



REGIONE
TOSCANA



COMUNE DI
ORBETELLO



PROVINCIA DI
GROSSETO

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Orbetello" di potenza in immissione massima pari a 61,2 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Orbetello (Gr)

Titolo elaborato

Relazione tecnica dei sistemi elettrici

Codice elaborato

F0544AR08A

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. Monica COIRO
Ing. Federica COLANGELO
Ing. Gerardo Giuseppe SCAVONE
Ing. jr. Flavio Gerardo TRIANI
Arch. Gaia TELESCA
Ing. Manuela NARDOZZA



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

Apollo Wind s.r.l.

Via della Stazione,7
39100 – Bolzano (Bz)

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

Sommario

1	Informazioni essenziali	3
2	Schema di connessione alla RTN	4
2.1	Cabina di raccolta	4
2.2	Cavidotti	4
3	Criteri di scelta delle soluzioni impiantistiche di protezione contro i fulmini, con l'individuazione e la classificazione del volume da proteggere	15
3.1	Individuazione delle strutture da proteggere	15
3.2	Calcolo delle componenti di rischio	15
3.3	Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini	20

1 Informazioni essenziali

Proponente	Apollo Wind s.r.l.
Potenza nominale complessiva	59.4 MW
Potenza di immissione in rete	59.4 MW
Potenza nominale massima singola WTG	6.6 MW
Numero aerogeneratori	9
Altezza hub	115 m
Diametro rotore	170 m
Altezza totale	200 m
Lunghezza pala	85 m
Area poligono impianto	698.9 ha
Coordinate WTG	Relazione generale

L'intervento proposto consiste nella realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Orbetello", localizzato nel territorio comunale di Orbetello, in provincia di Grosseto. L'impianto sarà composto da n. 9 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 59.4 MW, in accordo con quanto previsto nella STMG Terna ID 202200206. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel Comune di Orbetello (Gr).

Gli aerogeneratori che potranno essere installati sono delle seguenti tipologie: Siemens Gamesa SG170-HH115 m o altro modello simile.

Il progetto proposto ricade **al punto 2 dell'elenco di cui all'allegato II alla Parte Seconda del d.lgs. n. 152/2006 e s.m.i., come modificato dal d.lgs. n. 104/2017, "impianti eolici per la produzione di energia elettrica sulla terraferma con potenza complessiva superiore a 30 MW"**, pertanto risulta soggetto al procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale per il quale il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza energetica di concerto con il Ministero della Cultura, svolge il ruolo di autorità competente in materia.

2 Schema di connessione alla RTN

La soluzione Tecnica Minima Generale prevede che la centrale venga collegata in antenna a 36 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) a 36/132 kV della RTN nel territorio comunale di Orbetello, in particolare, l'energia prodotta dagli aerogeneratori del parco in oggetto verrà convogliata tramite un cavidotto interrato a 36 kV.

2.1 Cabina di raccolta

La cabina di raccolta posizionata nei pressi della futura stazione Terna sarà costituita da un fabbricato in c.a.o. di dimensioni in pianta pari a 24,30 m x 10,50 m,

