



OTTOBRE 2022

**Sardeolica S.r.l. - Gruppo SARAS**  
**PARCO EOLICO ON-SHORE "ASTIA"**

**POTENZA NOMINALE 31,7 MWp**

**COMUNE DI VILLAMASSARGIA (Sulcis Iglesiente)**

**ELABORATO R16**  
**VERIFICA DELLE SCARICHE**  
**ATMOSFERICHE**

**Mantovana**

**Progettista**

*Ing. Laura Conti / Ordine Ing. Prov. Pavia n.1726*

**Coordinamento**

*Riccardo Festante*

*Eleonora Lamanna*

*Carla Marcis*

**Codice elaborato**

*2527-4953-VM\_VIA\_R16\_Rev0\_Verifica delle scariche  
atmosferiche.docx*

## Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2527-4953- VM_VIA_R16_Rev0_Verifica delle scariche atmosferiche.docx	31/10/2022	Prima emissione	AI	EL/CM	L. Conti

## Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Conti	Direttore Tecnico - Progettista	Ord. Ing. Prov. PV n. 1726
Riccardo Festante	Tecnico competente in acustica	ENTECA n. 3965
Eleonora Lamanna	Coordinamento Studi Specialistici, Studio di Impatto Ambientale	
Carla Marcis	Coordinamento Progettazione, Ingegnere per l'Ambiente ed il Territorio, Tecnico competente in acustica	Ord. Ing. Prov. CA n. 6664 – Sez. A ENTECA n. 4200
Ali Basharзад	Progettazione civile e viabilità	Ord. Ing. Prov. PV n. 2301
Massimiliano Kovacs	Geologo - Progettazione Civile	Ord. Geologi Lombardia n. 1021
Massimo Busnelli	Geologo – Progettazione Civile	
Giuseppe Ferranti	Architetto – Progettazione Civile	Ord. Arch. Prov. Palermo – Sez. A Pianificatore Territoriale n. 6328
Fabio Lassini	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	Ord. Ing. Prov. MI n. A29719
Vincenzo Gionti	Ingegnere Civile Ambientale – Progettazione Civile	
Lia Buvoli	Biologa – Esperto GIS – Esperto Ambientale	
Sonia Morgese	Ingegnere Civile Ambientale – Esperto Ambientale Idraulica Junior	
Lorenzo Griso	Esperto GIS - Esperto Ambientale Junior	

### Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156  
Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)





<i>Sara Zucca</i>	<i>Architetto – Esperto GIS - Esperto Ambientale</i>	
<i>Andrea Mastio</i>	<i>Ingegnere per l'Ambiente e il Territorio - Esperto Ambientale Junior</i>	
<i>Andrea Fronteddu</i>	<i>Ingegnere Elettrico – Progettazione Elettrica</i>	<i>Ord. Ing. Cagliari n. 8788 – Sez. A</i>
<i>Matthew Piscedda</i>	<i>Esperto in Discipline Elettriche</i>	
<i>Francesca Casero</i>	<i>Architetto – Esperto GIS - Esperto Ambientale Junior</i>	

**Montana S.p.A.**

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano  
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156  
Cap. Soc. 600.000,00 €

[www.montanambiente.com](http://www.montanambiente.com)



## INDICE

1. PREMESSA GENERALE .....	5
1.1 PRESENTAZIONE DEL PROGETTO.....	5
1.2 LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERVENTO.....	5
1.3 DATI GENERALI DEL PROGETTO .....	6
1.4 SCOPO DEL DOCUMENTO.....	7
1.5 GLOSSARIO DEI TERMINI.....	8
2. GENERALITÀ .....	10
2.1 TIPI DI PERDITA .....	11
2.2 RISCHIO E COMPONENTI DI RISCHIO.....	11
3. CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA .....	13
4. CARATTERISTICHE DELLE LINEE ENTRANTI.....	15
5. CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI INTERNI .....	17
SIMBOLO .....	17
6. SUDDIVISIONE IN ZONE DELLA STRUTTURA .....	18
7. NUMERO ANNUO ATTESO DI EVENTI PERICOLOSI PER LA STRUTTURA.....	19
8. VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER LA STRUTTURA NON PROTETTA .....	20
8.1 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA DI VITE UMANE R1.....	20
8.1.1 Conclusioni dal calcolo di R1 .....	22
8.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA ECONOMICA R4 .....	22
8.2.1 Conclusioni dal calcolo di R4 .....	25
9. MISURE DI PROTEZIONE ADOTTATE .....	26
9.1 MISURE PER LA PROTEZIONE CONTRO I FULMINI ESTERNA.....	26
9.1.1 Impianto di captazione e calata .....	26
9.1.2 Impianto di terra.....	27
9.2 PROTEZIONI CONTRO I FULMINI INTERNE .....	27
9.2.1 Protezioni sulle linee al passaggio tra LPZ 0 A e LPZ 1 e superiori .....	27
10. VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER LA STRUTTURA PROTETTA .....	30
10.1 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA DI VITE UMANE R1.....	30
10.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA ECONOMICA R4 .....	30
11. CONCLUSIONI.....	32

## 1. PREMESSA GENERALE

### 1.1 PRESENTAZIONE DEL PROGETTO

Il presente documento costituisce parte integrante del progetto definitivo per la realizzazione di un nuovo Parco eolico della potenza complessiva di 31,7 MW, che prevede l'installazione di 5 aerogeneratori (di cui 4 da 6,8 MW e 1 da 4,5 MW), nel territorio comunale di Villamassargia (Sulcis-Iglesiente), la realizzazione delle relative opere di connessione nei comuni di Villamassargia e Musei (cavidotto interrato e cabina di consegna), nonché la predisposizione della viabilità, delle opere di regimentazione delle acque meteoriche e delle reti tecnologiche a servizio del Parco.

La Società proponente è la Sardeolica S.r.l., con sede legale in VI strada Ovest, Z. I. Macchiareddu 09068 Uta (Cagliari) e sede amministrativa in Milano, c/o Saras S.p.A., Galleria Passarella 2, 20122 – Milano.

### 1.2 LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERVENTO

L'area oggetto di studio ricade nei comuni di Villamassargia (aerogeneratori, cavidotto interrato e cabina di smistamento) e Musei (cavidotto interrato e cabina di consegna), in un territorio caratterizzato da rilievi boscosi, tra la pianura campidanese e le aree montuose dell'Iglesiente. La successiva *Figura 1.1* illustra l'inquadramento territoriale dell'area di interesse su ortofoto.

I Comuni di Villamassargia e di Musei cadevano nella Provincia Sud Sardegna, secondo la riforma della L.R. n. 2 del 4 febbraio 2016 - "Riordino del sistema delle autonomie locali della Sardegna". La LR n.7 del 12 aprile 2021 riorganizza la Regione in 8 Province: Città metropolitana di Sassari, Città metropolitana di Cagliari, Nord-Est Sardegna, Ogliastra, Sulcis Iglesiente, Medio Campidano, Nuoro e Oristano; sulla base di questa legge il Comune di Villamassargia rientra nella Provincia Sulcis Iglesiente.

