



PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Gualdo Tadino" con potenza di immissione in rete pari a 62 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Gualdo Tadino e Nocera Umbra (PG)

Titolo elaborato

Relazione tecnica dei sistemi elettrici

Codice elaborato

F0589AR06A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

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)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Stefania CONTE
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA
Ing. Federica COLANGELO
Arch. Gaia TELESCA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Committente



RENEXIA S.p.a.

Viale Abruzzo 410, 66010 Chieti

| Data | Descrizione | Redatto | Verificato | Approvato |
|--------------|-----------------|---------|------------|-----------|
| Ottobre 2023 | Prima emissione | SCO | GMA | GDS |
| | | | | |
| | | | | |

File sorgente: F0589AR06A - Relazione tecnica dei sistemi elettrici.docx

Sommario

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Informazioni essenziali | 3 |
| 2 | Schema di connessione alla RTN | 4 |
| 2.1 | Cavidotti | 4 |
| 2.2 | Impianto elettrico | 7 |
| 3 | Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche di protezione contro i fulmini, con l'individuazione e la classificazione del volume da proteggere | 17 |
| 3.1 | Individuazione delle strutture da proteggere | 17 |
| 3.2 | Calcolo delle componenti di rischio | 17 |
| 3.3 | Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini | 22 |

1 Informazioni essenziali

| | |
|--|----------------------|
| Potenza nominale aerogeneratore | 6.2 MW |
| Diametro rotore | 170 m |
| Altezza hub | 115 m |
| Altezza totale | 200 m |
| Area spazzata | 22698 m ² |
| Direzione rotazione | Senso orario |
| Numero di pale | 3 |

2 Schema di connessione alla RTN

La Soluzione Tecnica Minima Generale elaborata prevede che la centrale venga collegata in antenna a 36 kV su una nuova stazione elettrica (SE) 132/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce alla linea a 132 kV RTN "Nocera Umbra - Gualdo Tadino".

In particolare, l'energia prodotta dagli aerogeneratori del parco in oggetto verrà convogliata tramite un cavidotto interrato a 36 kV (soluzione tecnica minima generale STMG - codice pratica del preventivo di connessione 202100615).

2.1 Cavidotti

L'energia prodotta dai singoli aerogeneratori del parco eolico verrà trasportata ed immessa nella RTN tramite linee a 36kV interrate ubicate sfruttando per quanto possibile in fregio alla 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.

All'interno del generatore eolico, la tensione BT a 0.690 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 (0.690 kV) proveniente dal generatore-convertitore;
- il trasformatore elevatore BT/AT (0.069/36 kV);
- la cella (36 kV) per la partenza verso i quadri di macchina e da lì verso la Stazione di trasformazione RTN.
- Gli aerogeneratori del campo saranno suddivisi in 4 circuiti (o sottocampi) così costituiti:
 - Sottocampo 1: 6.2 x 2 = 12.4 MW (WTG10-WTG09-RTN);
 - Sottocampo 2: 6.2 x 3 = 18.6 MW (WTG08-WTG07-WTG06-RTN);
 - Sottocampo 3: 6.2 x 3 = 18.6 MW (WTG04-WTG05-WTG03-RTN);
 - Sottocampo 4: 6.2 x 2 = 12.4 MW (WTG01-WTG02-RTN)

La rete elettrica a 36kV sarà realizzata con posa completamente interrata 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 a 36kV a mezzo di collegamenti del tipo "entra-esce".

Il percorso del collegamento del Parco Eolico alla RTN 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 36 kV, di lunghezza totale pari a circa 19,8 km, sarà realizzata per mezzo di cavi del tipo ARE4H5EE 20,8/36k 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 50 mm² 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 120 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 variabile compresa tra 50 cm e 1m (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.

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 N/mm² 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 cabina di raccolta, 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.

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.