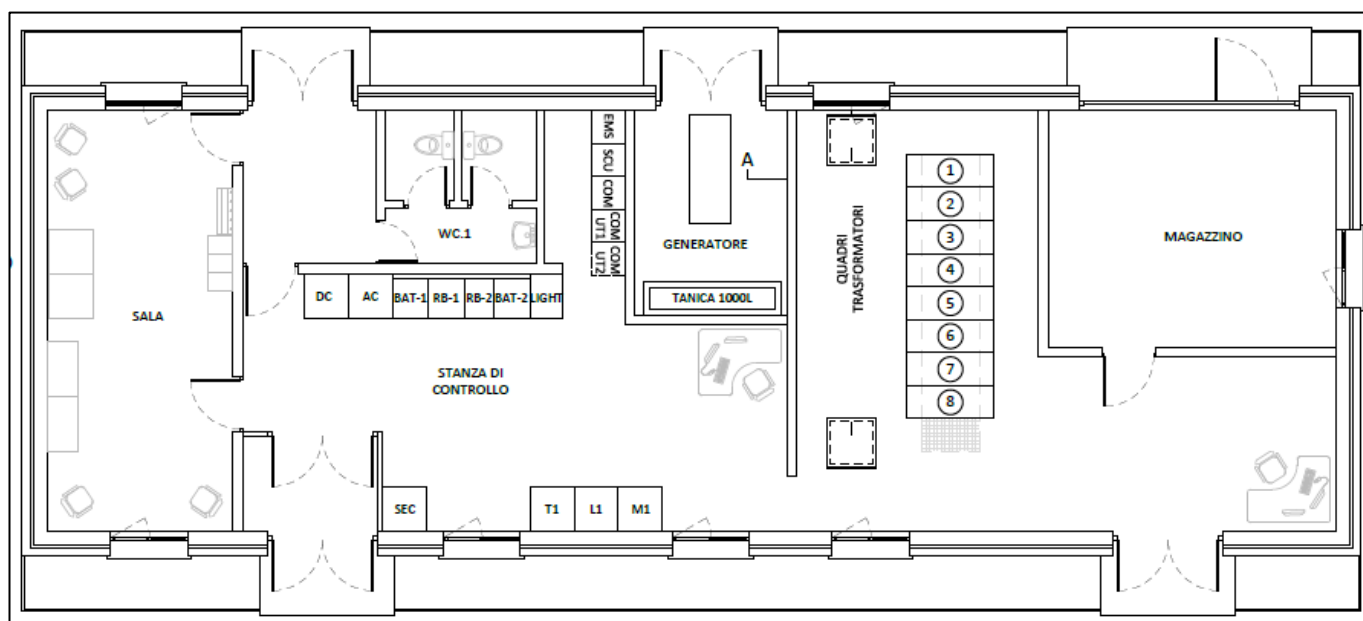


Figura 1: Cabina di raccolta

all'interno del quale saranno alloggiati i quadri di arrivo dei due circuiti a 36kV provenienti dal parco eolico nonché il quadro di partenza del collegamento verso la SE sempre con un cavidotto a 36kV. Inoltre, la cabina sarà dotata di locali magazzino, control room e servizi igienici.

2.2 Cavidotti

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 (0.690/36 kV);
- la cella (36 kV) per la partenza verso i quadri di macchina e da lì verso la Stazione di trasformazione.

Gli aerogeneratori del campo saranno suddivisi in 4 circuiti (o sottocampi) così costituiti:

- Sottocampo 1: $6.6 \times 2 = 13.2$ MW (T08-T07-Cabina di raccolta);
- Sottocampo 2: $6.6 \times 2 = 13.2$ MW (T09-T06-Cabina di raccolta);
- Sottocampo 3: $6.6 \times 2 = 13.2$ MW (T05-T04-Cabina di raccolta);
- Sottocampo 4: $6.6 \times 3 = 19.8$ MW (T03-T02-T01-Cabina di raccolta).

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 Cabina di raccolta 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 dei cavi pari a circa 37,4 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 100 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/mm^2 rispetto alla sezione totale. Il raggio di curvatura dei cavi durante le operazioni di installazione non dovrà essere inferiore a 3 m.

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

In corrispondenza dell'estremità di cavo connesso alla 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.

Su ciascun tronco fra l'ultima turbina e la cabina di raccolta verranno collocati dei giunti di isolamento tra gli schermi dei due diversi impianti di terra (dispersore di terra della stazione elettrica e dispersore di terra dell'impianto eolico). Essi garantiranno la tenuta alla tensione che si può stabilire tra i due schermi dei cavi a 36kV.

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

- posa del cavo, da terra al relativo cassetto ottico, previa eliminazione della parte eccedente, con fissaggio del cavo o a parete o ad elementi verticali con apposite fascette, ogni 0,50 m circa;
- sbucciatura progressiva del cavo;
- fornitura ed applicazione, su ciascuna fibra ottica, di connettore;
- esecuzione della "lappatura" finale del terminale;
- fissaggio di ciascuna fibra ottica.