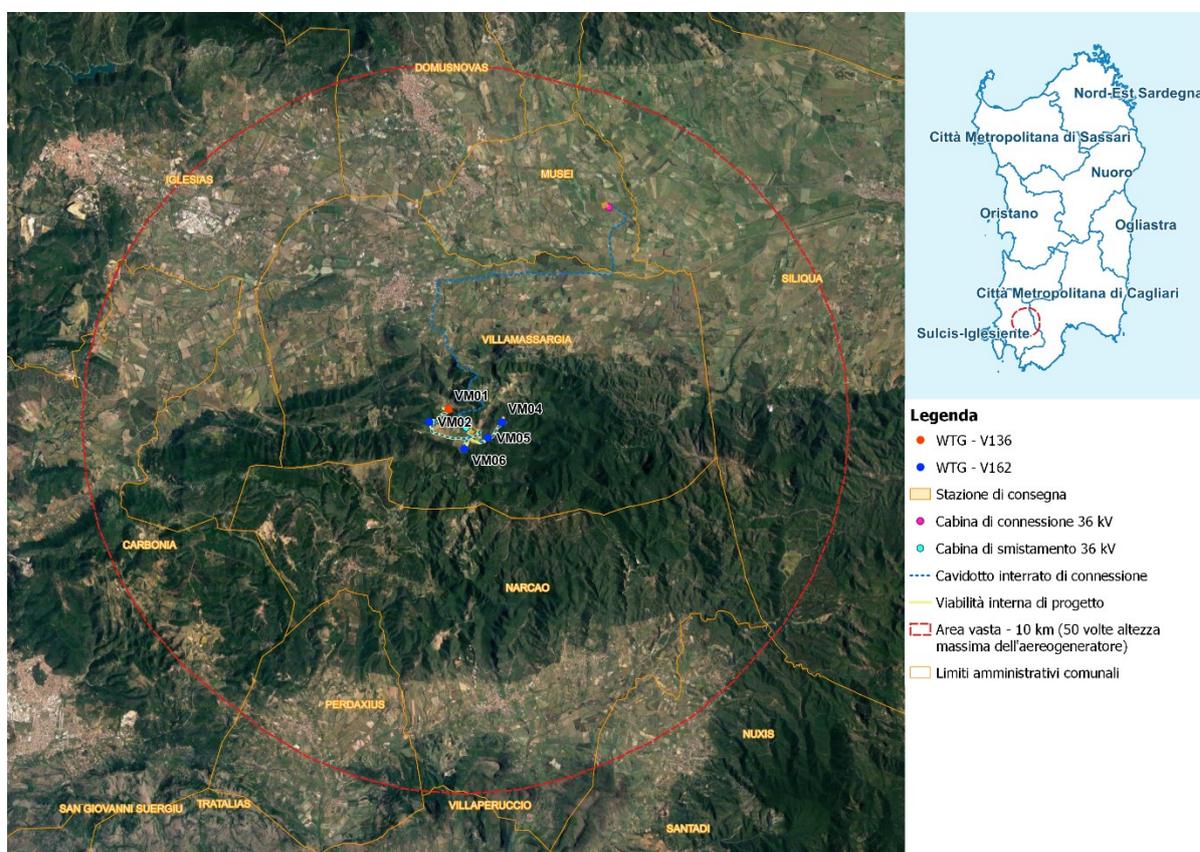


Figura 1.1: Inquadramento generale dell'area di progetto

Allo stato attuale, la Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) elaborata, prevede che l'impianto eolico venga collegato in antenna a 36 kV alla sezione 36 kV della Stazione Elettrica (SE) di successiva realizzazione, ipotizzata nel territorio comunale di Musei.

La connessione alla suddetta Stazione elettrica sarà realizzata mediante una linea elettrica 36 kV di circa 100 m in partenza da una cabina denominata di connessione e raccolta; a quest'ultima arriveranno le linee di alimentazione da una seconda cabina, detta di smistamento, in cavo interrato 36 kV posizionata ad una distanza di circa 14 km dalla prima. Alla cabina di smistamento arriveranno le linee a servizio delle WTG collegate tra loro in configurazione entra-esce.

### 1.3 DATI GENERALI DEL PROGETTO

Nella Tabella 1.1 sono riepilogati i dati principali del progetto, mentre in 1.3.2, in forma sintetica le principali caratteristiche tecniche dell'impianto e delle singole WTG che si prevede di installare.

Tabella 1.1: Dati di progetto

PARAMETRO	DESCRIZIONE
Richiedente	Sardegolica S.r.l.
Luogo installazione parco eolico	Territorio comunale di Villamassargia
Denominazione impianto	Astia
Potenza nominale parco eolico	31,7 MW
Numero aerogeneratori	5
Connessione	Interfacciamento alla rete mediante connessione in MT su stazione elettrica (SE) della RTN da realizzare (STMG prot. N. GRUPPO TERNA/P20210104707-23/12/2021)
Area interessata dall'intervento	Territori comunali di Villamassargia (WTG e opere di connessione) e Musei (opere di connessione)
Coordinate impianto (wgs84) (accesso al sito)	39°14'14.54"N 8°39'57.64"E

Tabella 1.2: Coordinate WTG proposte (sistema di coordinate Monte Mario – fuso ovest – EPSG 3003) e principali caratteristiche degli aerogeneratori

WTG ID	COORDINATE GEOGRAFICHE		TIPOLOGIA E CARATTERISTICHE AEROGENERATORE				
	Latitudine N	Longitudine E	Modello	Potenza nominale [MW]	Altezza al mozzo [m]	Diametro rotore [m]	Altezza totale [m]
VM01	4343971	1470579	Vestas V136	4,5	82	136	150
VM02	4343602	1470021	Vestas V162	6,8	119	162	200
VM04	4343588	1472121	Vestas V162	6,8	119	162	200
VM05	4343143	1471713	Vestas V162	6,8	119	162	200
VM06	4342815	1471030	Vestas V162	6,8	119	162	200



#### **1.4 SCOPO DEL DOCUMENTO**

Lo scopo di questa relazione tecnica è presentare un calcolo di probabilità di fulminazione.

Il calcolo è riferito al caso peggiore e cioè per la pala Vestas V162 di altezza pari a 200 m.

## 1.5 GLOSSARIO DEI TERMINI

Di seguito si riepilogano le definizioni dei principali parametri impiegati nel presente documento:

PARAMETRO	DESCRIZIONE
$N_D$	rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura in oggetto
$N_{Dj}$	rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente
$N_M$	rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità della struttura in oggetto con effetti magnetici
$N_L$	rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta delle linee entranti nella struttura in oggetto
$N_I$	rappresenta il numero di eventi pericolosi per fulminazione in prossimità delle linee entranti nella struttura in oggetto
$N_G$	Densità di fulmini al suolo
$A_m$	è l'area di raccolta che si ottiene tracciando intorno alla struttura in oggetto una linea a una predeterminata distanza, in m <sup>2</sup>
$A_d$	è l'area di raccolta equivalente della struttura isolata, in m <sup>2</sup>
L1, L2, L3, L4	Tipi di perdite considerati nella valutazione
R1,R2, R3, R4	Tipi di rischio considerati nella valutazione
RT1-RT4	Valori dei rischi considerati tollerabili
$P_A$	valori di probabilità di danno agli esseri viventi all'interno della struttura
$P_B$	valori di probabilità di danni materiali all'interno della struttura
$P_C$	valori di probabilità di guasti agli impianti della struttura
$P_M$	Probabilità che il fulmine in prossimità della struttura sia causa di guasti negli impianti interni
$P_{ta}$	valori di probabilità di danno ad esseri viventi per tensioni di contatto e di passo pericolose
$P_e$	probabilità che un fulmine sia causa di guasti di danni a esseri viventi
$P_U$	probabilità che un fulmine sia causa di guasti di danni materiali
$P_v$	probabilità che un fulmine sia causa di guasti negli impianti interni
$P_z$	probabilità che un fulmine in prossimità della linea sia causa di guasti negli impianti interni
$P_V$	valori di probabilità di danno materiale a causa di un fulmine su una linea entrante nella struttura
LPS	lightning protection system – Sistema di protezione delle scariche atmosferiche
$n_t$	Persone presenti nella struttura
$C_D$	Coefficiente relativo al tipo di posizione della struttura
$(L_b * W_b * H_b)$	Valori della dimensione della struttura complessa in analisi



