interrato: caratteristiche geometriche, configurazione, schermatura

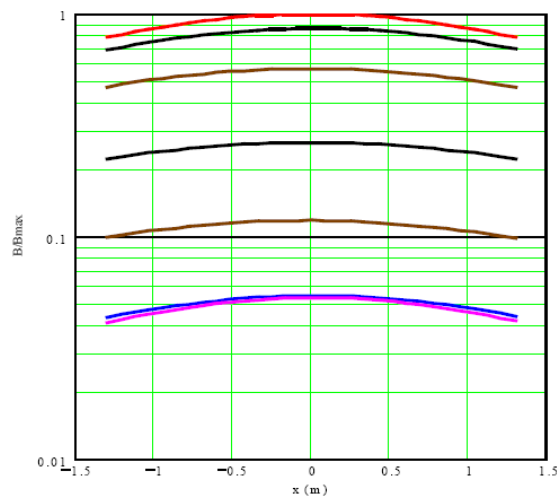


**Fig. 4.2** Attenuazione dell'induzione magnetica dovuta all'interramento dei cavi





**Fig. 4. 3** Attenuazione dell'induzione magnetica dovuta all'utilizzo di cavidotti con cavi in configurazione planare o trifase



**Fig. 4. 4** Attenuazione dell'induzione magnetica con la distanza per effetto della schermatura



## **5. ANALISI DEL TRATTO DI CAVIDOTTO CON POTENZA TRASMESSA PARI A 45,00 MW**

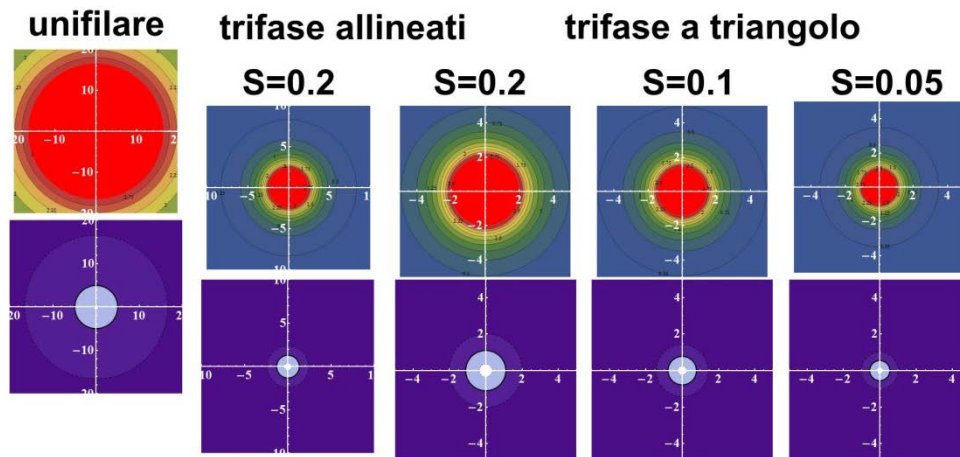
All'interno del cavidotto in esame sono presenti le dorsali di collegamento tra le cabine di smistamento e la cabina primaria di consegna MT-AT, per una potenza elettrica complessiva pari a 45,00 MW.

### **5.1. Cavidotti**

Nel progetto di cui il presente allegato è parte:

- non è prevista la realizzazione di linee aeree MT;
- le linee di collegamento elettrico tra i campi e la cabina elettrica sono MT (30 kV), tutte in cavo ed interrate;
- la disposizione dei cavi MT è prevista ai vertici di un triangolo equilatero (configurazione trifase), disposizione che in base al calcolo effettuato per il parco eolico in questione, (cfr. FIG. 5.1), assicura una riduzione del campo magnetico complessivo oltre che una riduzione dei disturbi elettromagnetici;
- gli elettrodotti interrati presentano distanze rilevanti da edifici abitati o stabilmente occupati;
- la corrente viene distribuita alternata e non continua, riducendo così le perdite a parità di tensione.