Le figure seguenti riportano alcune sezioni tipo del cavidotto:

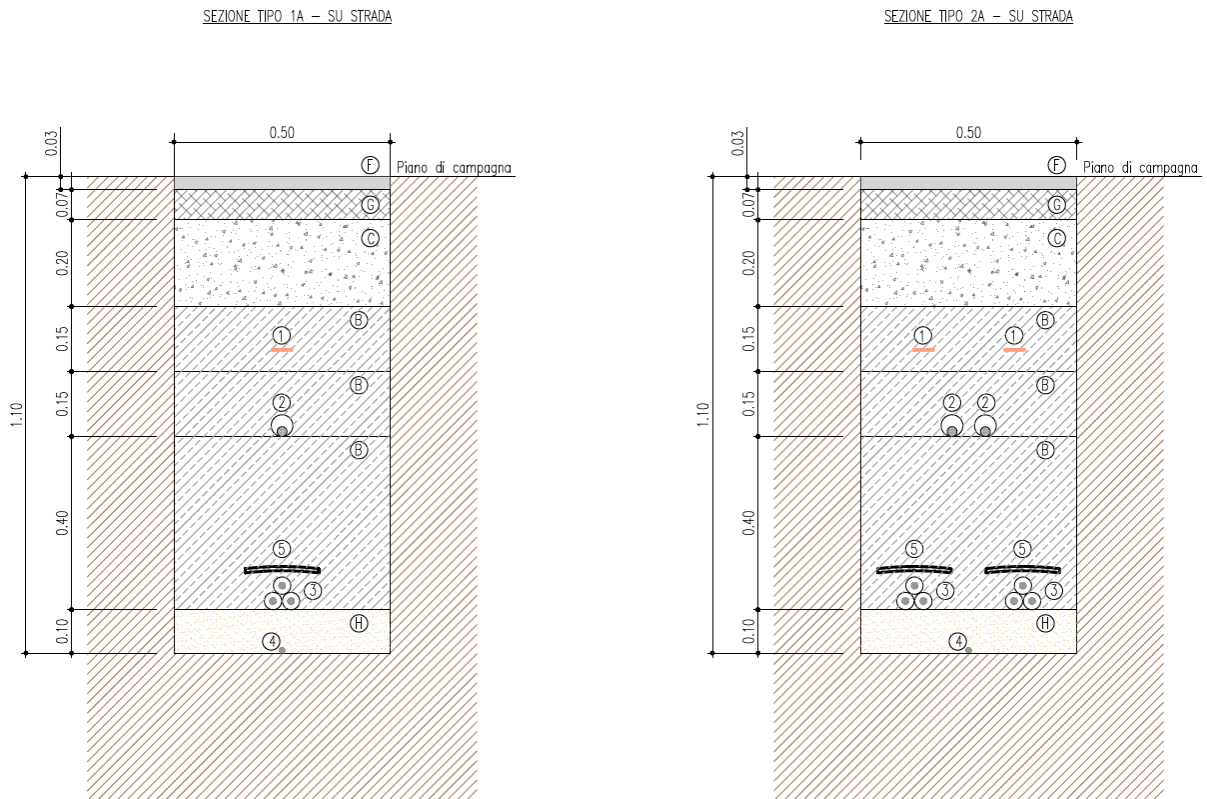


Figura 2: Tipologico cavidotto sez: 1A e 2A