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:

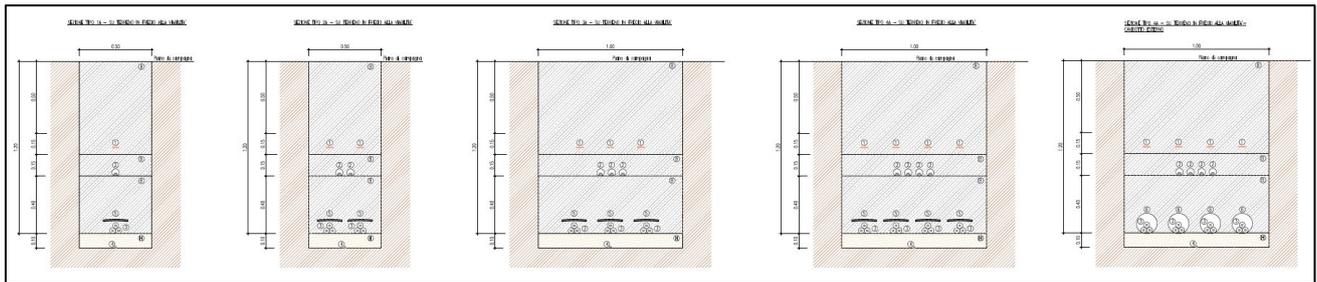


Figura 1: sezioni tipologiche cavidotto su terreno in fregio alla viabilità

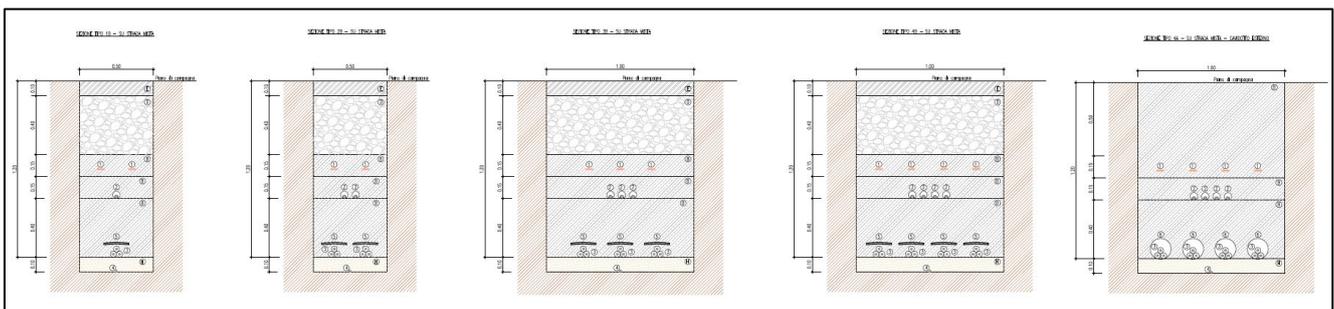


Figura 2: sezioni tipologiche del cavidotto su strada mista

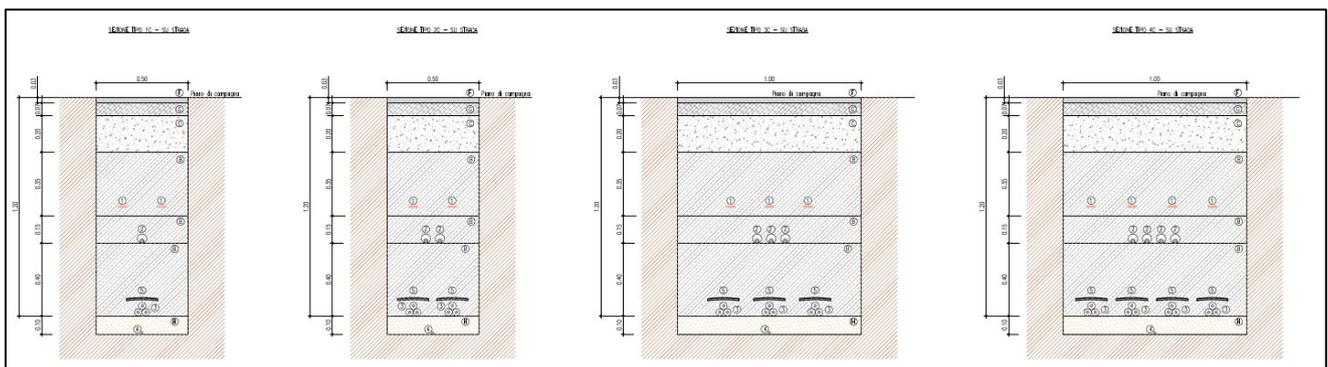


Figura 3: sezioni tipologiche cavidotto su strada

Tabella 1: legenda sezioni cavidotto

| LEGENDA | |
|---|------------------------------------|
| (A) Beola in cls | (H) Sabbia # 0-3 mm |
| (B) Rinferto con terreno proveniente dagli scavi | (1) Nastro monitor |
| (C) Conglomerato cementizio C 15/25 | (2) Fibra ottica in tubazione # 50 |
| (D) Pietrino ϕ 70-120 mm | (3) Cavi MT |
| (E) Stabilizzato ϕ 0-25 mm | (4) Cavo di terra |
| (F) Conglomerato bituminoso - Strato di base | (5) Tegoline di protezione |
| (G) Conglomerato bituminoso - Strato di collegamento (Bynder) | (6) Corrugato |

