



REGIONE  
SARDEGNA



COMUNE DI  
PUTIFIGARI



COMUNE DI  
ITTIRI



PROVINCIA DI  
SASSARI

## PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Monte Rosso" con potenza di immissione in rete pari a 92.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Putifigari ed Ittiri (SS)

Titolo elaborato

### Relazione tecnica dei sistemi elettrici

Codice elaborato

**F0529AR08A**

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. Flavio TRIANI  
Ing. Gerardo SCAVONE  
Ing. Monica COIRO  
Ing. Simone LOTITO  
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).

Consulenze specialistiche

### Committente



#### wpd Monte Rosso S.r.l.

Viale Regina Margherita 33, 09124 Cagliari (CA)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Febbraio 2023	Prima emissione	ADP	GMA	GDS

## Sommario

<b>1</b>	<b>Connessione alla RTN</b>	<b>3</b>
1.1	Opere di rete e schema per la connessione	3
1.2	Cavidotti	4
<b>2</b>	<b>Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche di protezione contro i fulmini, con l'individuazione e la classificazione del volume da proteggere</b>	<b>15</b>
2.1	Individuazione delle strutture da proteggere	15
2.2	Calcolo delle componenti di rischio	15
2.3	Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini	19

# 1 Connessione alla RTN

Il parco in oggetto sarà costituito da n. 14 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con potenza complessiva in immissione di 92.4 MW, STMG Terna ID 202100120. In particolare, si prevede che il nuovo elettrodotto a 30 kV collegherà il parco in oggetto allo stallo a 30 kV della stazione Elettrica di Trasformazione Utente (SET Utente), ivi avverrà la trasformazione 30/150 kV e successivamente il **collegamento in antenna a 150 kV su un futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN a 380/150 kV denominata "Ittiri"**.

## 1.1 Opere di rete e schema per la connessione

La Stazione Elettrica di Trasformazione MT/AT, contenuta all'interno di un "condominio stalli" costituito da altri tre produttori, è costituita da:

- N.2 stalli trasformatore MT/AT;
- N.2 sezioni TV;
- N.3 compass;
- N.1 area di compensazione reattiva;
- N.1 locale MT;
- N.2 locali bagno;
- N.1 locale BT;
- N.1 locale WF Control room;
- N.1 locale G.E;
- N.1 locale misure;
- N.1 locale TR ausiliari;
- viabilità di accesso;
- recinzione.



Figura 1 – Stralcio con indicazione della posizione della stazione utente wpd Monte Rosso Srl, rispetto alla stazione Terna "Ittiri"

L'area complessivamente occupata dalla stazione AT/MT avrà dimensioni pari a ca. 55.30x38.80 m.

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.

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 32.60 m, profondità 6.10 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 125mm<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.

È 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 da ciascun aerogeneratore è trasformata per mezzo del trasformatore installato a bordo navicella e quindi trasferita al quadro posto a base torre all'interno della struttura di sostegno tubolare.

Di qui l'energia elettrica prodotta da ciascun circuito (sottocampo) è trasferita mediante un cavidotto interrato MT al nuovo stallo ed infine immessa nella rete di trasmissione nazionale AT di proprietà TERNA S.p.A.

Il trasporto dell'energia in MT avviene mediante cavi che verranno posati ad una profondità non inferiore a 100 cm, con un tegolo di protezione in prossimità dei giunti (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 fra 50 cm e 100 cm. Nella stessa trincea verranno posati i cavi di energia, la fibra ottica necessaria per la comunicazione e la corda di terra.

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;
- $V\%$  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).

Nello specifico:

$$I_z = I_0 * k1 * k2 * k3 * k4$$

- $I_0$  =portata per posa interrata per cavi di tipo ARE4H1R, considerando una resistività terreno di 2K m/W;
- $K1$  =fattore di correzione per temperature diverse da 20 °C, nel caso di specie si è considerata una temperatura del terreno pari a 25 °C ed una temperatura del cavo di 90 °C, ciò implica un coefficiente pari a 0.96;
- $K2$  = fattore di correzione per gruppi di più circuiti affiancati sullo stesso piano;
- $K3$  =fattore di correzione per profondità di posa (nel caso in esame tale coefficiente è stato posto sempre pari ad 0.97 in quanto è stata considerata la  $I_0$  del cavo con posa in terreno);
- $K4$  =fattore di correzione per terreni con resistività termica diversa da 1K m/W, nel caso di specie si avrà un valore pari a 0.90.
- 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.

Come sopra accennato, il parco eolico in progetto sarà connesso alla Rete di Trasmissione Nazionale per mezzo di un nuovo stallo condiviso con altri produttori realizzato nel territorio comunale di Ittiri.

