

REGIONE CAMPANIA  
PROVINCIA DI AVELLINO

COMUNE DI FRIGENTO  
COMUNE DI GUARDIA LOMBARDI  
COMUNE DI ROCCA SAN FELICE  
COMUNE DI STURNO  
COMUNE DI BISACCIA



# AUTORIZZAZIONE UNICA ex d.lgs. 387/2003

**Costruzione ed esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato "Taverna del Principe" da realizzarsi nel comune di FRIGENTO (AV) e delle opere ed infrastrutture connesse da realizzarsi nei comuni di FRIGENTO (AV), GUARDIA LOMBARDI (AV), ROCCA SAN FELICE (AV), STURNO (AV) e BISACCIA (AV), avente potenza nominale pari a 39,6 MW**

Titolo elaborato

Codice elaborato

## Relazione tecnica dei sistemi elettrici

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0474	A	R09	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Gennaio 2022	Prima emissione	GDS	GDS	GMA

Proponente

### Camelia Rinnovabili s.r.l.

Largo Augusto 3  
20122 Milano



Progettazione



### F4 Ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza  
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452  
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico  
(ing. Giovanni DI SANTO)



Società certificata secondo la norma UNI-EN ISO 9001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).





## Sommario

<b>1 Connessione alla RTN</b>	<b>2</b>
1.1 Opere di rete e schema per la connessione	2
1.2 Cavidotti	5
<b>2 Ripristini e Stato finale dell'opera</b>	<b>9</b>
<b>3 Dimensionamento dell'impianto</b>	<b>10</b>
<b>4 Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche di protezione contro i fulmini, con l'individuazione e la classificazione del volume da proteggere</b>	<b>14</b>
4.1 Individuazione delle strutture da proteggere	14
4.2 Calcolo delle componenti di rischio	14
4.3 Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini	19



# 1 Connessione alla RTN

La soluzione di connessione (soluzione tecnica minima generale STMG - codice pratica del preventivo di connessione 202102473), prevede che il futuro impianto eolico venga **collegato in antenna a 36 kV su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione (SE) della RTN a 380/150 kV denominata "Bisaccia"**.

Il nuovo elettrodotto a 36 kV per il collegamento del parco in oggetto allo stallo a 36 kV della stazione Elettrica di Trasformazione a 380/150 kV della RTN, costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

## 1.1 Opere di rete e schema per la connessione

La stazione elettrica di trasformazione AT/MT, contenuta all'interno di un "condominio stalli" costituito da un altro produttore, è costituita da:

- N.1 stallo trasformatore AT/MT;
- N.1 stallo di arrivo linea in cavo AT da SE RTN di Bisaccia;
- N.1 edificio servizi per le apparecchiature MT e BT;
- Viabilità di accesso alla stazione elettrica e opere di accesso e recinzione.

L'impianto può essere suddiviso in due diverse sezioni, in relazione al livello di tensione che le caratterizza:

### Sezione AT

- tensione massima sezione: 150 kV-170 kV
- frequenza nominale: 50 Hz
- Livello di isolamento:
  - Tensione a frequenza industriale (1 minuto 50 Hz) (valore efficace) 315 kV
  - Tensione a impulso atmosferico (onda 1,2 / 50  $\mu$ s) (cresta) 1750 kV
- Tensione nominale di tenuta:
  - a. frequenza industriale (50 Hz/60 s): 325 kV efficace
  - b. impulso atmosferico (1.2/50  $\mu$ s): 750 kV picco
- Corrente nominale delle sbarre principali: 2000A
- Corrente di breve durata 150 Kv: 31.5 kA
- Durata nominale di cortocircuito 1 s
- condizioni ambientali limite: - 25/+40°C
- salinità di tenuta superficiale degli isolamenti elementi 150 kV: 56 kg/m<sup>3</sup>

### Sezione MT

- Tensione nominale: 33 kV
- Tensione massima: 36 kV
- Frequenza nominale: 50 Hz
- Livello di isolamento:
  - Tensione a impulso atmosferico 170 kV
  - Tensione a frequenza industriale 70 kV
- Tensione nominale di tenuta:



- c. frequenza industriale (50 Hz/60 s): 70 kV efficace
- d. impulso atmosferico (1.2/50  $\mu$ s): 145 - 170 kV picco
- Corrente nominale delle sbarre principali: 1250 – 1600 A
- Corrente ammissibile di breve durata: 12,5 – 20 kA
- Durata nominale di cortocircuito 1 s

Lo stallo di trasformazione AT/MT produttore è costituito dalle seguenti apparecchiature AT:

- n.1 trasformatore AT/MT;
- n.1 terna di scaricatori di sovratensione;
- Modulo compatto AT composto da:
  - n.1 terna di trasformatori di corrente unipolari;
  - n.1 interruttore tripolare;
  - n.1 terna di trasformatori di tensione unipolari;
  - n.1 sezionatore di linea, con terna di lame di messa a terra (dedicato allo stallo trasformatore del produttore)

Lo stallo arrivo linea in cavo AT è costituito dalle seguenti apparecchiature AT:

- n. 1 terminale cavi AT;
- Modulo compatto AT composto da:
  - n.1 terna di trasformatori di corrente unipolari;
  - n.1 interruttore tripolare;
  - n.1 terna di trasformatori di tensione unipolari;
  - n.1 sezionatore di linea, con terna di lame di messa a terra (dedicato allo stallo trasformatore del produttore)

Negli edifici utente saranno collocati i quadri di distribuzione in media tensione, i sistemi di distribuzione per i servizi ausiliari sia in corrente continua che in corrente alternata ed i dispositivi per controlli e misure.

Il quadro misure sarà del tipo a parete costruito in poliestere, contenente un contatore statico a quattro quadranti di classe B. Oltre al contatore, all'interno sarà montato un modem per linea telefonica o GSM, completo di alimentatore.

Il quadro di distribuzione MT dovrà essere di tipo protetto con protezione arco interno, è composto dalle seguenti unità:

- Scomparto partenza trasformatore di potenza AT/MT, con interruttore asportabile e completo di relè a microprocessore per le protezioni max.I (50-51-51N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza;
- Scomparto protezione trasformatore S.A. con interruttore di manovra-sezionatore e fusibili;
- Cella TV di sbarre;
- Scomparti di arrivo dai parchi eolici, con interruttore asportabile e completo di relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-67N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza.