2.2 Impianto elettrico

I cavi principali 36kV 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 media tensione a 36 kV saranno in alluminio di tipo unipolare e/o unipolare avvolto ad elica del tipo ARE4H5EE 20,8/36k 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 35027 fasc. 9738 "Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV. Portata di corrente in regime permanente – Posa in aria ed

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.

$$I_z = I_0 \times k$$

Dove:

I_0 = portata per posa interrata per cavi di tipo ARE4H5EE con resistività terreno 1,5 K m/W;

k = prodotto di opportuni coefficienti di correzione, ovvero:

K_{tt} = fattore di correzione per posa interrata e temperature diverse da 20 °C;

K_d = fattore di correzione per spaziatura tra cavi tripolari pari a 250 mm;

K_p = fattore di correzione per profondità di posa diversi da 0.8 m (cavi direttamente interrati);

K_r = fattore di correzione per valori di resistività termica diversa da 1,5 Km/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.

Nell'elaborato: "Planimetria del tracciato dell'elettrodotto con indicazione delle interferenze" è possibile visualizzare graficamente il percorso dei quattro circuiti.

Tabella 2: perdita di tensione nei cavi e calcolo portata – Circuito 1

| CIRCUITO 1 | | | cavidotto interno | | | | | | | | cavidotto esterno | |
|------------------------|----------------|-----------------|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | WTG10-2 | 2-WTG09 | 2-6 | 6-9 | 9-10 | 10-12 | 12-14 | 14-16 | 16-21 | 11-RTN |
| | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare | RAME ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| Tensione nominale | Vn | kV | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | Cos | fi | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | Sin | fi | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Potenza nominale | Pn | MW | 6,20 | 12,40 | 12,40 | 12,40 | 12,40 | 12,40 | 12,40 | 12,40 | 12,40 | 12,40 |
| Corrente di impiego | I _b | A | 110,48 | 220,96 | 220,96 | 220,96 | 220,96 | 220,96 | 220,96 | 220,96 | 220,96 | 220,96 |
| sezione cavo | S | mm ² | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Lunghezza linea | L | m | 1 677 | 682 | 1 940 | 901 | 707 | 1 034 | 478 | 806 | 1 729 | 1.813 |
| Resistenza della linea | R _L | Ω / km | 0,125 | 0,125 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,075 |
| Reattanza della linea | X _L | Ω / km | 0,116 | 0,116 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 | 0,120 |
| Caduta di tensione | ΔV | V | 52,3 | 42,6 | 89,2 | 41,4 | 32,5 | 47,6 | 22,0 | 37,1 | 79,5 | 83,4 |
| | ΔV | % | 0,15% | 0,12% | 0,25% | 0,12% | 0,09% | 0,13% | 0,06% | 0,10% | 0,22% | 0,23% |
| PORTATA | | | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO |
| Materiale isolamento | | | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR |

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Gualdo Tadino" con potenza di immissione in rete pari a 62 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Gualdo Tadino e Nocera Umbra (PG)

Relazione tecnica dei sistemi elettrici

| CIRCUITO 1 TIPO CAVO | | | cavidotto interno | | | | | | | | cavidotto esterno | |
|-------------------------|-------|-----------|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | WTG10-2 | 2-WTG09 | 2-6 | 6-9 | 9-10 | 10-12 | 12-14 | 14-16 | 16-21 | 11-RTN |
| | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare | RAME ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| Portata nominale | I_0 | A | 370 | 370 | 370 | 370 | 370 | 370 | 370 | 370 | 370 | 370 |
| Temperatura terreno | T | °C | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| terne | | nr | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | |
| distanza | | m | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | |
| Profondità di posa | | m | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | |
| Resistività termica | | K*m/ W | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | |
| Fattori di correzione | | | | | | | | | | | | |
| K1 | ktt | | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| K2 | kd | | 1,00 | 0,92 | 1,00 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,80 |
| K3 | kp | | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| K4 | kr | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Portata cavo | I_c | A | 330 | 304 | 330 | 304 | 304 | 304 | 278 | 278 | 278 | 264 |