Gli aerogeneratori del parco eolico saranno suddivisi in 7 circuiti (o sottocampi):

- Sottocampo 1: 6.6 x 2 = 13.2 MW (WTG13-WTG12-SET);
- Sottocampo 2: 6.6 x 2 = 13.2 MW (WTG11-WTG03-SET);
- Sottocampo 3: 6.6 x 2 = 13.2 MW (WTG06-WTG04-SET);
- Sottocampo 4: 6.6 x 2 = 13.2 MW (WTG02-WTG01-SET);
- Sottocampo 5: 6.6 x 2 = 13.2 MW (WTG14-WTG10-SET);
- Sottocampo 6: 6.6 x 2 = 13.2 MW (WTG07-WTG09-SET);
- Sottocampo 7: 6.6 x 2 = 13.2 MW (WTG05-WTG08-SET).

			CIRCUITO 1							
			WTG13-13	WTG12-13	WTG12-13'	13 - 12	12 - 8	8 - 7	7 - 1	Esterno sx
			ALLUMINIO 30kV ARE4H1R							
Tensione trasporto	Vn	KV	30	30	30	30	30	30	30	30
	Cosfi		0.9	0.9	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	0.4	0.4
Potenza nominale	Pn	MW	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I <sub>b</sub>	A	141.13	141.13	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26
Sezione cavo	S	mm <sup>2</sup>	185	185	630	630	630	630	630	630
Lunghezza linea	L	m	574	147	147	401	4'710	1'105	541	11'517
Resistenza della linea	R <sub>L</sub>	Ω / km	0.211	0.211	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
Reattanza della linea	X <sub>L</sub>	Ω / km	0.110	0.110	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
Caduta di tensione	ΔV	V	33.4	8.5	7.1	19.2	225.9	53.0	26.0	552.5
	ΔV	%	0.11%	0.03%	0.02%	0.06%	0.75%	0.18%	0.09%	1.84%
Caduta di tensione totale			3.09%							
PORTATA			VERIFICATO							

**Figura 2: Cadute di tensione Circuito 1**

			CIRCUITO 2						
			WTG11-12	12 - 8	8 - 7	WTG03-7	WTG03-7'	7 - 1	Esterno sx
			ALLUMINIO 30kV ARE4H1R						
Tensione trasporto	Vn	KV	30	30	30	30	30	30	30
	Cosfi		0.9	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	0.4
Potenza nominale	Pn	MW	6.60	6.60	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I <sub>b</sub>	A	141.13	141.13	141.13	141.13	282.26	282.26	282.26
Sezione cavo	S	mm <sup>2</sup>	300	300	300	300	630	630	630
Lunghezza linea	L	m	460	4'710	1'105	1'243	1'243	541	11'517
Resistenza della linea	R <sub>L</sub>	Ω / km	0.130	0.130	0.130	0.130	0.064	0.064	0.064
Reattanza della linea	X <sub>L</sub>	Ω / km	0.100	0.100	0.100	0.100	0.094	0.094	0.094
Caduta di tensione	ΔV	V	18.1	184.9	43.4	48.8	59.6	26.0	552.5
	ΔV	%	0.06%	0.62%	0.14%	0.16%	0.20%	0.09%	1.84%
Caduta di tensione totale			3.11%						
PORTATA			VERIFICATO						

**Figura 3: Cadute di tensione Circuito 2**

			CIRCUITO 3								
			WTG06 -11	WTG04 -11	WTG04 -11'	11 - 10	10 - 9	9 - 8	8 - 7	7 - 1	Esterno sx
			ALLUMINIO 30kV ARE4H1R								
Tensione trasporto	Vn	KV	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Cosfi		0.9	0.9	0.9	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	0.4	0.4	0.4
Potenza nominale	Pn	MW	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I <sub>b</sub>	A	141.13	141.13	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26
Sezione cavo	S	mm <sup>2</sup>	185	185	630	630	630	630	630	630	630
Lunghezza linea	L	m	526	307	307	465	911	661	1'105	541	11'517
Resistenza della linea	R <sub>L</sub>	Ω / km	0.211	0.211	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
Reattanza della linea	X <sub>L</sub>	Ω / km	0.110	0.110	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
Caduta di tensione	ΔV	V	30.6	17.8	14.7	22.3	43.7	31.7	53.0	26.0	552.5
	ΔV	%	0.10%	0.06%	0.05%	0.07%	0.15%	0.11%	0.18%	0.09%	1.84%
Caduta di tensione totale			2.64%								
PORTATA			VERIFICATO								