**Fig. 5.1** Riduzione del campo elettromagnetico per differenti configurazioni dei cavi interrati (unifilare, allineati e a triangolo [trifase]) e per differenti valori della distanza tra i cavi nella configurazione trifase

### **5.2. Modalità di posa dell'elettrodotto interrato**

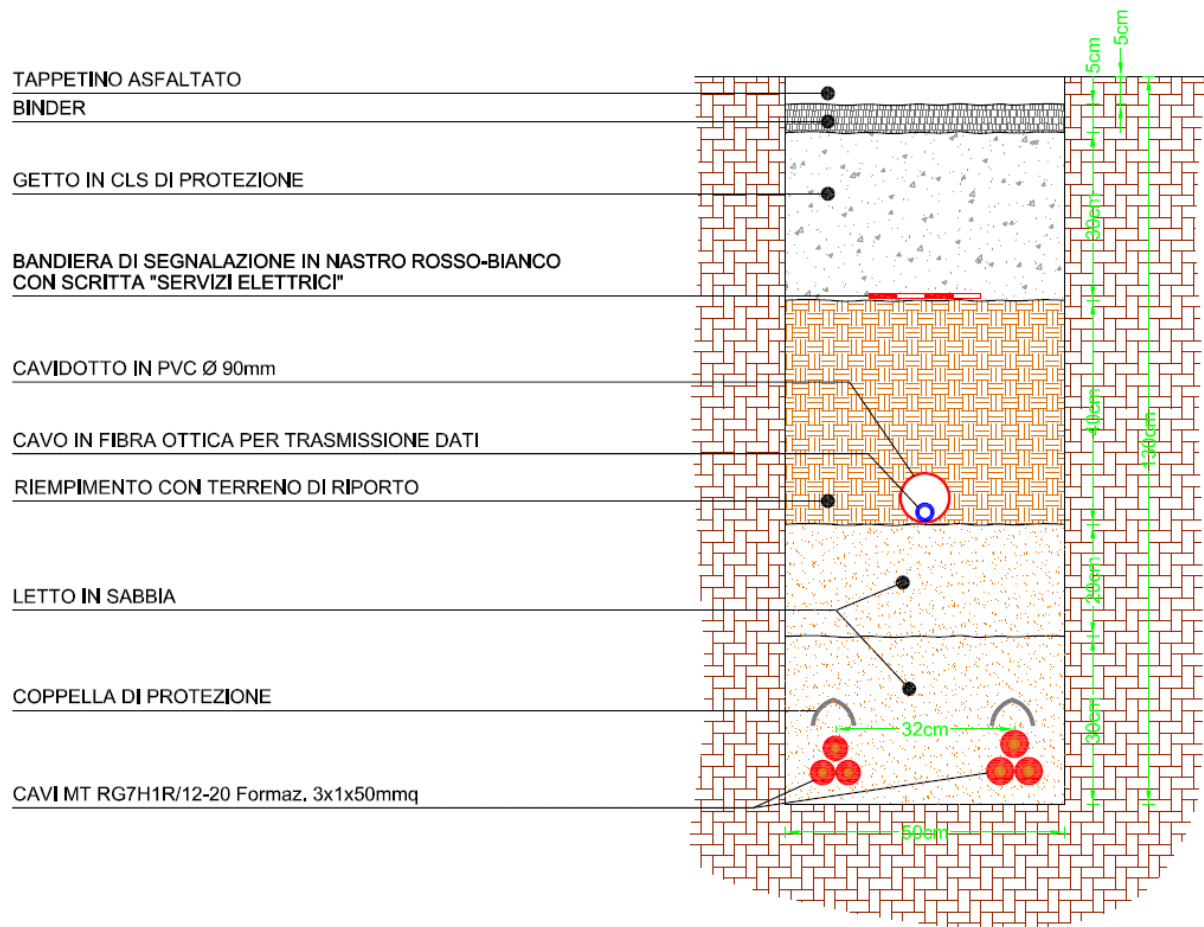
La posa interrata dei cavi avverrà a una profondità di 1.5 metri ed una adeguata protezione meccanica sarà posta sui cavi stessi (tegolo) in conformità alla modalità di posa "M" della Norma C.E.I. 11-17.

Lo scavo avrà larghezza massima di 1,2 – 1,5 m, in relazione alla migliore soluzione tecnica conseguibile. Prima della posa dei cavi verrà ricoperto il fondo dello scavo (letto di posa) con uno strato (3-4 cm di spessore) di sabbia avente proprietà dielettriche.

I cavi potranno essere posati:

- direttamente nello scavo e quindi ricoperti da uno strato di sabbia dielettrica per circa 25 cm sul quale verrà posizionato il tegolo di protezione;
- all'interno di tubazioni che saranno ricoperte solo da sabbia dielettrica per uno spessore di 25 cm. L'utilizzo delle tubazioni facilita la sfilabilità dei cavi (cfr. FIG. 5.2).