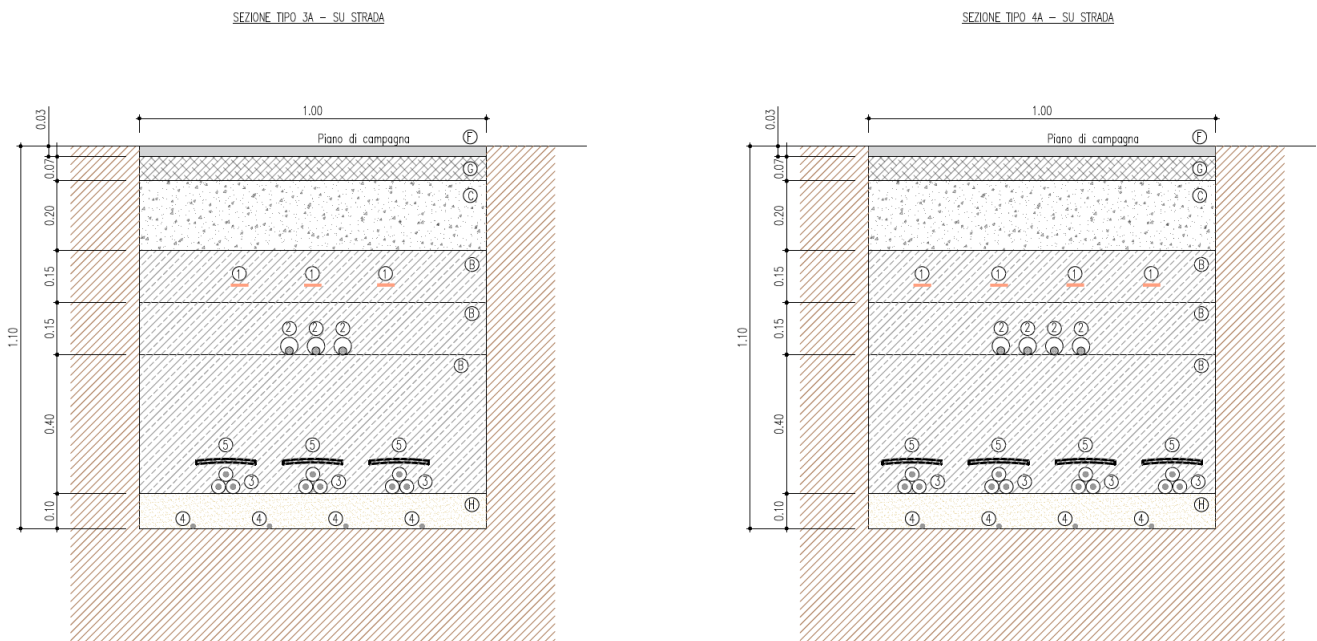


Figura 3: Tipologico cavidotto sez: 3A e 4A

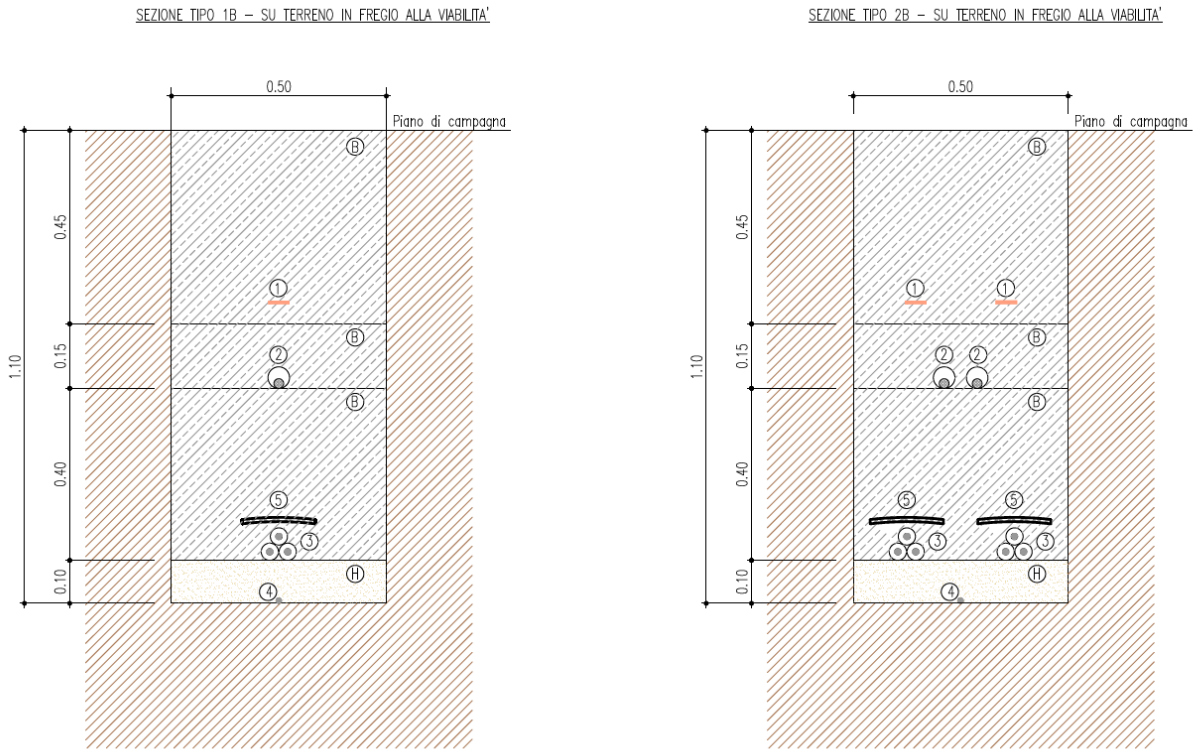


Figura 4: Tipologico cavidotto sez: 1B e 2B