$L_c$	Lunghezza delle linee entranti nella struttura
$r_o$	Resistività del suolo
AT	Alta Tensione (V)
MT	Media tensione (V)
$C_t$	Coefficiente relativo ai Trasformatore di tensione
$C_d$	Coefficiente di posizione della linea
$C_e$	Coefficiente ambientale della linea
$K_{S3}$	Coefficiente relativo alle precauzioni nel cablaggio interno
$K_{S4}$	Tensione di tenuta degli apparati $U_w$ in osservazione
$P_{SPD}$	Protezione con sistema coordinato di SPD (Surge Protection Device)



## 2. GENERALITÀ

Questo documento è stato elaborato con riferimento alle seguenti norme:

- CEI EN 62305 - 1 "Protezione contro il fulmine - Parte 1: Principi generali". Febbraio 2013;
- CEI EN 62305 - 2 "Protezione contro il fulmine - Parte 2: Valutazione del rischio". Febbraio 2013;
- CEI EN 62305 - 3 "Protezione contro il fulmine - Parte 3: Danno materiale alle strutture e pericolo per le persone". Febbraio 2013;
- CEI EN 62305 - 4 "Protezione contro il fulmine - Parte 4: Impianti elettrici ed elettronici nelle strutture". Febbraio 2013.

Il presente documento costituisce parte integrante del progetto definitivo per la realizzazione di un nuovo Parco eolico della potenza complessiva di 31,7 MW, che prevede l'installazione di 5 aerogeneratori (di cui 4 da 6,8 MW e 1 da 4,5 MW), nel territorio comunale di Villamassargia (Sulcis-Iglesiente), la realizzazione delle relative opere di connessione nei comuni di Villamassargia e Musei, nonché la predisposizione della viabilità, delle opere di regimentazione delle acque meteoriche e delle reti tecnologiche a servizio del Parco.

La presente relazione si riferisce ad una struttura adibita a Distribuzione Energia Elettrica per cui è richiesta la protezione contro il fulmine in conformità alla presente Norma adibita a Distribuzione Energia Elettrica.

I calcoli per la valutazione del rischio sono stati elaborati con il programma FLASH edito dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI).

La norma CEI EN 62305 "Protezione contro i fulmini" classifica i rischi connessi ai fulmini in quattro categorie: R1, R2, R3 e R4 e quattro tipi di perdite (L1, L2, L3, L4) connessi ai fulmini, che possono verificarsi a causa delle sovratensioni transitorie generate dalla scarica del fulmine.

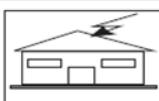
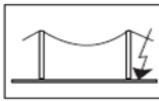
Nell'impianto in progetto sono stati valutati i rischi R e le relative perdite L meglio identificati nei paragrafi successivi.

## 2.1 TIPI DI PERDITA

Ciascun tipo di danno, solo o in combinazione con altri, può produrre diverse perdite nella struttura da proteggere. Il tipo di perdita che può verificarsi dipende dalle caratteristiche dell'oggetto stesso ed al suo contenuto. I seguenti tipi di perdita devono essere presi in considerazione:

- L1: perdita di vite umane (inclusi danni permanenti);
- L2: perdita di servizio pubblico;
- L3: perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- L4: perdita economica (struttura, contenuto e perdita di attività).
- 

Tabella 2.1: Sorgenti di danno, tipi di danno e tipi di perdita in funzione del punto d'impatto

Fulminazione		Struttura	
Punto d'impatto	Sorgente di danno	Tipo di danno	Tipo di perdita
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>(a)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>(b)</sup> , L2, L4
	S2	D3	L1 <sup>(b)</sup> , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>(a)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>(b)</sup> , L2, L4
	S4	D3	L1 <sup>(b)</sup> , L2, L4

(a) Solo nel caso di strutture in cui si può verificare la perdita di animali.  
(b) Solo nel caso di strutture con rischio di esplosione, di ospedali o di altre strutture in cui guasti di impianti interni provocano immediato pericolo per la vita umana.

Per la struttura in questione sono state considerate le perdite L1 ed L4 quali i fattori principali connessi alle vite umane ed economici (non sono ovviamente considerate le perdite L2: connesse al servizio pubblico e L3: relative alla perdita di patrimonio culturale insostituibile in quanto trattasi di impianto industriale di produzione di energia elettrica)

## 2.2 RISCHIO E COMPONENTI DI RISCHIO

Il rischio R è la misura della probabile perdita media annua. Per ciascun tipo di perdita che può verificarsi in una struttura deve essere valutato il relativo rischio.

I rischi da valutare per la norma in una struttura possono essere:

- R1: rischio di perdita di vite umane (inclusi danni permanenti);
- R2: rischio di perdita di servizio pubblico;
- R3: rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile;
- R4: rischio di perdita economica.

Per valutare i rischi, R, devono essere definite e calcolate le relative componenti di rischio (rischi parziali dipendenti dalla sorgente e dal tipo di danno).

Ciascun rischio R è la somma delle sue componenti di rischio. Nell'effettuare la somma le componenti di rischio possono essere raggruppate secondo la sorgente di danno ed il tipo di danno.



Sono stati pertanto valutati i rischi R1 ed R4, quali i rischi principali connessi alle vite umane ed economici (non sono ovviamente considerati R2: rischio di perdita di servizio pubblico e R3: rischio di perdita di patrimonio culturale insostituibile in quanto trattasi di impianto industriale di produzione di energia elettrica)

Per i suddetti rischi sono stati considerati i seguenti valori di rischio tollerabile (RT):

- RT1 = 0,00001
- RT4 = valutazione economica indicata all'allegato D della Norma CEI EN 62305-2.

### 3. CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA

I principali dati e caratteristiche della struttura in analisi sono specificati nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Caratteristiche della struttura

PARAMETRO	COMMENTO	SIMBOLO	VALORE
Dimensioni (m)	Struttura complessa (*)	$(L_b * W_b * H_b)$	
Coefficiente di posizione	Isolata	$C_D$	1,00
LPS	LPS di classe I (LPL I)	$P_B$	1,0
Schermatura della struttura	Non presente	$K_{S1}$	1,0
Densità di fulmini al suolo	1/km <sup>2</sup> /anno	$N_G$	0,73
Persone presenti nella struttura	esterno ed interno	$n_t$	non considerate

(\*) Vedasi planimetria nella figura successiva.