**Fig. 5.2 Ipotesi di modalità di posa del caavidotto oggetto dell'analisi**

Tutti gli impianti in bassa e media tensione saranno realizzati secondo le prescrizioni della norma CEI 11-1 con particolare riferimento alla scelta dei componenti della disposizione circuitale, degli schemi elettrici, della sicurezza di esercizio. *Più in generale, le modalità di connessione saranno conformi alle disposizioni tecniche emanate dall'autorità per l'energia elettrica e il gas, al Gestore della rete di distribuzione ed in completo accordo con disposizioni e consuetudini tecniche dell'ENEL e con le regole tecniche di connessione previste dal GSE.*

### **5.3. Risultati del calcolo del campo magnetico**

#### **5.3.1. Valore del campo elettromagnetico indotto dai cavidotti interrati**

Il campo elettrico risulta ridotto in maniera significativa per l'effetto combinato dovuto alla speciale guaina metallica schermante del cavo ed alla presenza del terreno che presenta una conducibilità elevata. Per le linee elettriche di MT a 50 Hz, i campi elettrici misurati attraverso prove sperimentali sono risultati praticamente nulli, per l'effetto schermante delle guaine metalliche e del terreno sovrastante i cavi interrati. Considerando:

- la tipologia di posa dei cavi previsti in progetto,
- la tipologia di cavidotto definito in progetto: trifase unipolare,

si è stimato il valore del campo elettromagnetico, o più precisamente le distanze minime dal cavidotto che garantiscono il rispetto dei limiti normativi, mediante le formule matematiche per il calcolo del campo magnetico. Il valore del campo magnetico indotto dipende dal valore di corrente elettrica che attraversa il conduttore, pertanto per il calcolo del valore del campo magnetico si è preso in considerazione la linea elettrica interrata destinata al trasporto dell'energia elettrica prodotta dall'intero impianto, ossia si è considerato il cavidotto che raccoglie tutta la energia elettrica prodotta dal parco eolico (caso peggiore dal punto di vista dell'induzione di campi elettromagnetici), e disposizione dei conduttori ai vertici di un triangolo equilatero. L'equazione per conduttori trifase disposti a triangolo (che rappresenta la scelta progettuale adottata) è la seguente:

$$B = \frac{0.245 * I * S}{2D}$$

Dove:

- B è il campo magnetico, espresso in  $\mu T$ , generato alla distanza D espressa in metri;
- S è la distanza tra i conduttori che, nel caso di posa a trefolo, si può assumere pari a non più di 0,1 m;
- I è il valore mediano della corrente che circola nei conduttori, espressa in Ampere;

Dalla formula precedente è facile ricavare:



$$D = \frac{0.245 * I * S}{2B}$$

**È evidente che il campo elettromagnetico si attenui all'aumentare della distanza D, dunque è immediato determinare la distanza D alla quale si riscontrano i limiti di legge.**

Nel nostro caso la corrente massima complessivamente circolante è di poco inferiore a 900 A, suddivisa in 4 conduttori per fase (vedi Schema unifilare di MT e Relazione dei calcoli preliminari degli impianti elettrici).

Al fine di individuare il valore mediano del campo elettromagnetico precedente è evidente che, poiché la formula precedente presenta una linearità diretta tra corrente e campo magnetico, è importante determinare il valore mediano della corrente che circola nei cavidotti interrati.

A tal proposito, è facile dimostrare come, nel corso dell'anno, le ore equivalenti di produzione saranno pari a massimo 2200 rispetto alle 8640 annualmente disponibili.

Dunque, pur nell'ipotesi estremamente conservativa che il valor medio della corrente coincida col valor mediano si avrebbe che il valor mediano della corrente sarebbe pari al 26,6% del valor massimo, vale a dire circa 239 A.

La cosa è ovviamente del tutto improbabile in quanto la ventosità media del sito è pari a circa 6,0 m/s dunque, dall'analisi della curva caratteristica di produzione dell'aerogeneratore, si desume che in corrispondenza di detto valore di ventosità la produzione è pari a circa il 20% di quella massima, dunque il valor mediano della corrente da assumere dovrebbe essere prossimo al 20% della corrente massima (e cioè 180 A).