**Figura 4: Cadute di tensione Circuito 3**

			CIRCUITO 4							
			WTG02 -10	10 - 9	WTG01-9	WTG01-9'	9 - 8	8 - 7	7 - 1	Esterno sx
			ALLUMINIO 30kV ARE4H1R							
Tensione trasporto	Vn	KV	30	30	30	30	30	30	30	30
	Cosfi		0.9	0.9	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	0.4	0.4
Potenza nominale	Pn	MW	6.60	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I <sub>b</sub>	A	141.13	141.13	141.13	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26
Sezione cavo	S	mm <sup>2</sup>	185	185	185	630	630	630	630	630
Lunghezza linea	L	m	436	911	147	147	661	1'105	541	11'517
Resistenza della linea	R <sub>L</sub>	Ω / km	0.211	0.211	0.211	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
Reattanza della linea	X <sub>L</sub>	Ω / km	0.110	0.110	0.110	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
Caduta di tensione	ΔV	V	25.3	53.0	8.5	7.1	31.7	53.0	26.0	552.5
	ΔV	%	0.08%	0.18%	0.03%	0.02%	0.11%	0.18%	0.09%	1.84%
Caduta di tensione totale			2.52%							
PORTATA			VERIFICATO							

**Figura 5: Cadute di tensione Circuito 4**

			CIRCUITO 5							
			WTG14 -6	WTG10 -6	WTG10 -6'	6 - 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	Esterno dx
			ALLUMINIO 30kV ARE4H1R							
Tensione trasporto	Vn	KV	30	30	30	30	30	30	30	30
	Cosfi		0.9	0.9	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	0.4	0.4
Potenza nominale	Pn	MW	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I <sub>b</sub>	A	141.13	141.13	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26
Sezione cavo	S	mm <sup>2</sup>	185	185	630	630	630	630	630	630
Lunghezza linea	L	m	819	304	304	983	4'199	691	218	11'413
Resistenza della linea	R <sub>L</sub>	Ω / km	0.211	0.211	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
Reattanza della linea	X <sub>L</sub>	Ω / km	0.110	0.110	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
Caduta di tensione	ΔV	V	47.6	17.7	14.6	47.2	201.4	33.1	10.5	547.5
	ΔV	%	0.16%	0.06%	0.05%	0.16%	0.67%	0.11%	0.03%	1.82%
Caduta di tensione totale			3.07%							
PORTATA			VERIFICATO							

Figura 6: Cadute di tensione Circuito 5

			CIRCUITO 6							
			WTG07 -5	WTG09 -5	WTG09 -5'	5 - 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1	Esterno dx
			ALLUMINIO 30kV ARE4H1R							
Tensione trasporto	Vn	KV	30	30	30	30	30	30	30	30
	Cosfi		0.9	0.9	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	0.4	0.4
Potenza nominale	Pn	MW	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I <sub>b</sub>	A	141.13	141.13	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26	282.26
Sezione cavo	S	mm <sup>2</sup>	185	185	630	630	630	630	630	630
Lunghezza linea	L	m	991	182	182	791	4'199	691	218	11'413
Resistenza della linea	R <sub>L</sub>	Ω / km	0.211	0.211	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064	0.064
Reattanza della linea	X <sub>L</sub>	Ω / km	0.110	0.110	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094	0.094
Caduta di tensione	ΔV	V	57.6	10.6	8.7	37.9	201.4	33.1	10.5	547.5
	ΔV	%	0.19%	0.04%	0.03%	0.13%	0.67%	0.11%	0.03%	1.82%
Caduta di tensione totale			3.02%							
PORTATA			VERIFICATO							

Figura 7: Cadute di tensione Circuito 6

			CIRCUITO 7					
			WTG05 -3	3 - 2	WTG08 -2	WTG08 -2'	2 - 1	Esterno dx
			ALLUMINIO 30kV ARE4H1R					
Tensione trasporto	Vn	KV	30	30	30	30	30	30
	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	6.60	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I <sub>b</sub>	A	141.13	141.13	141.13	282.26	282.26	282.26
Sezione cavo	S	mm <sup>2</sup>	185	185	185	630	630	630
Lunghezza linea	L	m	537	691	105	105	218	11'413
Resistenza della linea	R <sub>L</sub>	Ω / km	0.211	0.211	0.211	0.064	0.064	0.064
Reattanza della linea	X <sub>L</sub>	Ω / km	0.110	0.110	0.110	0.094	0.094	0.094
Caduta di tensione	ΔV	V	31.2	40.2	6.1	5.0	10.5	547.5
	ΔV	%	0.10%	0.13%	0.02%	0.02%	0.03%	1.82%
Caduta di tensione totale			2.13%					
PORTATA			VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO

Figura 8: Cadute di tensione Circuito 7

Circuito 1	CAVO												Portata cavo	
	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione					
	I <sub>b</sub>	S	I <sub>0</sub>	T	numero	distanza			K1	K2	K3	K4		
	A	mm <sup>2</sup>	A	°C	nr	m	m	K*m/W	ktt	kd	kp	kr		I <sub>z</sub>
WTG13-13	141.13	185	317	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	266	VERIFICATO
WTG12-13	141.13	185	317	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	228	VERIFICATO
WTG12-13'	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
13 - 12	282.26	630	710	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	595	VERIFICATO
12 - 8	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
8 - 7	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO
7 - 1	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO
Esterno sx	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO

Figura 9: Verifica portate Circuito 1

Circuito 2	CAVO												Portata cavo	
	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione					
	$I_b$	S	$I_0$	T	numero	distanza			K1	K2	K3	K4		$I_z$
	A	mm <sup>2</sup>	A	°C	nr	m	m	K*m/W	ktt	kd	kp	kr	A	
WTG11-12	141.13	300	414	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	347	VERIFICATO
12 - 8	141.13	300	414	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	298	VERIFICATO
8 - 7	141.13	300	414	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	257	VERIFICATO
WTG03-7	141.13	300	414	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	298	VERIFICATO
WTG03-7'	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
7 - 1	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO
Esterno sx	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO

Figura 10: Verifica portate Circuito 2

Circuito 3	CAVO												Portata cavo	
	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione					
	$I_b$	S	$I_0$	T	numero	distanza			K1	K2	K3	K4		$I_z$
	A	mm <sup>2</sup>	A	°C	nr	m	m	K*m/W	ktt	kd	kp	kr	A	
WTG06 -11	141.13	185	317	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	266	VERIFICATO
WTG04 -11	141.13	185	317	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	228	VERIFICATO
WTG04 -11'	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
11 - 10	282.26	630	710	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	595	VERIFICATO
10 - 9	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
9 - 8	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
8 - 7	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO
7 - 1	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO
Esterno sx	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO

Figura 11: Verifica portate Circuito 3

Circuito 4	CAVO												Portata cavo	
	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione					
	$I_b$	S	$I_0$	T	numero	distanza			K1	K2	K3	K4		$I_z$
	A	mm <sup>2</sup>	A	°C	nr	m	m	K*m/W	ktt	kd	kp	kr	A	
WTG02 -10	141.13	185	317	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	266	VERIFICATO
10 - 9	141.13	185	317	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	228	VERIFICATO
WTG01-9	141.13	185	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
WTG01-9'	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
9 - 8	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
8 - 7	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO
7 - 1	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO
Esterno sx	282.26	630	710	25	4	0.25	1.0	2.0	0.96	0.74	0.97	0.90	440	VERIFICATO

Figura 12: Verifica portate Circuito 4

Circuito 5	CAVO												Portata cavo	
	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione					
	$I_b$	S	$I_0$	T	numero	distanza			K1	K2	K3	K4		
A	mm <sup>2</sup>	A	°C	nr	m	m	K*m/W	ktt	kd	kp	kr	A		
WTG14-6	141.13	185	317	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	266	VERIFICATO
WTG10-6	141.13	185	317	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	228	VERIFICATO
WTG10-6'	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
6-4	282.26	630	710	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	595	VERIFICATO
4-3	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
3-2	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO
2-1	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO
Esterno dx	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO

Figura 13: Verifica portate Circuito 5

Circuito 6	CAVO												Portata cavo	
	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione					
	$I_b$	S	$I_0$	T	numero	distanza			K1	K2	K3	K4		
A	mm <sup>2</sup>	A	°C	nr	m	m	K*m/W	ktt	kd	kp	kr	A		
WTG07-5	141.13	185	317	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	266	VERIFICATO
WTG09-5	141.13	185	317	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	228	VERIFICATO
WTG09-5'	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
5-4	282.26	630	710	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	595	VERIFICATO
4-3	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
3-2	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO
2-1	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO
Esterno dx	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO

Figura 14: Verifica portate Circuito 6

Circuito 7	CAVO												Portata cavo	
	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione					
	$I_b$	S	$I_0$	T	numero	distanza			K1	K2	K3	K4		
A	mm <sup>2</sup>	A	°C	nr	m	m	K*m/W	ktt	kd	kp	kr	A		
WTG05-3	141.13	185	317	25	1	0.25	1.0	2.0	0.96	1.00	0.97	0.90	266	VERIFICATO
3-2	141.13	185	317	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	207	VERIFICATO
WTG08-2	141.13	185	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
WTG08-2'	282.26	630	710	25	2	0.25	1.0	2.0	0.96	0.86	0.97	0.90	512	VERIFICATO
2-1	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO
Esterno dx	282.26	630	710	25	3	0.25	1.0	2.0	0.96	0.78	0.97	0.90	464	VERIFICATO