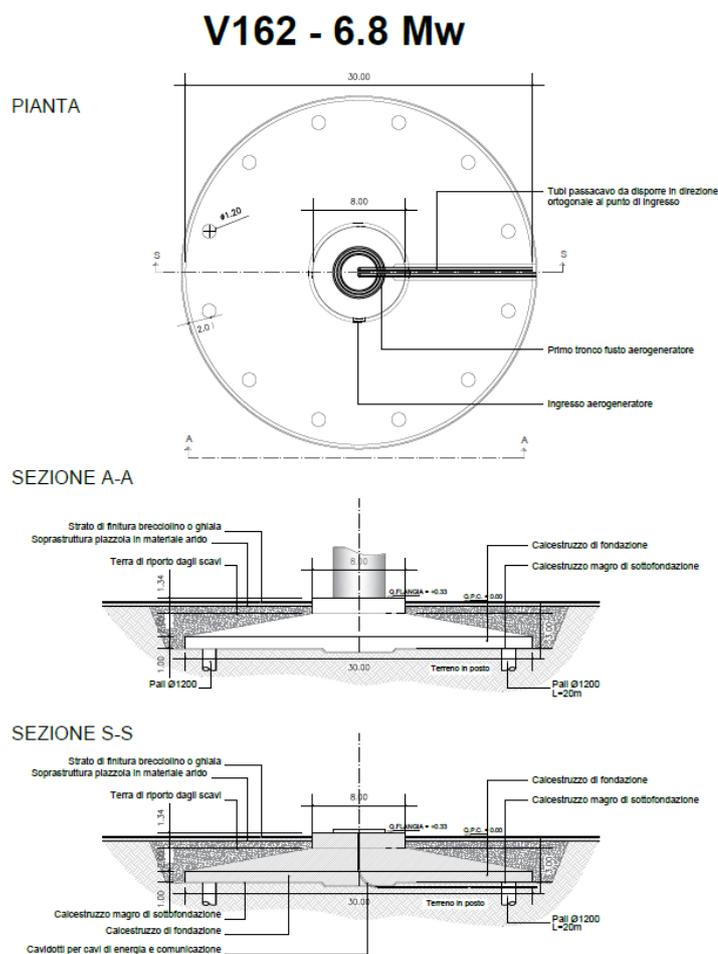


Figura 3.1: Viste in pianta e sezione della fondazione della turbina eolica Vestas V162

Il valore dell'area di raccolta della struttura isolata vale  $A_d = 1343998 \text{ [m}^2\text{]}$  ipotizzata calcolando un'area isolata di lunghezza  $L$ , larghezza  $W$  e altezza  $H$ , su una superficie piana, è calcolata come segue:  $A_d = L W + 2 (3 H) (L + W) + (3 H)^2$

Il valore dell'area di raccolta dei fulmini in prossimità della struttura vale  $A_m=963208 \text{ [m}^2\text{]}$  tracciata intorno alla struttura ad una distanza di 3 volte l'altezza della struttura.

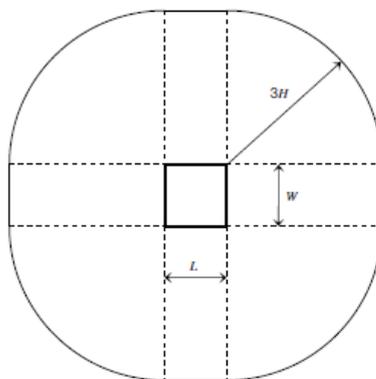


Figura 3.2: Area di raccolta  $A_d$  di una struttura isolata

#### 4. CARATTERISTICHE DELLE LINEE ENTRANTI

I principali dati e caratteristiche delle linee elettriche entranti nella struttura, nonché i valori calcolati delle aree di raccolta ( $A_L$  e  $A_i$ ) e del numero di eventi attesi pericolosi ( $N_L$  e  $N_i$ ) sono specificati nelle seguenti Tabelle:

Tabella 4.1: Caratteristiche della linea entrante **linea n.1 (ATE)**

PARAMETRO	COMMENTO	SIMBOLO	VALORE
Descrizione	AT entrante		
Resistività del suolo (Ohm x m)		$r_o$	400
Lunghezza (m)		$L_c$	1000
Altezza (m)	Linea interrata		
Sezione schermo (mm <sup>2</sup> )	Rame		0,0
Trasformatore AT/BT	Non presente	$C_t$	1,0
Coefficiente di posizione della linea		$C_d$	
Coefficiente ambientale della linea	Rurale	$C_e$	1,00
Connessione alla barra equipotenziale	Schermo collegato a barra equipotenziale		
Area di raccolta dei fulmini sulla linea (m <sup>2</sup> )		$A_L$	40000,0
Area di raccolta dei fulmini vicino alla linea (m <sup>2</sup> )		$A_i$	4000000,0
Frequenza di fulminazione diretta della linea		$N_L$	0,0146
Frequenza di fulminazione indiretta della linea		$N_i$	1,46
Dimensioni della struttura adiacente (m)		$(L_a \cdot W_a \cdot H_a)$	25,0x162,0x200,0
Frequenza di fulminazione della struttura adiacente		$N_{Dj}$	0,99238

Tabella 4.2: Caratteristiche della linea uscente *linea n.2 (ATU)*

PARAMETRO	COMMENTO	SIMBOLO	VALORE
Descrizione	AT uscita		
Resistività del suolo (Ohm x m)		$r_o$	400
Lunghezza (m)		$L_c$	1000
Altezza (m)	Linea interrata		
Sezione schermo (mm <sup>2</sup> )	Rame		0,0
Trasformatore AT/BT	Non presente	$C_t$	1,0
Coefficiente di posizione della linea		$C_d$	
Coefficiente ambientale della linea	Rurale	$C_e$	1,00
Connessione alla barra equipotenziale	Schermo collegato a barra equip. apparecchiature		
Area di raccolta dei fulmini sulla linea (m <sup>2</sup> )		$A_l$	40000,0
Area di raccolta dei fulmini vicino alla linea (m <sup>2</sup> )		$A_i$	4000000,0
Frequenza di fulminazione diretta della linea		$N_L$	0,0146
Frequenza di fulminazione indiretta della linea		$N_I$	1,46
Dimensioni della struttura adiacente (m)		$(L_a \cdot W_a \cdot H_a)$	25,0x162,0x200,0
Frequenza di fulminazione della struttura adiacente		$N_{Dj}$	0,99238

La linea n. 1 (ATE) fa riferimento alla linea AT entrante nella WTG, mentre la linea n. 2 (ATU) fa riferimento a quella uscente nel collegamento in entra-esce delle WTG.