Tabella 3: perdita di tensione nei cavi e calcolo portata – Circuito 2

| CIRCUITO 2 | | | cavidotto interno | | | | | | | | cavidotto esterno | |
|------------------------|----------------|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | WTG08-6 | 6-9 | 9-WTG07 | 9-10 | 10-WTG06 | 10-12 | 12-14 | 14-16 | 16-21 | 11-RTN |
| | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| Tensione nominale | Vn | kV | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | Cos | fi | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | Sin | fi | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Potenza nominale | Pn | MW | 6,20 | 6,20 | 12,40 | 12,40 | 18,60 | 18,60 | 18,60 | 18,60 | 18,60 | 18,60 |
| Corrente di impiego | I _b | A | 110,48 | 110,48 | 220,96 | 220,96 | 331,44 | 331,44 | 331,44 | 331,44 | 331,44 | 331,44 |
| sezione cavo | S | mm ² | 240 | 240 | 240 | 240 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Lunghezza linea | L | m | 14 | 901 | 19 | 707 | 733 | 1 034 | 478 | 806 | 1 729 | 1.813 |
| Resistenza della linea | R _l | Ω / km | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,061 | 0,061 | 0,061 | 0,061 | 0,061 | 0,061 |
| Reattanza della linea | X _l | Ω / km | 0,116 | 0,116 | 0,116 | 0,116 | 0,104 | 0,104 | 0,104 | 0,104 | 0,104 | 0,104 |
| Caduta di tensione | ΔV | V | 0,4 | 28,1 | 1,2 | 44,1 | 42,0 | 59,2 | 27,4 | 46,2 | 99,0 | 103,9 |
| | ΔV | % | 0,00% | 0,08% | 0,00% | 0,12% | 0,12% | 0,16% | 0,08% | 0,13% | 0,28% | 0,29% |
| PORTATA | | | VERIFICATO |
| Materiale isolamento | | | EPR |

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Gualdo Tadino" con potenza di immissione in rete pari a 62 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Gualdo Tadino e Nocera Umbra (PG)

Relazione tecnica dei sistemi elettrici

| CIRCUITO 2 TIPO CAVO | | | cavidotto interno | | | | | | | | cavidotto esterno | |
|-------------------------|-------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | WTG08-6 | 6-9 | 9-WTG07 | 9-10 | 10-WTG06 | 10-12 | 12-14 | 14-16 | 16-21 | 11-RTN |
| | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| Portata nominale | I_0 | A | 370 | 370 | 370 | 370 | 545 | 545 | 545 | 545 | 545 | 545 |
| Temperatura terreno | T | °C | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| terne | | nr | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| distanza | | m | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Profondità di posa | | m | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Resistività termica | | K*m/ W | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Fattori di correzione | | | | | | | | | | | | |
| K1 | kt | | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| K2 | kd | | 1,00 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,80 |
| K3 | kp | | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| K4 | kr | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Portata cavo | I_c | A | 330 | 304 | 304 | 304 | 448 | 448 | 409 | 409 | 409 | 389 |

Tabella 4: perdita di tensione nei cavi e calcolo portata – Circuito 3

| CIRCUITO 3 | | | cavidotto interno | | | | | | cavidotto esterno |
|------------------------|----------------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | WTG04-12 | 12-14 | 14-WTG05 | 14-16 | 16-WTG03 | 16-21 | 11-RTN |
| | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| TIPO CAVO | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Tensione nominale | Vn | kV | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | |
| | Cosfi | | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | |
| | Sinfi | si | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | |
| Potenza nominale | Pn | MW | 6,20 | 6,20 | 12,40 | 12,40 | 18,60 | 18,60 | |
| Corrente di impiego | I _b | A | 110,48 | 110,48 | 220,96 | 220,96 | 331,44 | 331,44 | |
| sezione cavo | S | mm ² | 240 | 240 | 240 | 240 | 500 | 500 | |
| Lunghezza linea | L | m | 833 | 478 | 284 | 806 | 453 | 1 729 | |
| Resistenza della linea | R _L | Ω / km | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,061 | 0,061 | |
| Reattanza della linea | X _L | Ω / km | 0,116 | 0,116 | 0,116 | 0,116 | 0,104 | 0,104 | |
| Caduta di tensione | ΔV | V | 26,0 | 14,9 | 17,7 | 50,3 | 26,0 | 99,0 | |
| | ΔV | % | 0,07% | 0,04% | 0,05% | 0,14% | 0,07% | 0,28% | |
| PORTATA | | | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | |
| Materiale isolamento | | | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR | EPR | |