Sono previsti due sistemi di distribuzione per i servizi ausiliari, uno in corrente alternata alla tensione 400/230 V e l'altro in corrente continua alla tensione di 110 V.

Il sistema di distribuzione in corrente alternata sarà costituito da:

- Trasformatore di distribuzione, 100 kVA, 30/0,4 kV, in olio;

- Quadro di distribuzione 400/230V.

A livello di opere civili verranno realizzate le seguenti opere:

- Recinzione esterna ed interna;
- Strade di circolazione, accesso e piazzali carrabili;
- Costruzione edificio utente;
- Formazioni dei basamenti delle apparecchiature elettriche AT;
- Palo Telecomunicazioni

L'area complessivamente occupata dalla stazione AT/MT avrà dimensioni pari a ca. 34x22 m.



**Figura 1 – Stralcio con indicazione della posizione della stazione utente Camelia Rinnovabili Srl, rispetto alla stazione Terna di smistamento a 150 kV**

La strada di accesso, che permette di raggiungere la SET dall'accesso esistente, sarà bitumata ed occuperà un'area complessivamente di circa 400 m<sup>2</sup> (L=43m).

Per la realizzazione della recinzione sarà necessario eseguire scavi in sezione ristretta con mezzo meccanico. L'altezza fuori terra della recinzione, rispetto alla parte accessibile dall'esterno, dovrà essere almeno di 2,60 m. L'opera sarà completata inserendo n°1 cancello carrabile e pedonale.

Nella sottostazione elettrica sarà presente n.1 edificio utente suddiviso in più locali tecnici per il contenimento delle apparecchiature MT, BT di stazione.

Per tutti i locali è prevista un'altezza fuori terra massima di 3.20 m come quota finita. Le dimensioni in pianta del fabbricato sono: lunghezza 15 m, profondità 4.5 m con annesso locale di misura.

La rete di terra sarà realizzata all'interno dell'area interessata dalla costruzione della nuova stazione di utenza, mediante una rete magliata disperdente in corda di rame nuda, di sezione pari a



63mm<sup>2</sup>, cui saranno connesse tutte le parti metalliche delle strutture portanti e le reti elettrosaldate mediante corda di rame nudo di sezione pari a 120mm<sup>2</sup>.

L'impianto di illuminazione esterno sarà realizzato con corpi illuminanti opportunamente distanziati dalle parti in tensione ed in posizione tale da non ostacolare la circolazione dei mezzi.

I proiettori saranno del tipo con corpo in alluminio, a tenuta stagna, doppio isolamento o isolamento rinforzato, grado di protezione minimo IP65, con lampade LED da 380W montati su pali in vetroresina, di altezza prevista pari a circa 8 m, installati su fondazione prefabbricata con pozzetto integrato.

E' prevista l'installazione di un sistema di lampade aventi le medesime caratteristiche, poste su pali metallici connessi a terra, di altezza pari a circa 3 m, per illuminare in condizioni di emergenza o manutenzione nelle ore notturne la zona di lavoro dello stallo AT all'aperto tra il trasformatore di potenza ed il sezionatore AT di linea con lame di terra.

L'impianto di illuminazione interna sia ordinaria che di emergenza, dei locali dell'edificio elettrico, sarà costituito da lampade fluorescenti di potenza fino a 58W, con installazione ad incasso nel controsoffitto o a plafone in relazione alla tipologia dei locali.

Per l'illuminazione esterna lungo il perimetro dell'edificio si utilizzeranno apparecchi stagni a lampade fluorescenti installati sotto gronda, alcuni dei quali dotati di accensione automatica mediante fotocellula.

Tutti i locali utente dell'edificio elettrico dovranno essere dotati di impianto di FM costituito da prese di corrente bivalenti 10/16A e da quadretti prese dotati di prese bipolari e tripolari fino a 25°C.

## 1.2 Cavidotti

L'energia prodotta dai singoli aerogeneratori del parco eolico verrà trasportata alla Stazione Utente 30/36 kV, con funzione di trasformazione ed immessa nella RTN tramite il sistema di sbarre presente nella stessa.

I collegamenti tra il parco eolico e la Stazione Utente avverranno tramite linee in MT interrate, esercite a 30 kV, ubicate sfruttando per quanto possibile la rete stradale esistente ovvero lungo la rete viaria da adeguare/realizzare ex novo nell'ambito del presente progetto.

Ciascun aerogeneratore sarà dotato di un generatore e relativo convertitore. Inoltre, sarà equipaggiato con un trasformatore BT/AT oltre a tutti gli organi di protezione ed interruzione atti a proteggere la macchina e la linea elettrica in partenza dalla stessa.

I trasformatori per impianti eolici devono costantemente sopportare problemi di sovratensioni di esercizio e vibrazioni meccaniche che mettono a dura prova la loro affidabilità nel tempo.

All'interno del generatore eolico, la tensione BT a 0.720 kV in arrivo dalla macchina verrà elevata a 36 kV tramite un trasformatore elevatore dedicato. Ogni aerogeneratore avrà al suo interno:

- L'arrivo del cavo BT (0.720 kV) proveniente dal generatore-convertitore;
- il trasformatore elevatore BT/MT (0.720/30 kV);
- la cella AT (36kV) per la partenza verso i quadri di macchina e da lì verso la Stazione di trasformazione.
- Gli aerogeneratori del campo saranno suddivisi in 2 circuiti (o sottocampi) così costituiti:
  - o Sottocampo 1: 6.6 x 3 = 19.8 MW (F01-F02-F03)



○ Sottocampo 2: 6.6 x 3= 19.8 MW (F04-F05-F06)

La rete elettrica MT (30kV) sarà realizzata con posa completamente interrata allo scopo di ridurre l'impatto della stessa sull'ambiente, assicurando il massimo dell'affidabilità e della economia di esercizio.

Il tracciato planimetrico della rete, lo schema unifilare dove sono evidenziate la lunghezza e la sezione corrispondente di ciascuna terna di cavo e la modalità e le caratteristiche di posa interrata sono mostrate nelle tavole del progetto allegate.

Per il collegamento degli aerogeneratori si prevede la realizzazione di linee MT (30kV) a mezzo di collegamenti del tipo "entra-esce".