## 5. CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI INTERNI

I principali dati e caratteristiche degli impianti elettrici presenti all'interno della struttura sono specificati nelle seguenti Tabelle:

Tabella 5.1: *Caratteristiche impianto interno **impianto n.1 FORZA MOTRICE PRINCIPALE***

PARAMETRO	COMMENTO	SIMBOLO	VALORE
Descrizione	FM1		
Tensione nominale (V)			230 - 600
Sezione schermo (mm <sup>2</sup> )	Impianto non schermato		
Precauzioni nel cablaggio interno	Nessuna precauzione	$K_{S3}$	1,0
Tensione di tenuta degli apparati $U_w$	$U_w=1000$ V	$K_{S4}$	1,0
Protezione con sistema coordinato di SPD	Non presente	$P_{SPD}$	1,0

Tabella 5.2: *Caratteristiche impianto interno **impianto n.2 FORZA MOTRICE SECONDARIA***

PARAMETRO	COMMENTO	SIMBOLO	VALORE
Descrizione	FM2		
Tensione nominale (V)			230 - 600
Sezione schermo (mm <sup>2</sup> )	Impianto non schermato		
Precauzioni nel cablaggio interno	Nessuna precauzione	$K_{S3}$	1,0
Tensione di tenuta degli apparati $U_w$	$U_w=1000$ V	$K_{S4}$	1,0
Protezione con sistema coordinato di SPD	Non presente	$P_{SPD}$	1,0



## 6. SUDDIVISIONE IN ZONE DELLA STRUTTURA

La struttura è stata considerata come un'unica zona (Zona n.1) le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 6.1

Tabella 6.1: Caratteristiche della **zona n.1**

PARAMETRO	COMMENTO	SIMOLO	VALORE
Descrizione	...		
Tipo di pavimento	terreno agricolo, cemento	$r_t$	0,01
Rischio d'incendio	---	$r_f$	---
Pericolo particolare (relativo a $R_1$ )	Nessuno	$h$	1,0
Protezione antincendio	---	$r_p$	---
Schermo locale	---	$K_{S2}$	---
Impianti di energia interni presenti	Imp.1; Imp.2;		
Impianti di segnale interni presenti			
Persone potenzialmente in pericolo			0

## 7. NUMERO ANNUO ATTESO DI EVENTI PERICOLOSI PER LA STRUTTURA

Il numero annuo atteso di eventi pericolosi per la struttura è valutato secondo l'Allegato A della Norma EN 62305-2. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 7.1.

Tabella 7.1: *Numero annuo atteso di eventi pericolosi*

SIMBOLO	VALORE (1/ANNO)
$N_D$	0,98112
$N_M$	0,70314

## 8. VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER LA STRUTTURA NON PROTETTA

### 8.1 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA DI VITE UMANE R1

I valori di probabilità P e delle perdite L sono riportati nelle Tabelle 8.1 e 8.2 per le diverse zone.

I valori di probabilità P di danno ad esseri viventi a causa di tensioni di contatto e di passo per un fulmine sulla struttura dipendono dall'LPS installato e dalle misure di protezione aggiuntive adottate:

$$P_a = P_{ta} \times P_e$$

I valori di probabilità  $P_a$  di danno agli esseri viventi all'interno della struttura, dovuto alle tensioni di contatto per un fulmine su una linea entrante nella struttura, dipende dalle caratteristiche della schermatura della linea, dalla tensione di tenuta ad impulso degli impianti interni connessi alla linea, dalle misure di protezione quali barriere, cartelli ammonitori, interfacce di separazione o equipotenzializzazione mediante SPD installati all'ingresso della linea secondo la CEI EN 62305.3.

I valori di probabilità  $P_v$  di danno materiale a causa di un fulmine su una linea entrante nella struttura dipendono dalle caratteristiche della schermatura della linea, dalla tensione di tenuta ad impulso degli impianti interni connessi alla linea e dalle interfacce di separazione o dalle caratteristiche degli SPD installati in conformità alla CEI EN 62305-3.

Tabella 8.1: Rischio  $R_1$  - Valori delle probabilità nelle diverse zone per la struttura non protetta

	<b>Zona 1</b>
$P_A$	0,0
$P_B$	0,001
$P_U$ (linea 1)	0,0
$P_V$ (linea 1)	0,0
$P_U$ (linea 2)	0,0
$P_V$ (linea 2)	0,0

Tabella 8.2: Rischio  $R_1$  - Valori delle perdite nelle diverse zone per la struttura non protetta

	<b>Zona 1</b>
$L_A$	0,0001
$L_B$	0,0
$L_U$	0,0
$L_V$	0,0

I valori delle componenti di rischio per la struttura non protetta sono riportati nella Tabella 8.3

Tabella 8.3: Rischio R1 - Valori delle componenti di rischio nelle diverse zone per la struttura non protetta (valori  $\times 10^{-5}$ )

	Zona 1	Struttura
$R_A$	0,0	0,0001
$R_B$	0,0	0,0
$R_U$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_V$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_U$ (linea 2)	0,0	0,0
$R_V$ (linea 2)	0,0	0,0
TOTALE	0,0	0,0

Caratteristiche della struttura e degli impianti interni Misure di protezione	$R_A$	$R_B$	$R_C$	$R_M$	$R_U$	$R_V$	$R_W$	$R_Z$
Area di raccolta	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistività superficiale del suolo	X							
Resistività della pavimentazione	X				X			
Barriere, isolamento, cartelli ammonitori, equipotenzializzazione del suolo	X				X			
LPS	X	X	X	X <sup>(a)</sup>	X <sup>(b)</sup>	X <sup>(b)</sup>		
Equipotenzializzazione con SPD	X	X			X	X		
Interfacce di separazione			X <sup>(c)</sup>	X <sup>(c)</sup>	X	X	X	X
Sistema di SPD			X	X			X	X
Schermatura locale			X	X				
Schermatura delle linee esterne					X	X	X	X
Schermatura delle linee interne			X	X				
Cablaggio degli impianti interni			X	X				
Rete di equipotenzialità			X					
Misure antincendio		X				X		
Rischio d'incendio		X				X		
Pericoli particolari		X				X		
Tensione di tenuta ad impulso			X	X	X	X	X	X
(a) Solo per LPS esterni a maglia. (b) Dovuto alla presenza di connessioni equipotenziali. (c) Solo se esse appartengono all'apparato.								

Tabella 8.4: Fattori che influenzano le componenti di rischio in una struttura

Tabella 8.5: Parametri relativi alla valutazione delle componenti di rischio (Norma CEI EN 62305-2)

Simbolo	Denominazione	Valore secondo l'Articolo
<b>Numero annuo medio di eventi pericolosi dovuti al fulmine</b>		
$N_D$	– Sulla struttura	A.2
$N_M$	– In prossimità della struttura	A.3
$N_L$	– Sulla linea entrante nella struttura	A.4
$N_I$	– In prossimità della linea entrante nella struttura	A.5
$N_{D,I}$	– Sulla struttura adiacente (Fig. A.5)	A.2
<b>Probabilità che un fulmine sulla struttura sia causa di</b>		
$P_A$	– Danno ad esseri viventi	B.2
$P_B$	– Danni materiali	B.3
$P_C$	– Guasti negli impianti interni	B.4
<b>Probabilità che un fulmine in prossimità della struttura sia causa di</b>		
$P_M$	– Guasti negli impianti interni	B.5
<b>Probabilità che un fulmine su una linea sia causa di</b>		
$P_U$	– Danno ad esseri viventi per elettrocuzione	B.6
$P_V$	– Danni materiali	B.7
$P_W$	– Guasti negli impianti interni	B.8
<b>Probabilità che un fulmine in prossimità di una linea sia causa di</b>		
$P_Z$	– Guasti negli impianti interni	B.9
<b>Perdita dovuta a</b>		
$L_A = L_U$	– Danno ad esseri viventi	C.3
$L_B = L_V$	– Danni materiali	C.3, C.4, C.5, C.6
$L_C = L_M = L_W = L_Z$	– Guasti negli impianti interni	C.3, C.4, C.6

### 8.1.1 Conclusioni dal calcolo di R1

Poiché, per il rischio considerato, il rischio dovuto al fulmine non è superiore al valore di rischio tollerato, la protezione contro il fulmine della struttura non è necessaria.