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Gualdo Tadino" con potenza di immissione in rete pari a 62 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Gualdo Tadino e Nocera Umbra (PG)

Relazione tecnica dei sistemi elettrici

| CIRCUITO 3 TIPO CAVO | | | cavidotto interno | | | | | | cavidotto esterno |
|-------------------------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | WTG04-12 | 12-14 | 14-WTG05 | 14-16 | 16-WTG03 | 16-21 | 11-RTN |
| | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| Portata nominale | I_0 | A | 370 | 370 | 370 | 370 | 545 | 545 | 545 |
| Temperatura terreno | T | °C | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| terne | | nr | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| distanza | | m | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Profondità di posa | | m | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Resistività termica | | K*m/W | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Fattori di correzione | | | | | | | | | |
| K1 | ktt | | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| K2 | kd | | 1,00 | 0,84 | 0,92 | 0,84 | 0,92 | 0,84 | 0,80 |
| K3 | kp | | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| K4 | kr | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Portata cavo | I_c | A | 330 | 278 | 304 | 278 | 448 | 409 | 389 |

Tabella 5: perdita di tensione nei cavi e calcolo portata – Circuito 4

| CIRCUITO 4 | | | cavidotto interno | | | Cavidotto esterno |
|------------------------|----------------|-----------------|---|---|---|---|
| | | | WTG01-24 | 24-WTG02 | 24-21 | 11-RTN |
| TIPO CAVO | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| Tensione nominale | Vn | kV | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | Cosfi | | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | Sinfi | si | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Potenza nominale | Pn | MW | 6,20 | 12,40 | 12,40 | 12,40 |
| Corrente di impiego | I _b | A | 110,48 | 220,96 | 220,96 | 220,96 |
| sezione cavo | S | mm ² | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Lunghezza linea | L | m | 2 100 | 449 | 2 894 | 1813 |
| Resistenza della linea | R _L | Ω / km | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 |
| Reattanza della linea | X _L | Ω / km | 0,116 | 0,116 | 0,116 | 0,116 |
| Caduta di tensione | ΔV | V | 65,5 | 28,0 | 180,6 | 113,1 |
| | ΔV | % | 0,18% | 0,08% | 0,50% | 0,09% |
| PORTATA | | | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO | VERIFICATO |

| CIRCUITO 4 TIPO CAVO | | | cavidotto interno | | | Cavidotto esterno |
|------------------------------|-------|-------|---|---|---|---|
| | | | WTG01-24 | 24-WTG02 | 24-21 | 11-RTN |
| | | | ALLUMINIO ARE4H5EE - 20,8/36 kV unipolare |
| Materiale isolamento | | | EPR | EPR | EPR | EPR |
| Portata nominale | I_0 | A | 370 | 370 | 370 | 370 |
| Temperatura terreno | T | °C | 25 | 25 | 25 | 25 |
| terne | | nr | 1 | 2 | 1 | 4 |
| distanza | | m | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Profondità di posa | | m | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Resistività termica | | K*m/W | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Fattori di correzione | | | | | | |
| K1 | ktt | | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| K2 | kd | | 1,00 | 0,92 | 1,00 | 0,80 |
| K3 | kp | | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| K4 | kr | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Portata cavo | I_z | A | 330 | 304 | 330 | 264 |

3 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.

3.1 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

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.