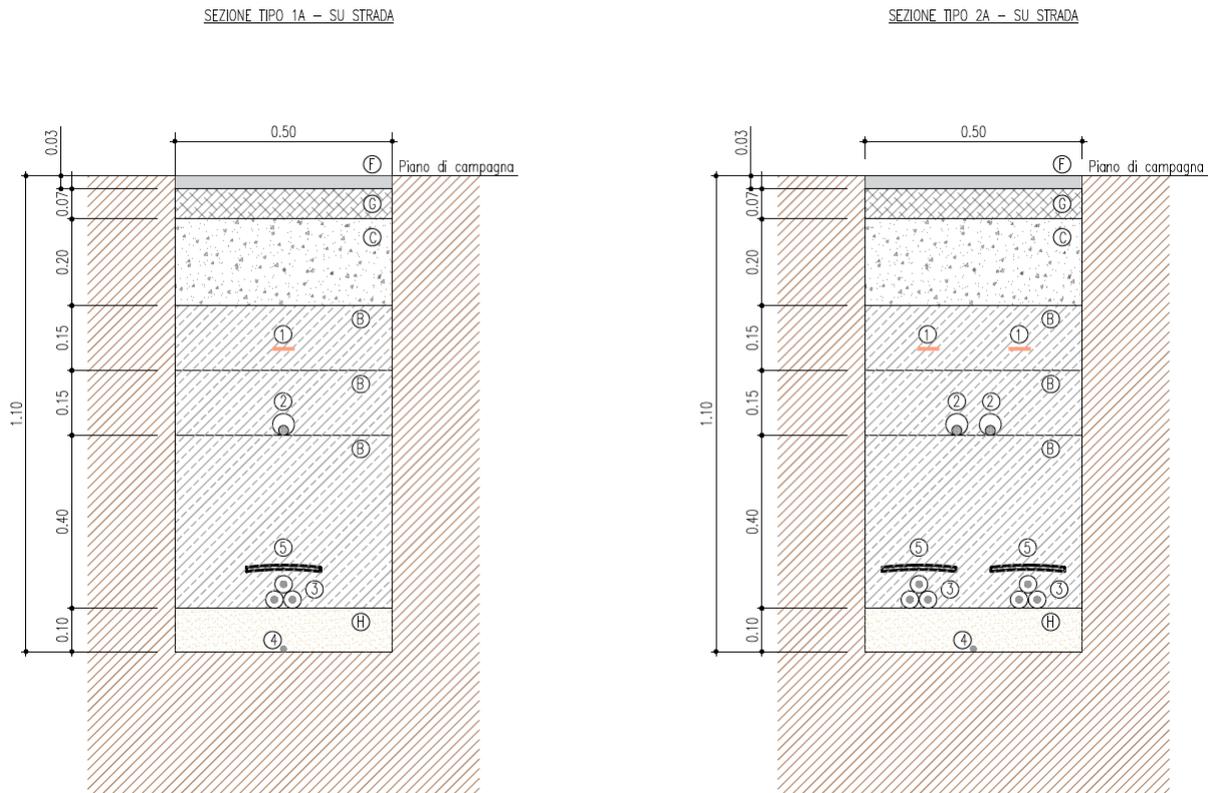
Figura 15: Verifica portate Circuito 7

La rete di cavidotti MT si estende per circa 45.4 Km di scavi, i cavi verranno posati ad una profondità non inferiore a 100 cm, con un tegolo di protezione in prossimità dei giunti (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 tra 50 e 100 cm.

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

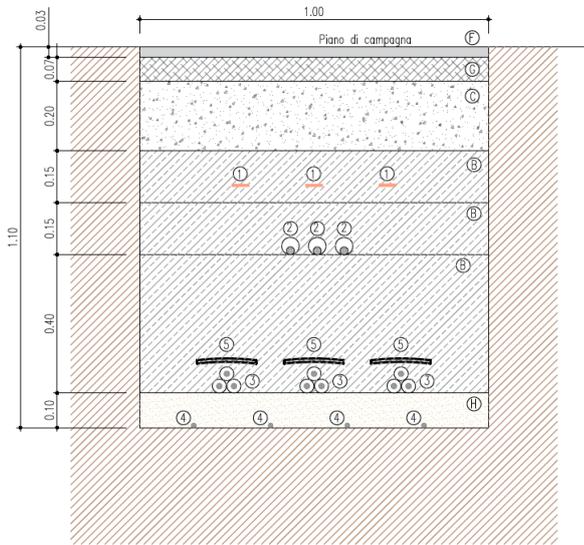
Dove necessario si dovrà provvedere alla posa indiretta dei cavi in tubi, condotti o cavedi.