In definitiva, non è necessario realizzare alcun sistema di protezioni contro i fulmini per la struttura in questione in quanto il rischio dovuto al fulmine è già al di sotto del limite tollerato.

In altre parole, la struttura è da considerarsi **AUTOPROTETTA**.

In forza della legge 1/3/1968 n.186 che individua nelle Norme CEI la regola dell'arte, si può ritenere assolto ogni obbligo giuridico, anche specifico, che richieda la protezione contro le scariche atmosferiche.

## 8.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA ECONOMICA R4

I valori di probabilità P e delle perdite L sono riportati nelle Tabelle 8.5 e 8.6 per le diverse zone.

Tabella 8.6: *Rischio  $R_4$  - Valori delle probabilità nelle diverse zone per la struttura non protetta*

	<b>Zona 1</b>
$P_B$	0,001
$P_C$	0,0
$P_M$	0,0
$P_V$ (linea 1)	0,0
$P_W$ (linea 1)	0,0
$P_Z$ (linea 1)	0,0
$P_V$ (linea 2)	0,0
$P_W$ (linea 2)	0,0
$P_Z$ (linea 2)	0,0

Tabella 8.7: *Rischio  $R_4$  - Valori delle perdite nelle diverse zone per la struttura non protetta*

	<b>Zona 1</b>
$L_B$	0,0
$L_C$	0,0
$L_M$	0,0
$L_V$	0,0
$L_W$	0,0
$L_Z$	0,0

I valori delle componenti di rischio per la struttura non protetta sono riportati nella Tabella 8.8

Tabella 8.8: Rischio R4 - Valori delle componenti di rischio nelle diverse zone per la struttura non protetta (valori x 10<sup>-3</sup>)

	<b>Zona 1</b>	<b>Struttura</b>
$R_B$	0,0	0,0
$R_C$	0,0	0,0
$R_M$	0,0	0,0
$R_V$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_W$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_Z$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_V$ (linea 2)	0,0	0,0
$R_W$ (linea 2)	0,0	0,0
$R_Z$ (linea 2)	0,0	0,0
<b>TOTALE</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

#### 4.2.2 Componenti di rischio per una struttura dovute alla fulminazione diretta della struttura

$R_A$ : 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. Possono verificarsi perdite di tipo L1 e, in strutture ad uso agricolo, anche di tipo L4 con possibile perdita di animali;

NOTA In particolari strutture, le persone possono essere danneggiate da fulminazioni dirette (per esempio al livello più elevato di un parcheggio o di uno stadio). Questi casi possono essere considerati utilizzando i principi di questa Parte della CEI EN 62305.

$R_B$ : 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. Possono verificarsi tutti i tipi di perdita (L1, L2, L3 ed L4);

$R_C$ : componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 ed L4, unitamente al tipo L1 nel caso di strutture con rischio d'esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

#### 4.2.3 Componente di rischio per una struttura dovuta a fulminazione in prossimità della struttura

$R_M$ : componente relativa al guasto di impianti interni causata dal LEMP. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 ed L4, unitamente al tipo L1 nel caso di strutture con rischio d'esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

#### 4.2.4 Componente di rischio per una struttura dovuta a fulminazione diretta di una linea connessa alla struttura

$R_U$ : componente relativa ai danni ad esseri viventi per elettrocuzione dovuta a tensioni di contatto all'interno della struttura. Possono verificarsi perdite di tipo L1 e, in caso di strutture ad uso agricolo, anche perdite di tipo L4 con possibile perdita di animali.

$R_V$ : 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. Possono verificarsi tutti i tipi di perdita (L1, L2, L3 ed L4).

$R_W$ : componente relativa al guasto di impianti interni causata da sovratensioni indotte sulla linea e trasmesse alla struttura. In tutti i casi possono verificarsi perdite di tipo L2 ed L4, unitamente al tipo L1 nel caso di strutture con rischio d'esplosione e di ospedali o di altre strutture in cui il guasto degli impianti interni provoca immediato pericolo per la vita umana.

Figura 8.1: Parametri relativi alla valutazione delle componenti di rischio (Norma CEI EN 62305-2)



### **8.2.1 Conclusioni dal calcolo di R4**

Per il rischio di perdite economiche (rischio 4), la valutazione della convenienza dell'installazione di misure di protezione deve essere valutata caso per caso. La Norma CEI EN 62305-2 prevede, a tale proposito, un'apposita procedura di valutazione (Appendice G della Norma).

## 9. MISURE DI PROTEZIONE ADOTTATE

La protezione contro le scariche atmosferiche è assicurata da un captatore metallico posizionato alla punta di ciascuna pala e collegato con la massa a terra attraverso la torre tubolare. Il sistema di protezione contro i fulmini è progettato in accordo con la IEC 62305, IEC 61400-24 e IEC 61024 – "Lightning Protection of Wind Turbine Generators" Livello 1.

Per la protezione della struttura in questione si è scelto di adottare le seguenti misure di protezione:

- SPD per la realizzazione dei collegamenti equipotenziali sulla linea 1 con LPL I (protezione rinforzata  $x^3$  avente  $P_{SPD}=0,001$  per ridurre le componenti  $R_U$  e  $R_V$ );
- SPD per la realizzazione dei collegamenti equipotenziali sulla linea 2 con LPL I (protezione rinforzata  $x^3$  avente  $P_{SPD}=0,001$  per ridurre le componenti  $R_U$  e  $R_V$ ).

Applicando le suddette misure di protezione il rischio dovuto al fulmine viene ridotto come indicato ai seguenti paragrafi.

### 9.1 MISURE PER LA PROTEZIONE CONTRO I FULMINI ESTERNA

La navicella deve essere integrata nell'impianto di protezione antifulmine al fine di garantire che nell'eventualità che sia colpita da un fulmine sia in grado di resistere a tale sollecitazione

Le parti rivestite in vetroresina della navicella (o simili) vanno dotate di captatori e calate che formano una gabbia attorno alla navicella (treccia metallica). L'impianto di captazione comprendente i conduttori nudi di questa gabbia deve essere in grado di sopportare i fulmini secondo il corrispondente livello di protezione. Gli altri conduttori della gabbia di Faraday vanno progettati in modo da sopportare l'intensità della corrente di fulmine a cui possono essere sottoposti.

La norma CEI EN 61400-24 (CEI 88-16) richiede che gli impianti di captazione per la protezione delle apparecchiature di misura e simili, montati all'esterno della gondola, siano progettati in conformità con i requisiti generali della norma CEI EN 62305-3 (CEI 81-0/3) e che le calate siano collegate alla gabbia sopra descritta.

I componenti originali realizzati in materiale conduttore, installati in modo permanente sulla turbina eolica o all'interno di essa e che restano invariati, possono essere integrati nella protezione antifulmine (ad esempio: impianto di protezione antifulmine delle pale del rotore, cuscinetti, telaio principale, torre ibrida). Le turbine eoliche sono costituite da una struttura metallica, pertanto si può supporre che esse soddisfino i requisiti per una protezione contro i fulmini esterna della classe LPS I secondo la norma CEI EN 62305 (CEI 81-10). Ciò richiede che il fulmine sia intercettato dall'impianto di protezione antifulmine delle pale del rotore, in modo da scaricarsi nell'impianto di terra attraverso i componenti naturali, quali cuscinetti, intelaiature, torre e/o gli impianti passanti (ad esempio spinterometri o spazzole di carbone).