3.2 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 _A | R _B | R _C | R _M | R _U | R _V | R _W | R _Z |
| Componente di rischio | | | | | | | | |
| Rischio per ciascun tipo di perdita | | | | | | | | |
| R1 | X | X | X ⁽¹⁾ | X ⁽¹⁾ | X | X | X ⁽¹⁾ | X ⁽¹⁾ |
| R2 | | X | X | X | | X | X | X |
| R3 | | X | | | | X | | |
| R4 | X ⁽²⁾ | X | X | X | X ⁽²⁾ | X | X | X |

⁽¹⁾ 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

⁽²⁾ 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:

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

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

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

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

dove:

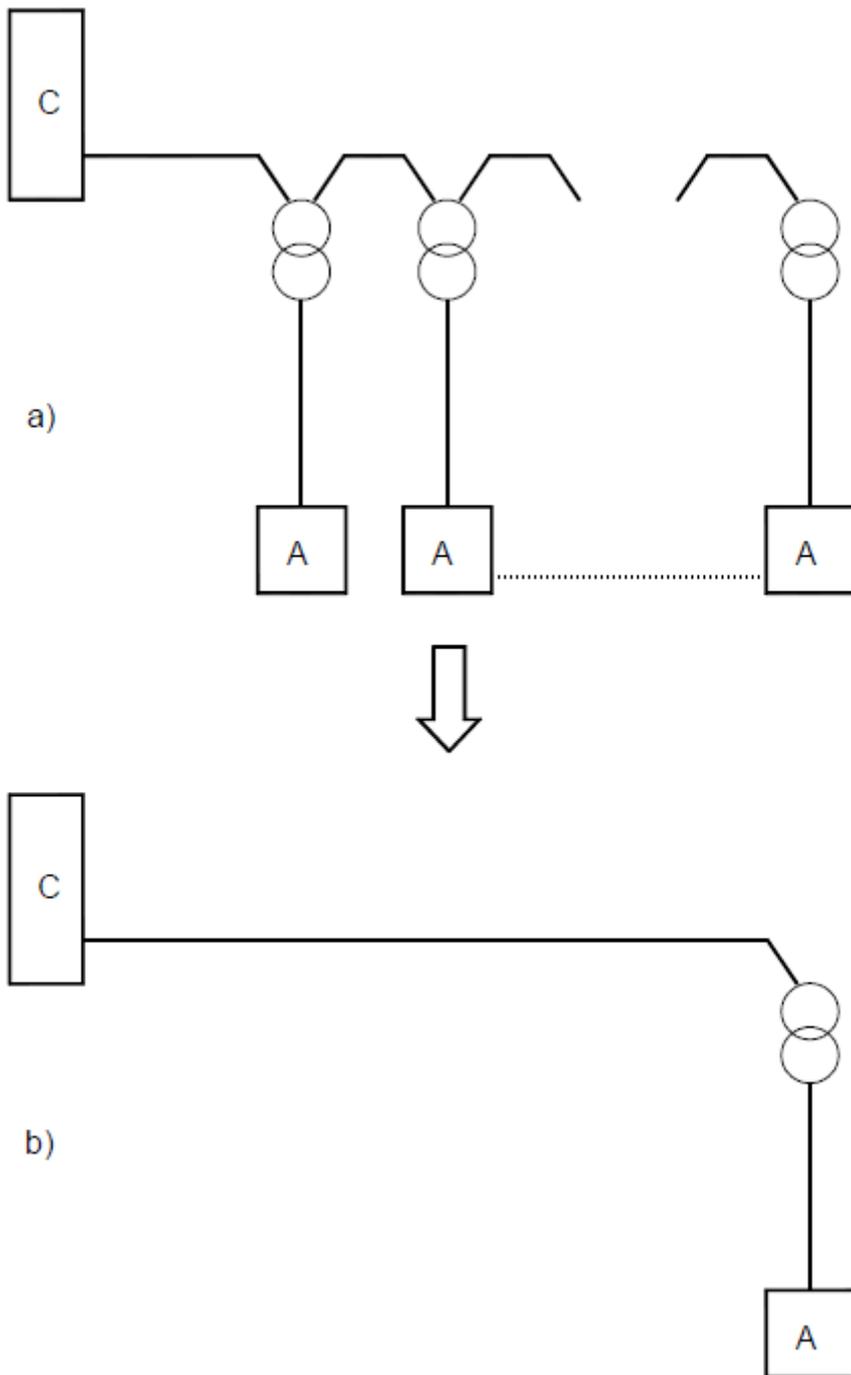
- N_D = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura
- N_L = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta di una linea
- N_{Dj} = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente
- P_A = probabilità di danno ad esseri viventi (fulminaz. sulla 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)
- Cabina di Raccolta(C)

Il collegamento tra tali strutture è schematizzato nella seguente figura seguente: si nota la presenza di un trasformatore (AT (36 kV)/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 raccolta, 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 cabina di raccolta

Tipi di struttura: Struttura di tipo industriale

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

- Cabina di Raccolta: cemento
- Aerogeneratori: vegetale

Rischio di incendio:

- Aerogeneratori: ordinario
- Cabina di raccolta: ordinario

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

Coefficiente di posizione delle strutture:

- Cabina di raccolta: $C_d = 1$ (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 cabina di raccolta 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.