Il percorso del collegamento del Parco Eolico alla Stazione di Trasformazione è stato scelto tenendo conto di molteplici fattori, quali:

- contenere per quanto possibile i tracciati dei cavidotti sia per occupare la minor porzione possibile di territorio, sia per non superare certi limiti di convenienza tecnico-economica;
- evitare per quanto possibile di interessare case sparse ed isolate, rispettando le distanze prescritte dalla normativa vigente;
- Evitare interferenze con zone di pregio naturalistico, paesaggistico e archeologico;
- transitare su aree di minor pregio interessando aree prevalentemente agricole e sfruttando la viabilità esistente per quanto possibile.

La rete a 30 kV, di lunghezza totale pari a circa 24 km, sarà realizzata per mezzo di cavi del tipo ARE4H5EE o equivalenti con conduttore in alluminio.

L'isolamento sarà garantito mediante guaina termo-restringente.

Il cavo a fibre ottiche per il monitoraggio ed il telecontrollo delle turbine sarà di tipo monomodale e verrà alloggiato all'interno di un tubo corrugato in PVC o in un monotubo in PEAD posto nello stesso scavo del cavo di potenza.

Insieme al cavo di potenza ed alle fibre ottiche vi sarà anche un dispersore di terra a corda di 35 mm<sup>2</sup> che collegherà gli impianti di terra delle singole turbine allo scopo di abbassare le tensioni di passo e di contatto e di disperdere le correnti dovute alle fulminazioni.

I cavi verranno posati ad una profondità di circa 130 cm, con una placca di protezione in PVC (nei casi in cui non è presente il tubo corrugato) ed un nastro segnalatore.

I cavi verranno posati in una trincea scavata a sezione obbligata che avrà una larghezza di 50 cm (cfr. sezioni tipo cavidotto). La sezione di posa dei cavi sarà variabile a seconda della loro ubicazione in sede stradale o in terreno (cfr. sezioni tipo cavidotto).

Come accennato, nella stessa trincea verranno posati i cavi di energia, la fibra ottica necessaria per la comunicazione e la corda di terra.

Dove necessario si dovrà provvedere alla posa indiretta dei cavi in tubi, condotti o cavedi.

La posa dei cavi si articolerà nelle seguenti attività:

- scavo a sezione obbligata della larghezza e della profondità precedentemente menzionate;
- posa del cavo di potenza e del dispersore di terra;
- eventuale rinterro parziale con strato di sabbia vagliata;
- posa del tubo contenente il cavo in fibre ottiche;
- posa dei tegoli protettivi;
- rinterro parziale con terreno di scavo;
- posa nastro monitore;
- rinterro complessivo con ripristino della superficie originaria;

- apposizione di paletti di segnalazione presenza cavo.

L'asse del cavo posato nella trincea si scosterà dall'asse della stessa solo di qualche centimetro a destra ed a sinistra, al fine di evitare dannose sollecitazioni dovute all'assestamento del terreno. Durante le operazioni di posa, gli sforzi di tiro applicati ai conduttori non dovranno superare i  $60 \text{ N/mm}^2$  rispetto alla sezione totale. Il raggio di curvatura dei cavi durante le operazioni di installazione non dovrà essere inferiore a 3 m.

Lo schermo metallico dei singoli spezzoni di cavo verrà messo a terra da entrambe le estremità della linea.

In corrispondenza dell'estremità di cavo connesso alla stazione di utenza, onde evitare il trasferimento di tensioni di contatto pericolose a causa di un guasto sull'alta tensione, la messa a terra dello schermo avverrà solo all'estremità connessa alla stazione di utenza.

La realizzazione delle giunzioni verrà effettuata secondo le seguenti indicazioni:

- prima di tagliare i cavi controllare l'integrità della confezione e l'eventuale presenza di umidità;
- non interrompere mai il montaggio del giunto o del terminale;
- utilizzare esclusivamente materiali contenuti nella confezione.

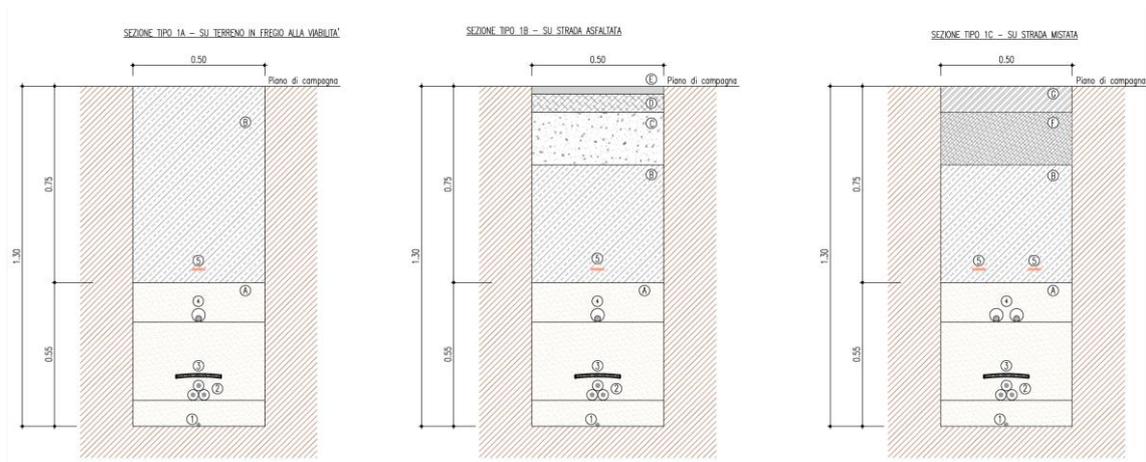
Ad operazione conclusa saranno applicate delle targhe identificatrici su ciascun giunto in modo da poter individuare l'esecutore, la data e le modalità d'esecuzione.

Su ciascun tronco fra l'ultima turbina e la stazione elettrica di utenza verranno collocati dei giunti di isolamento tra gli schermi dei due diversi impianti di terra (dispersore di terra della stazione elettrica e dispersore di terra dell'impianto eolico). Essi garantiranno la tenuta alla tensione che si può stabilire tra i due schermi dei cavi MT.