#### 9.1.1 Impianto di captazione e calata

I seguenti componenti:

- pale del rotore
- navicella con le sue sovrastrutture
- mozzo del rotore
- torre

sono soggetti a fulminazioni.

Se tali componenti sono in grado di intercettare in modo sicuro il massimo impulso della corrente di fulmine, 200 kA, e scaricarlo all'impianto di messa a terra, essi possono essere utilizzati come



componenti naturali dell'impianto di captazione della protezione antifulmine esterna della turbina eolica.

Viene spesso collegato un recettore metallico, che rappresenta un punto di fulminazione definito, alla punta della pala in vetroresina, per proteggere le pale del rotore dai fulmini. Un conduttore collega il recettore con la base della pala. In caso di un fulmine, si può ritenere che esso colpisca la punta della pala (recettore) e raggiunga l'impianto di terra passando attraverso il conduttore posto nella pala, poi attraverso la navicella e la torre.

### 9.1.2 Impianto di terra

L'impianto di messa a terra di una turbina eolica svolge varie funzioni, come protezione delle persone, la protezione EMC e la protezione contro i fulmini.

Un efficace impianto di messa a terra è essenziale per distribuire le correnti di fulmine e per evitare la distruzione della turbina eolica. Inoltre, l'impianto di messa a terra deve proteggere le persone e gli animali contro le folgorazioni. In caso di un fulmine, l'impianto di messa a terra deve scaricare al suolo elevate correnti di fulmine e distribuirle nel terreno senza provocare effetti termici o elettrodinamici pericolosi.

In generale, è importante installare l'impianto di messa a terra su una turbina eolica, per proteggerla contro i fulmini e per la messa a terra del sistema di alimentazione.

## 9.2 PROTEZIONI CONTRO I FULMINI INTERNE

Le protezioni contro i fulmini interne alla WTG dovranno essere le seguenti:

- Misure di messa a terra e collegamenti equipotenziali;
- Schermatura spaziale e distanza di isolamento;
- Passaggio dei cavi e schermatura del cavo;
- Installazione di dispositivi di protezione coordinati contro le sovratensioni.

### 9.2.1 Protezioni sulle linee al passaggio tra LPZ 0 A e LPZ 1 e superiori

Per il funzionamento sicuro degli apparecchi elettrici ed elettronici, le interfacce tra le zone di protezione (LPZ) vanno schermate nei confronti delle interferenze in campo e protette dalle interferenze trasmesse. Al passaggio tra la zona di protezione LPZ 0A e LPZ 1 (equipotenzialità antifulmine) devono essere impiegati dei dispositivi di protezione in grado di scaricare senza danni delle elevate correnti di fulmine parziali. Questi dispositivi di protezione sono denominati scaricatori della corrente di fulmine Tipo 1 e sono collaudati con correnti impulsive di forma d'onda 10/350  $\mu$ s. Al passaggio tra LPZ 0B e LPZ 1 e superiori, bisogna far fronte solo agli impulsi di modesto contenuto energetico derivanti da tensioni indotte dall'esterno o da sovratensioni causate nel sistema stesso. Questi dispositivi di protezione sono denominati limitatori di sovratensione Tipo 2 e sono collaudati con correnti impulsive di forma d'onda 8/20  $\mu$ s.

Secondo il concetto di zona di protezione contro i fulmini, tutti i cavi e le tubazioni devono essere integrati nel sistema equipotenziale antifulmine per mezzo di scaricatori di corrente da fulmine Tipo 1 al confine tra LPZ 0 A e LPZ 1 o LPZ 0 A e LPZ 2. Questo riguarda le linee di alimentazione e quelle di comunicazione. Per ogni ulteriore confine di zona all'interno del volume da proteggere deve essere stabilito un ulteriore collegamento equipotenziale locale che integra tutti i cavi e le linee che attraversano questo confine. Bisogna installare dei limitatori di sovratensione Tipo 2 al passaggio tra le zone LPZ 0B e LPZ 1 e tra le zone LPZ 1 e LPZ 2, mentre bisogna installare limitatori Tipo 3 al passaggio tra le zone LPZ 2 e LPZ 3. La funzione dei limitatori di Tipo 2 e 3 è quella di ridurre ulteriormente l'interferenza residua della protezione a monte e limitare le sovratensioni indotte sulla turbina eolica o generate nella turbina eolica.