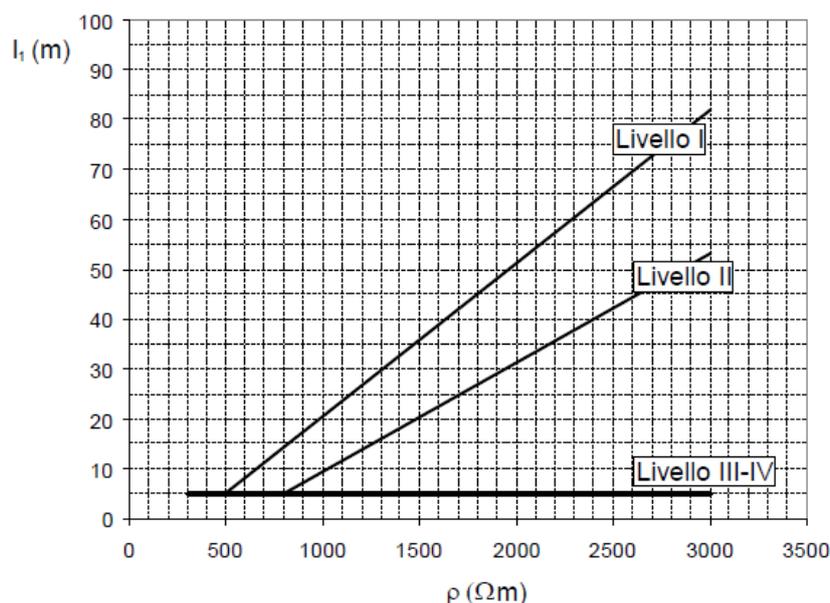
3.3 Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini

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 $100 \Omega m$, si ha di $l_1 = 5 m$.

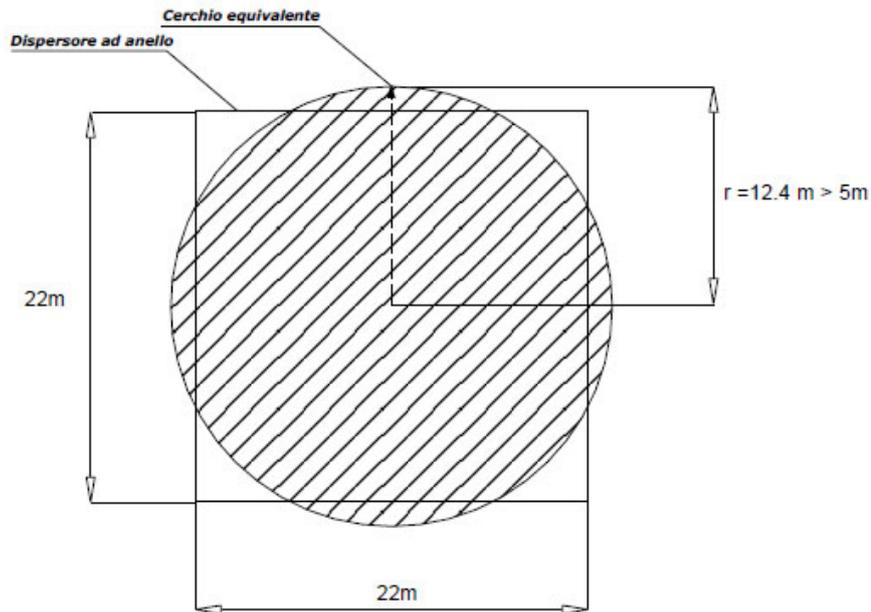


Lunghezza minima degli elementi del dispersore in funzione dei livelli di protezione (il III e IV sono indipendenti dalla resistività del suolo)

Dovrà essere pertanto:

$$r \geq 5 m$$

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