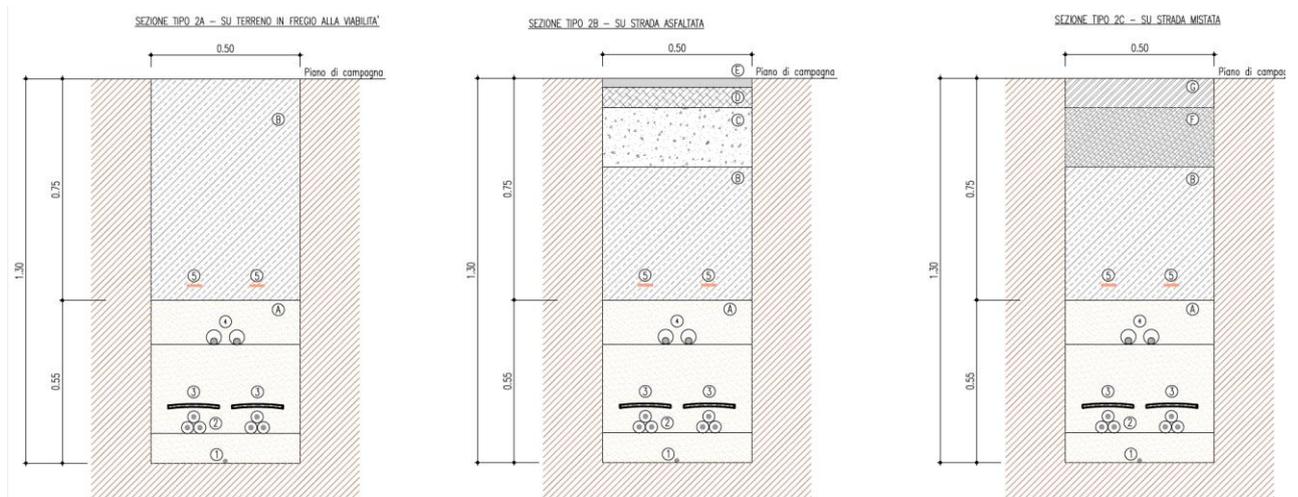
Le terminazioni dei cavi in fibra ottica dovranno essere effettuate nella seguente modalità:

- posa del cavo, da terra al relativo cassetto ottico, previa eliminazione della parte eccedente, con fissaggio del cavo o a parete o ad elementi verticali con apposite fascette, ogni 0.50 m circa;
- sbucciatura progressiva del cavo;
- fornitura ed applicazione, su ciascuna fibra ottica, di connettore;
- esecuzione della "lappatura" finale del terminale;
- fissaggio di ciascuna fibra ottica.

Le figure seguenti riportano alcune sezioni tipo del cavidotto:



**Figura 2: sezioni tipo sezioni tipo 1A ,1B e 1C**



**Figura 3: sezioni tipo 2A ,2B e 2C**

LEGENDA	
(A) Sabbia $\phi$ 0-3 mm	(1) Cavo di terra
(B) Rintoro con terreno proveniente dagli scavi	(2) Cavi MT
(C) Conglomerato bituminoso - Strato di base	(3) Filtra ottica in tubazione $\phi$ 50
(D) Conglomerato bituminoso - Strato di collegamento (Binder)	(4) Nastro monitore
(E) Strato di usura	

**NOTE**

NOTA\*: si prevede l'impiego di cavi di media tensione "Prysmian airbag o similari"

NOTA\*\*: i cavi MT saranno posati in tubazioni compatte in corrispondenza dei tratti critici ossia in corrispondenza delle interferenze evidenziate nell'elaborato grafico "A.16.a.20-Planimetria con individuazione di tutte le interferenze"

**Figura 4: legenda sezioni cavidotto**



## 2 Ripristini e Stato finale dell'opera

Al termine dei lavori, cioè quando non è più richiesta la presenza dei mezzi di trasporto di grandi dimensioni, l' "uso di suolo" sarà molto limitato in quanto molte delle aree impegnate in fase di cantiere verranno ripristinate al loro stato originario; ciò vale anche per il ripristino delle aree utilizzate per lo stoccaggio delle pale e per quelle dedicate al posizionamento delle gru ausiliare oltre che per le aree logistica e di trasbordo.

Tutte le scarpatine ai bordi della viabilità e delle piazzole definitive dell'impianto saranno oggetto di interventi di rinverdimento con specie arbustive ed arboree.

Le opere di ripristino del terreno vegetale superficiale possono attenuare notevolmente gli impatti sull'ambiente naturale, annullandoli quasi del tutto nelle condizioni maggiormente favorevoli. Tali opere hanno anche la finalità di evitare o limitare i fenomeni erosivi innescati dalla sottrazione e dalla modifica dei suoli. Inoltre, la ricostituzione della coltre erbosa può consentire notevoli benefici anche per quanto riguarda le problematiche legate all'impatto visivo.

Le stesse opere, inoltre, devono essere realizzate in funzione dello specifico sito di installazione del parco eolico, per cui la tipologia di piante e materiali impiegati a tale scopo dovrà essere adottata seguendo il criterio dell'uso di semine autoctone e materiali naturali. Solo in alcuni sporadici casi è previsto l'impiego di terre armate a causa delle maggiori pendenze.

Le aree che saranno ripristinate allo stato originario sono chiaramente evidenziate negli elaborati di progetto e possono essere così sintetizzate:

- Piazzole di stoccaggio;
- Piazzole di montaggio (saranno ridimensionate e la parte restante verrà ripristinata);
- Scarpate delle Piazzole di montaggio;
- Aree per lo stoccaggio dei componenti e delle pale;
- Aree per l'installazione del braccio della gru principale;
- Allargamenti e manti stradali;
- Aree di cantiere e trasbordo.

Saranno ripristinati i manti stradali utilizzando quanto più possibile i materiali di risulta dello scavo stesso; naturalmente, dove il manto stradale sarà di tipo sterrato sarà ripristinato allo stato originale mediante un'operazione di costipatura del terreno, mentre dove eventualmente il manto stradale è in materiale asfaltato sarà ripristinato l'asfalto asportato.

Per le scarpate (zone in scavo e riporto) sono previste in generale pendenze contenute, in modo da poter intervenire quasi esclusivamente con riporti di terreno vegetale e, quindi, consentire un efficace ripristino del manto vegetale senza alcuna necessità di ricorso ad operazioni più complesse ed onerose.



### 3 Dimensionamento dell'impianto

Il parco eolico, costituito da 6 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6.6 MW, per una potenza complessiva di 39.6 MW, nel settore nord del territorio comunale.