Il valore mediano di 239 A, assunto come base di calcolo, inoltre, è ulteriormente cautelativo in quanto non tiene conto del fatto che le 3 terne di cavi sono distanziate orizzontalmente una dall'altra, dunque gli effetti delle terne più lontane sono vettorialmente attenuati dalla loro maggior distanza dal punto di interesse.

Trascurando anche questo secondo aspetto e sostituendo i valori determinati si possono calcolare le distanze D al di sotto delle quali il valore di campo è maggiore del limite imposto, in corrispondenza di ciascuna soglia di campo magnetico considerata.

Dunque, imponendo le condizioni limite, si ottiene:



1.  $B = 100 \mu T$  in corrispondenza di  $D = 0,029 m$
2.  $B = 10 \mu T$  in corrispondenza di  $D = 0,29 m$ ;
3.  $B = 3 \mu T$  in corrispondenza di  $D = 0,98 m$ .

In riferimento al valore di soglia di attenzione epidemiologica (SAE) che è di  $3 \mu T$ , si ha, dunque, che il limite del campo magnetico è a una distanza inferiore a quella di posa, pur determinata in tutte le suddette ipotesi cautelative.

Dunque la soglia dei  $3 \mu T$  sarebbe superata solo al di sotto del piano stradale di calpestio.

È solo il caso di aggiungere che, ripetendo lo stesso ragionamento, in corrispondenza del valor massimo della corrente, pari a 900 A, si otterrebbe:

$B = 100 \mu T$  in corrispondenza di  $D = 0,11 m$

$B = 10 \mu T$  in corrispondenza di  $D = 1,1 m$ ;

$B = 3 \mu T$  in corrispondenza di  $D = 3,64 m$ .

Dunque, anche in corrispondenza del valore massimo della corrente, cioè quando tutti gli aerogeneratori sono alla massima produzione si supererebbe l'ultimo dei limiti sul percorso del cavidotto, per una fascia di 3,64 m avente per asse la proiezione del cavidotto sulla sede stradale, dunque un luogo dove non è ipotizzabile pensare che vi sia permanenza di persone per 24 ore continuativamente.

### **5.3.2. Analisi dei risultati ottenuti**

Come mostrato, l'intensità del campo magnetico calcolata sull'asse del cavidotto ed in tutte le situazioni esaminate ed a tutte le distanze e quote considerate fuori terra è inferiore al limite dei  $3 \mu T$  che il DPCM 8 Luglio 2003 fissa come obiettivo di qualità da conseguire nella realizzazione di nuovi elettrodotti.

Alla luce dei risultati ottenuti ed illustrati si evince come i tratti di cavidotto interrato esaminati nella presente relazione rispettino le soglie di attenzione indicate negli articoli 3 e 4 del DPCM 8 Luglio 2003 e nel successivo DM 29 maggio 2008 recepiti nella L. R. n. 25 del 9 Ottobre 2008.



### **5.3.3. Valutazione degli impatti prodotti dai campi elettromagnetici**

Con riferimento all'impatto prodotto dai campi elettromagnetici, si è avuto modo di porre in risalto che non si ritiene che si possano sviluppare effetti elettromagnetici dannosi per l'ambiente o per la popolazione derivanti dalla realizzazione dell'impianto. Non si riscontrano effetti negativi sul personale, anche perché la gestione dell'impianto non prevede la presenza di personale durante l'esercizio ordinario se non durante le operazioni di manutenzione che comunque determineranno la permanenza del personale solo per brevi periodi e, quasi sempre, ad impianto fermo. Da quanto riportato nei precedenti paragrafi, nonché nei calcoli sopra eseguiti, risulta evidente che i campi generati sono tali da rientrare nei limiti di legge e che la probabilità dell'impatto è da considerarsi quasi del tutto trascurabile. Altresì, le frequenze elettromagnetiche sono estremamente basse (50-300 Hz) e quindi, di per sé, assolutamente innocue. Inoltre la tipologia di installazione garantisce una riduzione del campo magnetico ed un decadimento dello stesso nello spazio con il quadrato della distanza dalla sorgente. Gli eventuali limiti spaziali dell'impatto sono confinati ad un'area molto ristretta intorno alla cabina MT di connessione, per la quale la distanza di prima approssimazione è fornita dalle specifiche Enel per cabine certificate del tipo DG 2061.