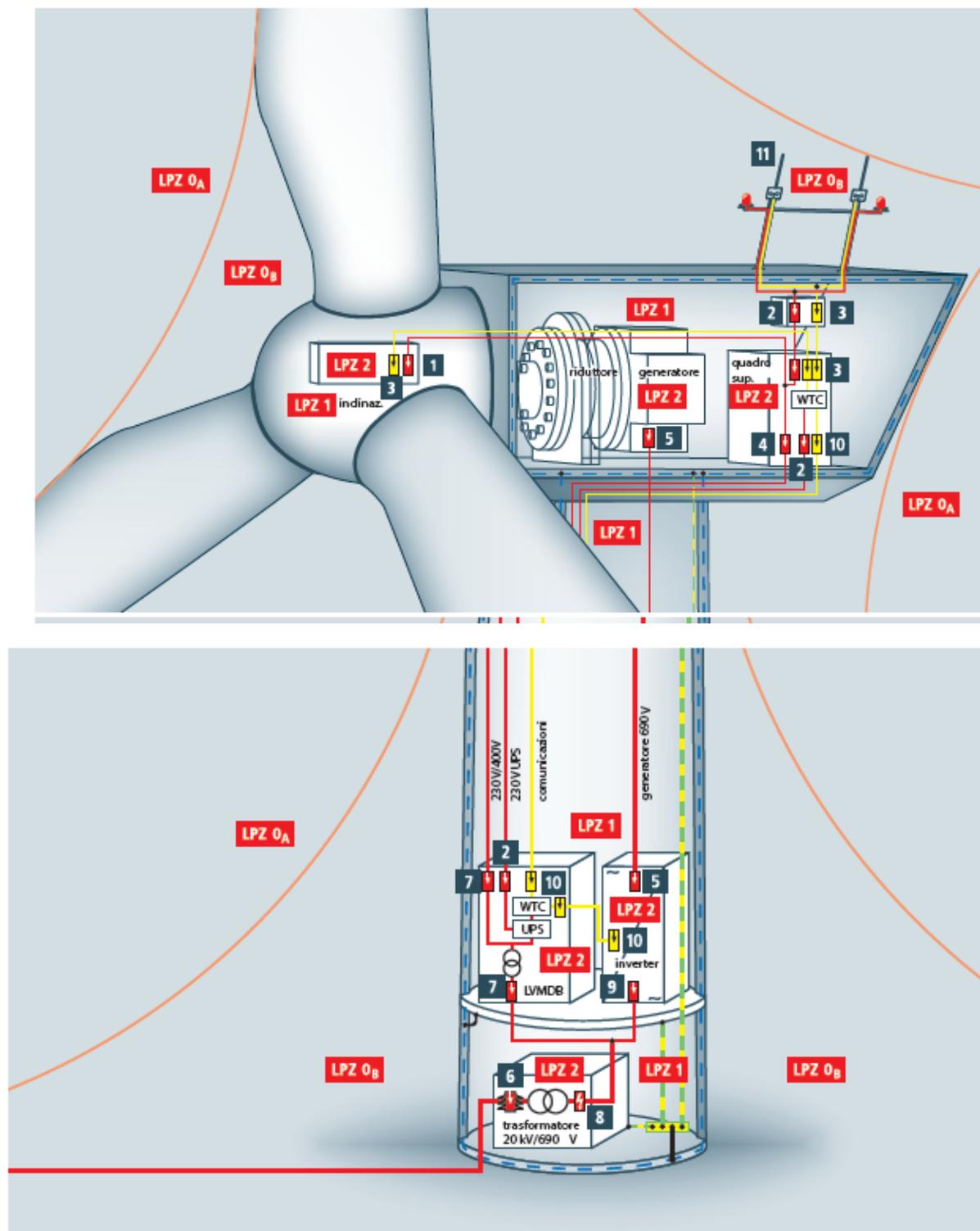


Figura 9.1: Protezione contro i fulmini e sovratensioni di turbine eoliche

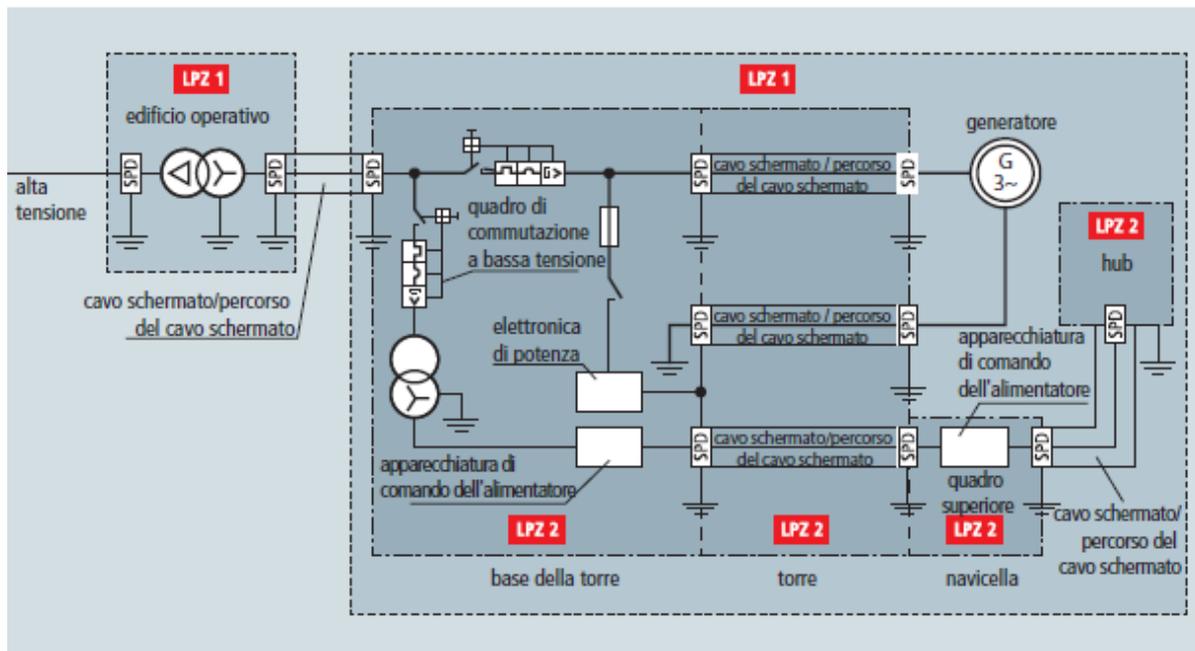


Figura 9.2: Esempio di scaricatori installati presso i confini di zona in una turbina eolica

## 10. VALUTAZIONE DEL RISCHIO PER LA STRUTTURA PROTETTA

Le valutazioni tecniche sono state indicate nei paragrafi precedenti (paragrafo 8.1.1). Si riassumono appresso i risultati.

### 10.1 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA DI VITE UMANE R1

I valori di probabilità P sono riportati nella Tabella 10.1

Tabella 10.1: Rischio R1 - Valori delle probabilità nelle diverse zone per la struttura protetta

	<i>Zona 1</i>
$P_A$	0,001
$P_B$	0,001
$P_U$ (linea 1)	0,0
$P_V$ (linea 1)	0,0
$P_U$ (linea 2)	0,0
$P_V$ (linea 2)	0,0

I valori delle componenti di rischio per la struttura protetta sono riportati nella Tabella 10.2

Tabella 10.2: Rischio R1 - Valori delle componenti di rischio nelle diverse zone per la struttura protetta

(valori x 10<sup>-5</sup>)

	<i>Zona 1</i>	<i>Struttura</i>
$R_A$	0,01	0,0098
$R_B$	0,0	0,0
$R_U$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_V$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_U$ (linea 2)	0,0	0,0
$R_V$ (linea 2)	0,0	0,0
<i>TOTALE</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>

### 10.2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI PERDITA ECONOMICA R4

I valori di probabilità P sono riportati nella Tabella 10.3

Tabella 10.3: Rischio R4 - Valori delle probabilità nelle diverse zone per la struttura protetta

	<i>Zona 1</i>
$P_B$	0,001
$P_C$	0,0
$P_M$	0,0
$P_V$ (linea 1)	0,0
$P_W$ (linea 1)	0,0
$P_Z$ (linea 1)	0,0
$P_V$ (linea 2)	0,0
$P_W$ (linea 2)	0,0
$P_Z$ (linea 2)	0,0

I valori delle componenti di rischio per la struttura protetta sono riportati nella Tabella 10.4

Tabella 10.4: Rischio R4 - Valori delle componenti di rischio nelle diverse zone per la struttura protetta  
(valori x 10<sup>-3</sup>)

	<i>Zona 1</i>	<i>Struttura</i>
$R_B$	0,0	0,0
$R_C$	0,0	0,0
$R_M$	0,0	0,0
$R_V$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_W$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_Z$ (linea 1)	0,0	0,0
$R_V$ (linea 2)	0,0	0,0
$R_W$ (linea 2)	0,0	0,0
$R_Z$ (linea 2)	0,0	0,0
<i>TOTALE</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>



## **11.CONCLUSIONI**

In funzione di quanto sopra descritto, si afferma che per il rischio di perdita di vite umane (R1), il rischio dovuto al fulmine non è superiore al valore di rischio tollerato, la protezione contro il fulmine della struttura non è necessaria.

In definitiva, non è necessario realizzare alcun sistema di protezione contro i fulmini per la struttura in questione, in quanto il rischio dovuto al fulmine è già al di sotto del limite tollerato. Pertanto la struttura è da considerarsi AUTOPROTETTA.

In forza della legge 1/3/1968 n.186 che individua nelle Norme CEI la regola dell'arte, si può ritenere assolto ogni obbligo giuridico, anche specifico, che richieda la protezione contro le scariche atmosferiche.

In relazione al calcolo di rischio economico (R4) si precisa che tale calcolo non è obbligatorio per legge; esso fornisce delle linee guida che danno facoltà all'impresa di fare un confronto economico tra valore dell'opera e valore delle misure di protezione.