La futura Sottostazione Elettrica di Trasformazione (SET) per la connessione dell'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) sarà realizzata nel territorio di Bisaccia (Av).

Il modello di aerogeneratore attualmente previsto dalla presente proposta progettuale è tipo Siemens-Gamesa 170-6.6 MW o altro modello simile.

WTG	D rotore	H tot	Coordinate UTM-WGS84 fuso 33		Coordinate GB-Roma 40 fuso est	
			E	N	E	N
F01	170	200	513704	4539469	2533712	4539477
F02	170	200	513015	4539500	2533023	4539508
F03	170	200	513527	4538308	2533535	4538315
F04	170	200	513077	4537699	2533085	4537707
F05	170	200	513497	4537532	2533505	4537339
F06	170	200	513760	4536859	2533768	4536867

Tabella 1 - ubicazione planimetrica degli aerogeneratori di progetto

L'impianto è costituito da 6 aerogeneratori di grande taglia, con potenza nominale unitaria pari a 6.6 MW; l'aerogeneratore ha le seguenti caratteristiche dimensionali:

altezza max. hub	115 m
diametro max.rotore	170 m
altezza max. totale	200m

#### 3.1 Impianto elettrico

I cavi principali MT saranno dimensionati in modo tale che risulti soddisfatta la relazione:

$$I_b \leq I_z$$
$$\Delta V\% \leq 4\%$$

dove:

- $I_b$  è la corrente di impiego del cavo;
- $I_z$  è la portata del cavo, calcolata tenendo conto del tipo di cavo e delle condizioni di posa;
- $\Delta V\%$  è la massima caduta di tensione calcolata a partire dalla cabina di consegna fino all'aerogeneratore più lontano (massima caduta di tensione su ogni sottocampo).

I cavi per l'impianto di alta tensione a 36 kV saranno in alluminio di tipo unipolare e/o unipolare avvolto ad elica del tipo (AIRBAG) ARE4H5E o similari, direttamente interrati o infilati in corrugato (Portata di corrente in suolo a 20 °C - temp. cond. 90 °C).



La portata  $I_z$  di un cavo con una determinata sezione e isolante è notevolmente influenzata dalle condizioni di installazione. Nella posa interrata la portata può variare in funzione della profondità di posa, della resistività e della temperatura del terreno. Aumentando la profondità di posa, con temperatura del terreno invariata, la portata di un cavo si riduce.

La portata dipende però anche dalla resistività e dalla temperatura del terreno che aumentano verso la superficie, soprattutto nei periodi estivi, vanificando in tal modo i benefici che si possono ottenere a profondità di posa minori.

La portata di un cavo interrato diminuisce anche in caso di promiscuità con altre condutture elettriche e l'influenza termica tra i cavi aumenta sensibilmente se sono posati in terra piuttosto che in aria.

Per il calcolo della portata ci si riferisce alla tabella CEI UNEL 35026 fasc. 5777 "Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1550 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata". Dalla norma viene fornita la formula per il calcolo della portata effettiva  $I_z$  che può essere ricavata, a partire dalla corrente  $I_0$ , tenendo conto di opportuni coefficienti di correzione relativi a condizioni di posa diverse da quelle di riferimento.

$$I_z = I_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$$

Dove:

- $I_0$  = portata per posa interrata per cavi di tipo ARE4H5(AR)E con resistività terreno 1K m/W;
- $K_1$  = fattore di correzione per temperature diverse da 20 °C;
- $K_2$  = fattore di correzione per gruppi di più circuiti affiancati sullo stesso piano;
- $K_3$  = fattore di correzione per profondità di posa (nel caso in esame tale coefficiente è stato posto sempre pari ad 1 in quanto è stata considerata la  $I_0$  del cavo con posa in terreno);
- $K_4$  = fattore di correzione per terreni con resistività termica diversa da 1Km/W.

Tanto più elevata è la resistività termica del terreno tanto maggiore diventa la difficoltà del cavo a smaltire il calore attraverso gli strati del terreno. La resistività termica varia a seconda del tipo di terreno e del suo grado di umidità.



Tabella 2

Circuito	Tratto	Potenza							lb (corrente di impiego)	Io min - portata minima del cavo	Sezione cavo	Io	Iz (Portata)	Lunghezza	Caduta di tensione	Caduta di tensione	Caduta di tensione complessiva
			n. terne	Profondità di posa	K1	K2	K3	K4	A	A	mmq	A	A	m	V	%	%
		MW															
1	F01-4	6.6	1	1.2	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	118	118	240	370.0 0	370	541	9.6	0.03%	0.03%
	F02-4	6.6	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	118	137	240	370	318	772	15.9	0.04%	0.07%
	F02-4	13.2	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	235	274	400	478	411	772	20.6	0.06%	0.13%
	3-4	13.2	1	1.2	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	235	235	400	478	478	700	16.0	0.04%	0.17%
	F03-3	13.2	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	235	274	400	478	411	202	5.4	0.01%	0.19%
	F03-3	19.8	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	353	410	630	620	533	202	5.4	0.01%	0.20%
	2-3	19.8	1	1.2	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	353	353	630	620	620	663	15.2	0.04%	0.24%
	F04-2	19.8	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	353	410	630	620	533	348	9.3	0.03%	0.27%
	F04-1	19.8	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	353	410	630	620	533	1731	46.2	0.13%	0.40%
	CAVIDOTTO ESTERNO	19.8	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	353	410	630	620	533	19321	515.3	1.43%	1.83%



REGIONE CAMPANIA - PROVINCIA DI AVELLINO - COMUNE DI FRIGENTO  
 PROGETTO DEFINITIVO  
 Parco Eolico "Taverna del Principe"  
 Relazione tecnica dei sistemi elettrici

2	F05-2	6.6	1	1.2	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	118	118	240	370	370	407	7.2	0.02%	0.02%
	F04-2	6.6	1	1.2	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	118	118	240	370	370	348	6.2	0.02%	0.04%
	F04-1	13.2	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	235	274	630	620	533	1731	30.8	0.09%	0.12%
	F06-1	13.2	1	1.2	1.0 0	1.0 0	1.0 0	1.0 0	235	235	630	620	620	241	3.7	0.01%	0.13%
	F06-1	19.8	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	353	410	630	620	533	241	6.4	0.02%	0.15%
	CAVIDOTTO ESTERNO	19.8	2	1.2	1.0 0	0.8 6	1.0 0	1.0 0	353	410	630	620	533	19321	515.3	1.43%	1.58%



## 4 Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche di protezione contro i fulmini, con l'individuazione e la classificazione del volume da proteggere

Nel presente capitolo si effettua la valutazione del rischio di fulminazione delle strutture facenti parte dell'impianto eolico in oggetto, con riferimento al rischio di perdita di vita umana. Il calcolo non tiene conto del fatto che l'area in esame, data la sua collocazione, è caratterizzata da una scarsa presenza di persone, che di fatto riduce la probabilità di danno a valori inferiori a quelli risultanti dall'applicazione della suddetta procedura.