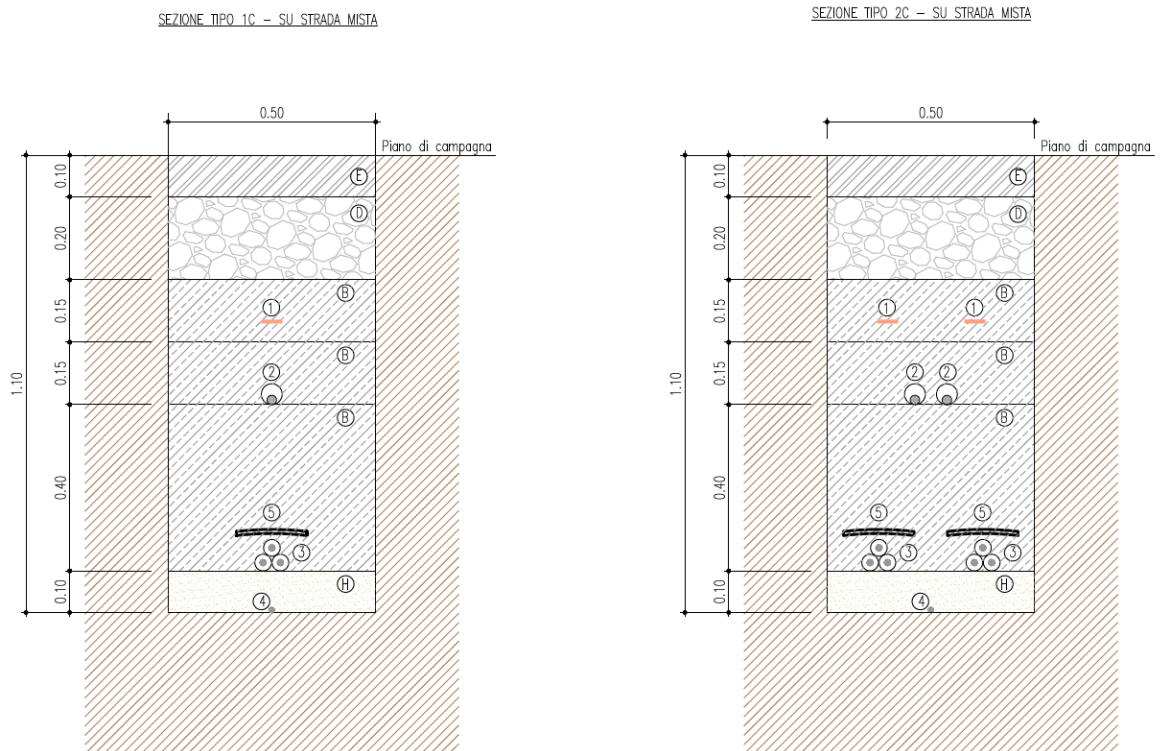


Figura 5: Tipologico cavidotto sez: 1C e 2C

SEZIONE TIPO 4B - SU TERRENO IN FREGIO ALLA VIABILITA'