Le figure seguenti riportano alcune sezioni tipo del cavidotto:

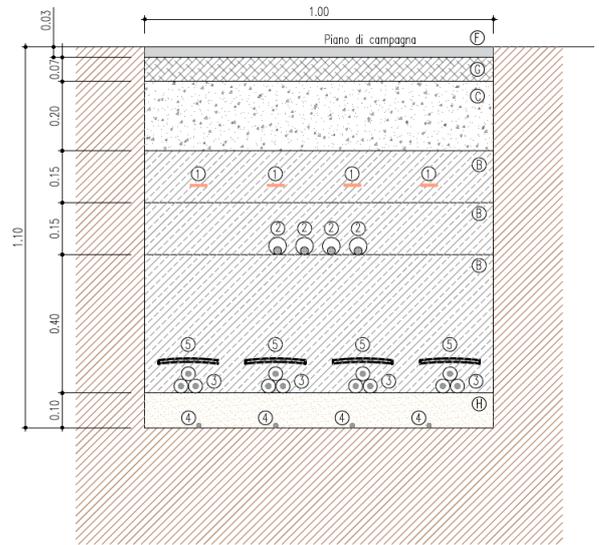


**Figura 16: Tipologico cavidotto sez: 1A e 2A**

SEZIONE TIPO 3A - SU STRADA

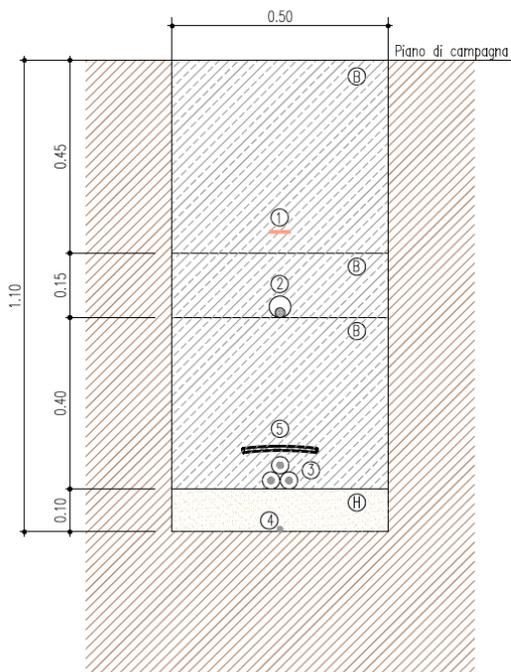


SEZIONE TIPO 4A - SU STRADA

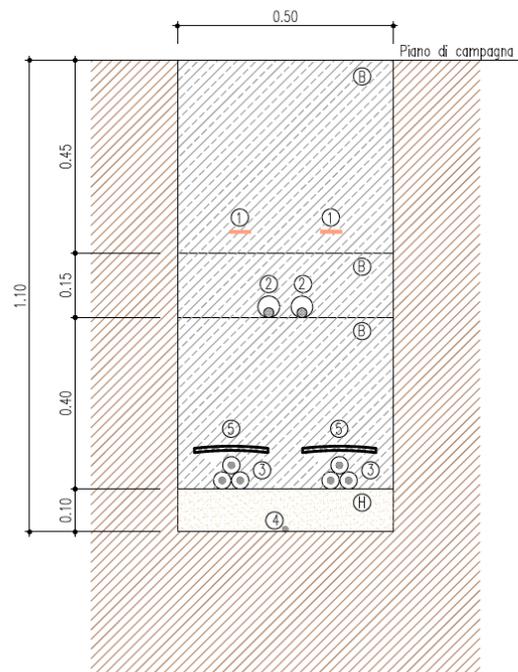


**Figura 17: Tipologico cavidotto sez: 3A e 4A**

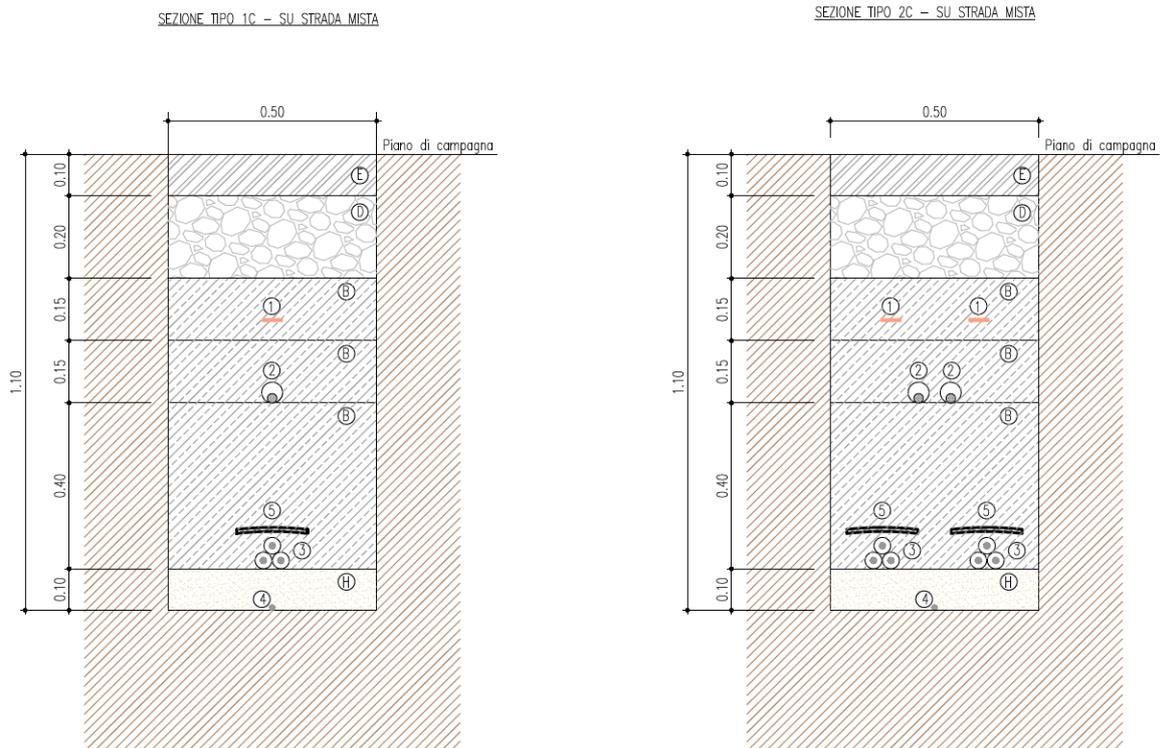
SEZIONE TIPO 1B - SU TERRENO IN FREGIO ALLA VIABILITA'



SEZIONE TIPO 2B - SU TERRENO IN FREGIO ALLA VIABILITA'



**Figura 18: Tipologico cavidotto sez: 1B e 2B**



**Figura 19: Tipologico cavidotto sez: 1C e 2C**

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

## **2 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.

### **2.1 Individuazione delle strutture da proteggere**

---

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

- gli 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.