### 4.1 Individuazione delle strutture da proteggere

Le strutture da installare all'interno dell'impianto eolico consistono in:

- aerogeneratori comprendenti al loro interno tutte le apparecchiature elettriche
- nuovo impianto di trasformazione MT/AT

Per tali strutture si è proceduto al calcolo del solo rischio di perdita di vite umane (rischio di tipo 1), secondo quanto previsto dalla Norma CEI EN 62305-2.

### 4.2 Calcolo delle componenti di rischio

L'impostazione della valutazione del rischio secondo la Norma CEI EN 62305-2 si basa sulle seguenti definizioni:

Sorgenti di danno

- S1: fulmine sulla struttura
- S2: fulmine in prossimità della struttura
- S3: fulmine sulla linea
- S4: fulmine in prossimità della linea

Tipo di danno

- D1: danno ad esseri viventi per elettrocuzione
- D2: danno materiale
- D3: guasto di impianti elettrici ed elettronici

Tipo di perdita

- L1: perdita di vite umane, alla quale è associato il rischio R1
- L2: perdita di servizio pubblico, alla quale è associato il rischio R2
- L3: perdita di patrimonio culturale insostituibile, alla quale è associato il rischio R3
- L4: perdita economica, alla quale è associato il rischio R4

Nel presente documento si fa riferimento alla sola perdita di vite umane (L1), in quanto le altre non sono di interesse per il caso specifico.

Componenti di rischio





Le singole componenti di rischio definite nella suddetta norma sono le seguenti:

#### Sorgente S1

- RA = componente relativa ai danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta a tensioni di contatto e di passo all'interno della struttura e all'esterno in zone fino a 3 m attorno alle calate.
- RB = componente relativa ai danni materiali causati da scariche pericolose all'interno della struttura che innescano l'incendio e l'esplosione e che possono anche essere pericolose per l'ambiente.
- RC = componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP (impulso elettromagnetico del fulmine)

#### Sorgente S2

- RM = componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP (impulso elettromagnetico del fulmine)

#### Sorgente S3

RU = componente relativa ai danni ad esseri viventi dovuti a tensioni di contatto all'interno della struttura dovuta alla corrente di fulmine iniettata nella linea entrante nella struttura stessa.

RV = componente relativa ai danni materiali (incendio o esplosione innescati da scariche pericolose fra installazioni esterne e parti metalliche, generalmente nel punto d'ingresso della linea nella struttura) dovuti alla corrente di fulmine trasmessa attraverso la linea entrante.

RW = componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura.

#### Sorgente S4

RZ = componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura.

La Tabella seguente della Norma, di seguito riportata, associa le componenti di rischio ai rischi relativi a ciascun tipo di perdita.

Sorgente di danno	Fulminazione diretta della struttura (S1)			Fulminazione in prossimità della struttura (S2)	Fulminazione diretta di una linea entrante (S3)	Fulminazione in prossimità di una linea entrante (S4)		
	R <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>	R <sub>C</sub>	R <sub>M</sub>	R <sub>U</sub>	R <sub>V</sub>	R <sub>W</sub>	R <sub>Z</sub>
Componente di rischio								
Rischio per ciascun tipo di perdita								
R1	X	X	X <sup>(1)</sup>	X <sup>(1)</sup>	X	X	X <sup>(1)</sup>	X <sup>(1)</sup>
R2		X	X	X		X	X	X
R3		X				X		
R4	X <sup>(2)</sup>	X	X	X	X <sup>(2)</sup>	X	X	X

<sup>(1)</sup> Solo nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture, in cui i guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana

<sup>(2)</sup> Soltanto in strutture ad uso agricolo in cui si può verificare la perdita di animali



Nel caso in esame, ove è di interesse il solo rischio R1 si ha pertanto:

$$R_1 = R_A + R_U + R_B + R_V$$

Il calcolo delle componenti di rischio è effettuato con le seguenti formule:

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \text{ dove: } L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$$

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \text{ dove: } L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760$$

$$R_U = (N_L + N_{Dj}) \times P_U \times L_U \text{ dove: } L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760$$

$$R_V = (N_L + N_{Dj}) \times P_V \times L_V \text{ dove: } L_U = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760 \text{ e}$$

dove:

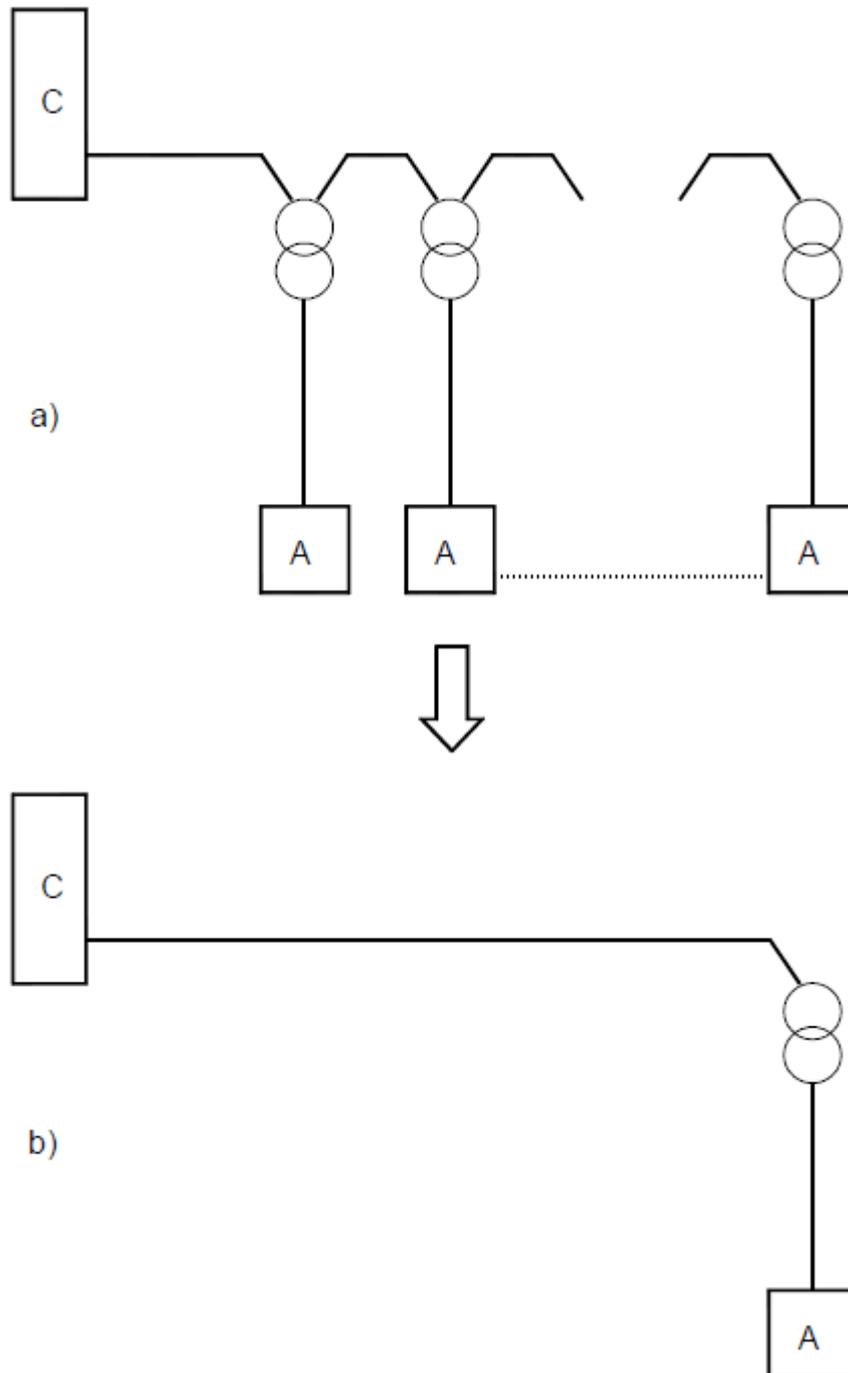
- $N_D$  = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura
- $N_L$  = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta di una linea
- $N_{Dj}$  = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente
- $P_A$  = probabilità di danno ad esseri viventi (fulminaz. sulla struttura)
- $P_B$  = probabilità di danno materiale in una struttura (fulminaz. sulla struttura)  $P_U$  = probabilità di danno ad esseri viventi (fulminaz. sul servizio connesso)
- $P_V$  = probabilità di danno materiale in una struttura (fulminaz. sul servizio connesso)
- $L_T$  = percentuale media di vittime per elettrocuzione (D1) causato da un evento pericoloso
- $L_F$  = percentuale media di vittime per danno materiale (D2) causato da un evento pericoloso
- $r_t$  = fattore di riduzione dipendente dal tipo di terreno o pavimentazione
- $r_p$  = fattore di riduzione delle perdite correlato alle misure antincendio
- $r_f$  = fattore di riduzione delle perdite correlato al carico di incendio
- $h_z$  = fattore che incrementa le perdite in presenza di pericoli particolari  $n_z$  = numero delle persone nella zona
- $n_t$  = numero di persone nella struttura
- $t_z$  = tempo in ore all'anno per cui le persone sono presenti nella zona

Individuazione delle strutture da proteggere e delle linee ad esse collegate

Per l'impianto in oggetto le strutture da proteggere sono le seguenti:

- Aerogeneratori (A)
- Stazione elettrica SSE AT/MT (C)

Il collegamento tra tali strutture è schematizzato nella seguente figura seguente: si nota la presenza di un trasformatore (MT/BT) in corrispondenza dell'arrivo di ciascun aerogeneratore



Sulla base delle caratteristiche delle strutture in esame e delle modalità di collegamento tra di esse si può affermare quanto segue:

- relativamente agli aerogeneratori, la componente  $N_{Da}$  che tiene conto del rischio di danno materiale causato da un fulmine che colpisce la struttura connessa a quella in esame, può ritenersi nullo, in quanto gli aerogeneratori sono tra loro separati da due trasformatori. Pertanto, ai fini del calcolo del rischio dovuto a fulminazione indiretta lo schema equivalente da considerare è quello di figura (b), dove sono state trascurate le connessioni fra aerogeneratori;



- relativamente alla cabina di consegna, la linea che alimenta il sottocampo, ai fini del calcolo della probabilità di fulminazione indiretta tale linea è schematizzata come un'unica linea equivalente;
- ai fini del calcolo delle probabilità PU e PV, per tale linea è stata considerata cautelativamente una tensione di tenuta all'impulso  $U_m = 6 \text{ kV}$ , anche se, la loro tensione di tenuta all'impulso è senz'altro maggiore;
- sempre ai fini del calcolo delle probabilità PU e PV, tale linea è caratterizzata da uno schermo avente resistenza  $1 < R_s < 5 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;
- coefficienti di installazione CI delle linee sopra dette, riportati in tabella A.2 (Norma CEI 81-10), sono riferiti a  $\rho = 400 \text{ } \Omega\text{m}$ .

I parametri di base assunti per il calcolo del rischio di fulminazione sono i seguenti (desunti da una banca dati europea conforme alla guida CEI 81-30):

- $N_g = 1.80 \text{ fulmini/anno/km}^2$  – area parco eolico;
- $N_g = 2.00 \text{ fulmini/anno/km}^2$  – area SET.

Tipi di struttura: Struttura di tipo industriale

Tipo di suolo fino a 5m di distanza dalla struttura:

- SSE AT/MT: cemento
- Aerogeneratori: vegetale

Rischio di incendio:

- Aerogeneratori: ordinario
- Cabina di consegna: ordinario

Rischio ammissibile:  $10^{-5}$  (n° morti/anno)

Coefficiente di posizione delle strutture:

- SSE AT/MT:  $C_d = 1$  (struttura isolata)
- Aerogeneratori:  $C_d = 2$  (struttura isolata sulla cima di una collina).