### **2.2 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:

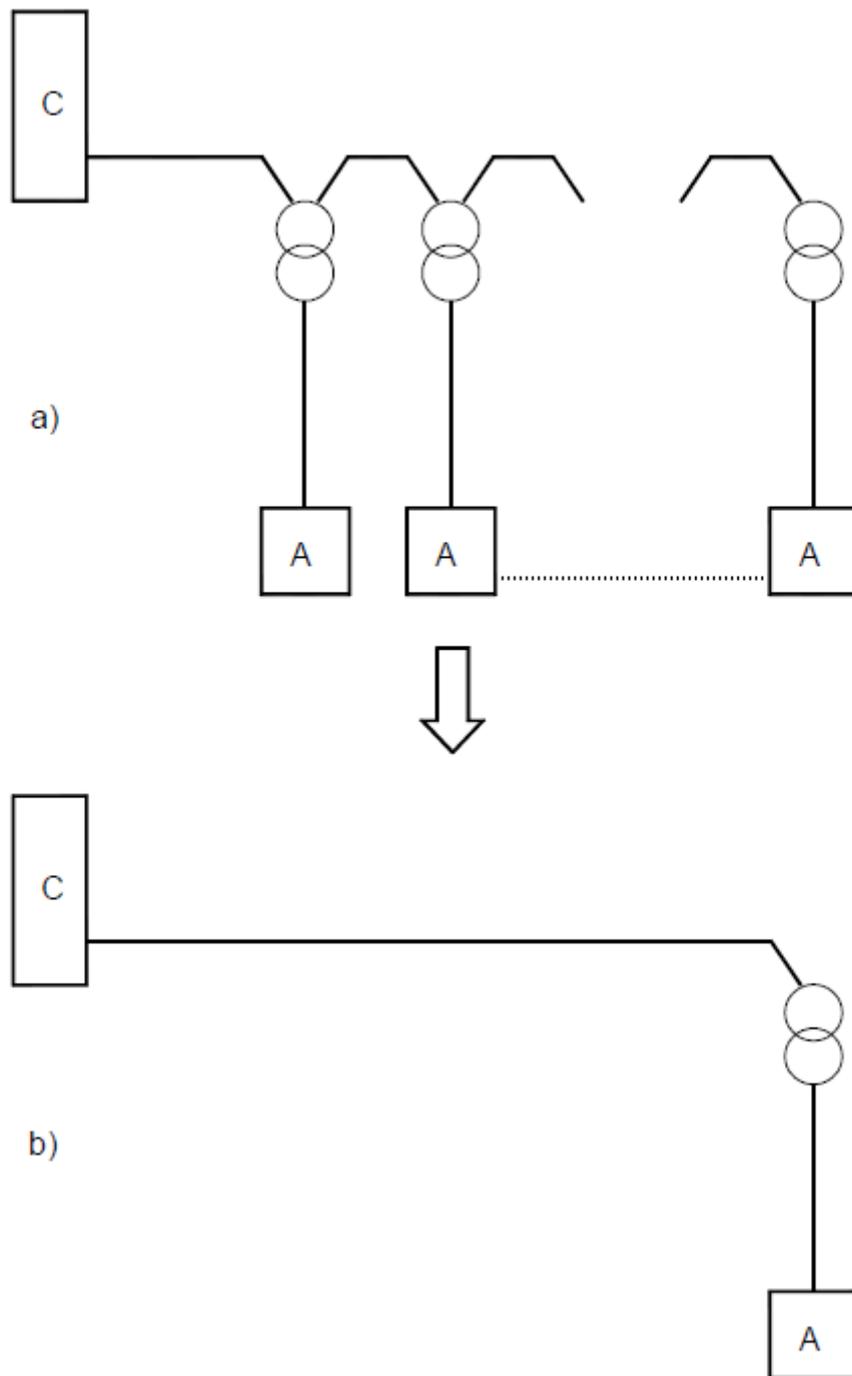
- $N_D$  = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura
- $N_L$  = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta di una linea
- $N_{Dj}$  = numero di eventi pericolosi per fulminazione diretta della struttura adiacente
- $P_A$  = probabilità di danno ad esseri viventi (fulminaz.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

Il collegamento tra tali strutture è schematizzato nella seguente figura seguente.



**Figura 20: schemi di collegamento**

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):

- $N_g = 1,80$  fulmini/anno/km<sup>2</sup> – area parco eolico;
- $N_g = 2,00$  fulmini/anno/km<sup>2</sup> – area SET.

Tipi di struttura: Struttura di tipo industriale

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

- Aerogeneratori: vegetale

Rischio di incendio:

- Aerogeneratori: ordinario
- Cabina di consegna: ordinario

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

Coefficiente di posizione delle strutture:

- 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 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.

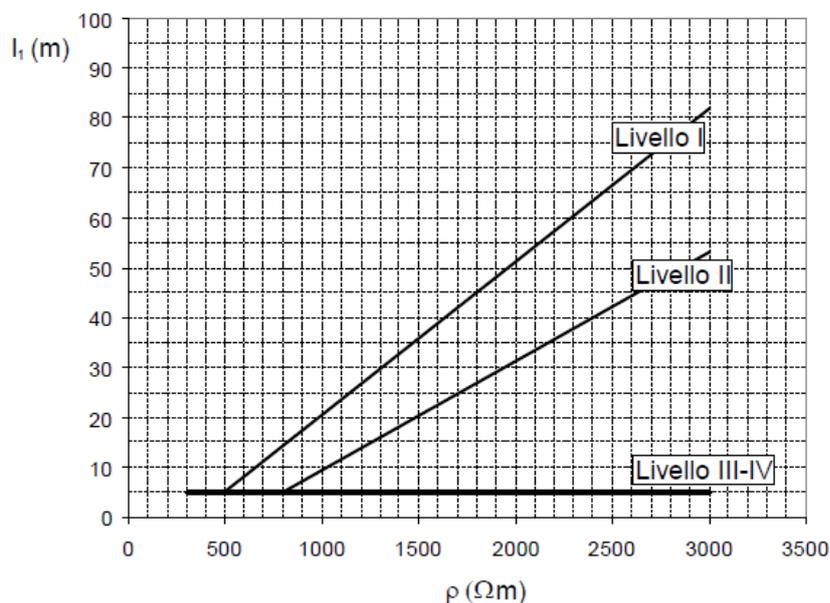
## 2.3 Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini

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.