Sulla base dei risultati ottenuti attraverso l'utilizzo di apposito software (Impiantus - Fulmini ACCA Software) si può concludere che le strutture non autoprotette sono gli aerogeneratori, a causa dell'elevata componente di rischio RA.

Per la SSE AT/MT il rischio ottenuto è inferiore al valore limite, nonostante le numerose ipotesi cautelative assunte per i calcoli.

Per quanto riguarda gli aerogeneratori, per ridurre la componente di rischio RA, secondo la Tabella B.2 della Norma verrà adottato un LPS di classe I unito ad un adeguato sistema disperdente per limitare le tensioni di passo e contatto.

In tal modo i nuovi valori del rischio calcolato R saranno compatibili con la normativa di settore.

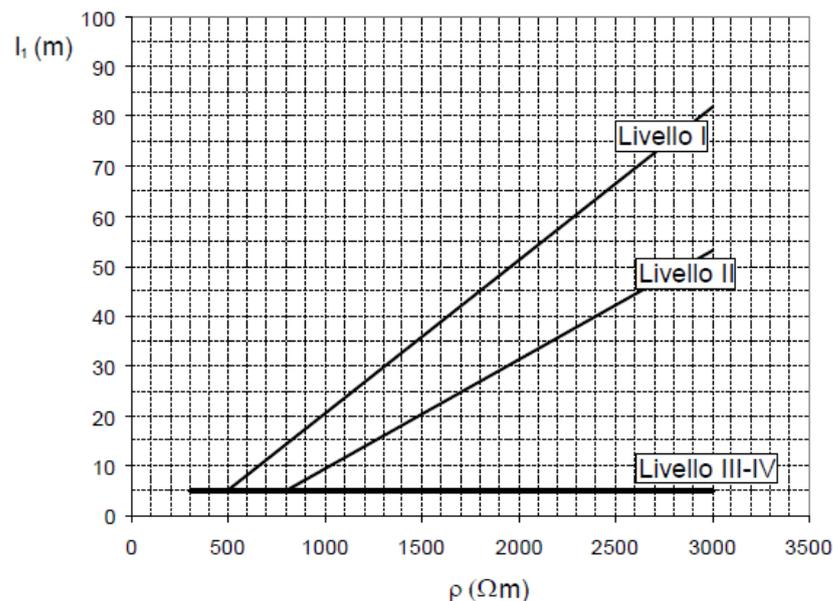
## 4.3 Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini

La verifica si riferisce al dispersore dell'aerogeneratore il quale dovrà assolvere agli scopi di protezione contro i contatti indiretti e di protezione contro le scariche atmosferiche (LPS).

Il dispersore sarà posato intorno alla struttura dell'aerogeneratore e sarà formato da almeno quattro anelli di cui tre posati sopra la fondazione ed uno annegato all'interno della stessa. Gli anelli saranno collegati tra loro nel collettore principale.

Con riferimento alla Norma CEI EN 62305-3 il dispersore d'impianto è di tipo B; appartengono a questo tipo di dispersore sia quello ad anello esterno alla struttura in contatto con il suolo per almeno l'80% della sua lunghezza totale, sia il dispersore di fondazione. Nel caso in esame, l'anello che circonda il basamento del sostegno di ogni singolo aerogeneratore dovrà essere tale che, il raggio  $r$  del cerchio equivalente all'area racchiusa dallo stesso dispersore ad anello, non risulti essere inferiore al valore di  $l_1$  rilevato dal grafico riportato nella figura seguente (vedi Fig.2 par.5.4.2.1 Norma CEI EN 62305-3), secondo i livelli di protezione I, II, III, IV rispettivamente.

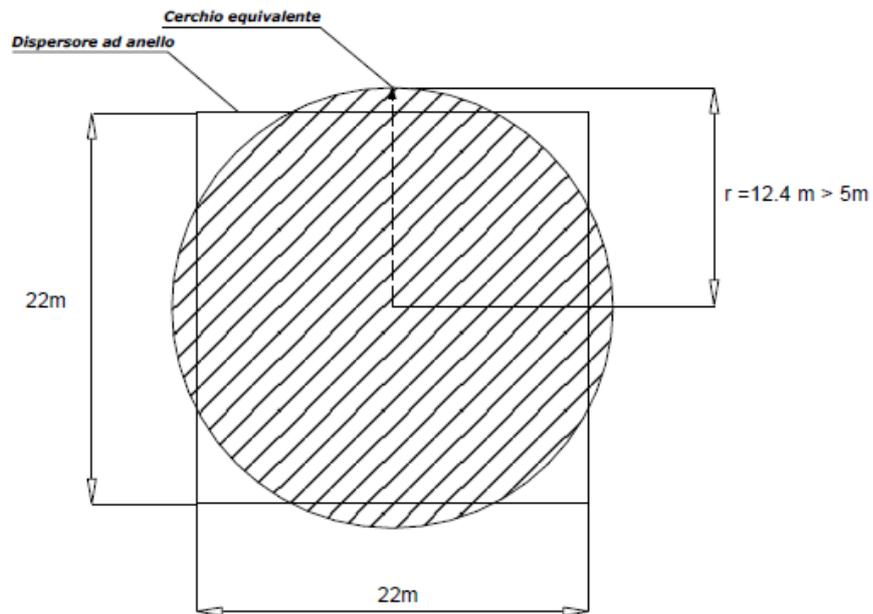
Nel caso in oggetto, poiché il LPS è di livello I nel caso dell'aerogeneratore e la resistività del suolo è pari a  $100 \Omega\text{m}$ , si ha di  $l_1 = 5 \text{ m}$ .



Lunghezza minima degli elementi del dispersore in funzione dei livelli di protezione (il III e IV sono indipendenti dalla resistività del suolo)  
Dovrà essere pertanto:

$$r \geq 5 \text{ m}$$

Nel caso dell'aerogeneratore risulta che il raggio del cerchio equivalente all'area del dispersore di terra dell'aerogeneratore misura 13 m circa, pertanto è conforme alla suddetta prescrizione normativa.



Raggio del cerchio equivalente all'area del dispersore ad anello tipo "B" di ogni singolo aerogeneratore