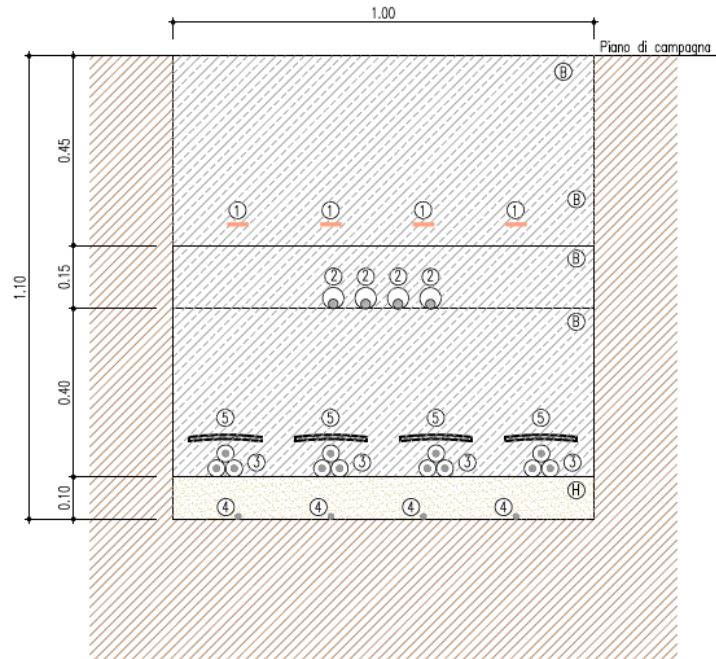


Figura 6: Tipologico cavidotto sez: 4B

SEZIONE TIPO 3C - SU STRADA MISTA

SEZIONE TIPO 4C - SU STRADA MISTA

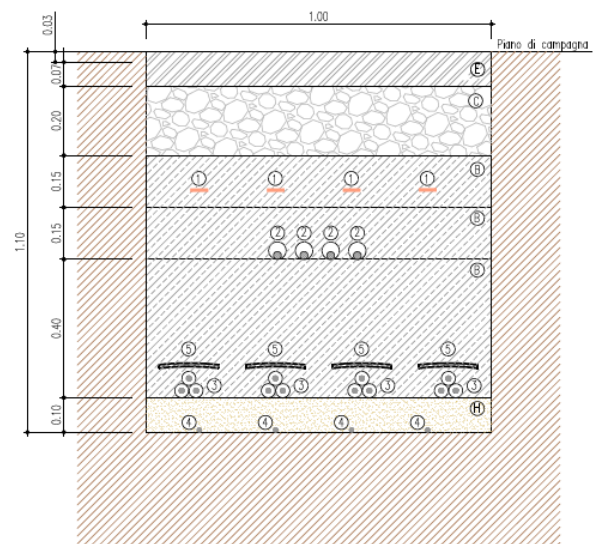
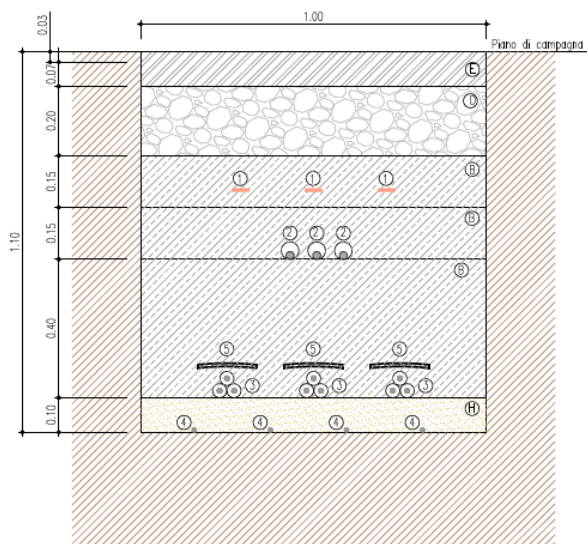


Figura 7: Tipologico cavidotto sez: 3C e 4C

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

I cavi principali AT 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 ARE4H5EE, considerando una resistività terreno di 1.5 Km/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 0.94;
- $K2$ = 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 comunque un valore pari a 1.00.
- 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.

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Orbetello" di potenza in immissione massima pari a 61,2 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Orbetello (Gr)

Relazione tecnica dei sistemi elettrici

CIRCUITO	ESTERNO										Cavidotto esterno	
	T08-8	T07-8	T07-8	T07-8	8-7	7-6	6-5	5-4	4-3	3-2		2-1
TIPO CAVO	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREHSEE 20,8/36k
Tensione trasporto	Vn	KV	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Cosfi			0,9	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	0,4
Potenza nominale	Pn	MW	6,60	6,60	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20
Corrente di impiego	I _b	A	117,61	117,61	235,22	235,22	235,22	235,22	235,22	235,22	235,22	235,22
sezione cavo	S	mm ²	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Lunghezza linea	L	m	1749	574	574	148	1735	728	490	557	2100	2443
Resistenza della linea	R _L	Ω / km	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Reattanza della linea	X _L	Ω / km	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116
Caduta di tensione	ΔV	V	58,1	19,1	38,1	9,8	115,3	48,4	32,6	37,0	139,5	162,3
	ΔV	%	0,16%	0,05%	0,11%	0,03%	0,32%	0,13%	0,09%	0,10%	0,39%	0,45%
PORTATA			VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO

Circuito	Potenza	Tensione	cosfi	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Materiale cavo	Materiale Isolamento	Portata nominale	Temp. terreno	terne		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione				Portata cavo	
										numero	distanza			K1	K2	K3	K4	I _c	A
	P	Vn		I _b	S			I _b	T	nr	m	m	K ^m /W	kt	kd	kp	kr	I _c	A
T08-8	6,6	36	0,9	117,61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	1	0,25	1,0	1,5	0,94	1,00	0,97	1	337	310
T07-8	6,6	36	0,9	117,61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	310
T07-8	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	310
8-7	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	1	0,25	1,0	1,5	0,94	1,00	0,97	1	310	310
7-6	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	310
6-5	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	310
5-4	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	3	0,25	1,0	1,5	0,94	0,84	0,97	1	283	283
4-3	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	3	0,25	1,0	1,5	0,94	0,84	0,97	1	283	283
3-2	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0,25	1,0	1,5	0,94	0,80	0,97	1	270	270
2-1	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0,25	1,0	1,5	0,94	0,80	0,97	1	270	270
Cavidotto esterno	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0,25	1,0	1,5	0,94	0,80	0,97	1	270	270

Figura 8: Cadute di tensione e verifica portate Circuito 1



ESTERNO											
CIRCUITO	T09-7	7-6	T06-6	T06-6	T06-6	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1	Cavidotto esterno
TIPO CAVO	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k	ALLUMINIO AREASHEE 20,8/36k
Tensione trasporto	Vn	KV	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Cosfi			0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Sinfi			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 _b	A	117,61	117,61	235,22	235,22	235,22	235,22	235,22	235,22	235,22
sezione cavo	S	mm ²	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Lunghezza linea	L	m	148	922	922	1735	728	490	557	2100	21443
Resistenza della linea	R _l	Ω / km	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Reattanza della linea	X _l	Ω / km	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116
Caduta di tensione	ΔV	V	10,9	4,9	61,3	115,3	48,4	32,6	37,0	139,5	162,3
	ΔV	%	0,03%	0,01%	0,09%	0,32%	0,13%	0,09%	0,10%	0,39%	0,45%
PORTATA			VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO

Circuito	Potenza	Tensione	cosfi	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Materiale cavo	Materiale isolamento	Portata nominale	Temp. terreno	teme		Profondità di posa	Resistività termica	fattori di correzione				Portata cavo	
										numero	distanza			K1	K2	K3	K4		
T09-7	6,6	36	0,9	117,61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	1	0,25	1,0	1,5	0,94	1,00	0,97	1	337	VERIFICATO
7-6	6,6	36	0,9	117,61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	VERIFICATO
T06-6	6,6	36	0,9	117,61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	VERIFICATO
T06-6	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	VERIFICATO
7-6	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	VERIFICATO
6-5	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0,25	1,0	1,5	0,94	0,92	0,97	1	310	VERIFICATO
5-4	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	3	0,25	1,0	1,5	0,94	0,84	0,97	1	283	VERIFICATO
4-3	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	3	0,25	1,0	1,5	0,94	0,84	0,97	1	283	VERIFICATO
3-2	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0,25	1,0	1,5	0,94	0,84	0,97	1	283	VERIFICATO
2-1	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0,25	1,0	1,5	0,94	0,84	0,97	1	283	VERIFICATO
Cavidotto esterno	13,2	36	0,9	235,22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0,25	1,0	1,5	0,94	0,84	0,97	1	283	VERIFICATO

Figura 9: Cadute di tensione e verifica portate Circuito 2



ESTERNO									
CIRCUITO	T05-5	5-4	T04-4	T04-4	4-3	3-2	2-1	Cavidotto esterno	
TIPO CAVO	ALLUMINIO ARE4HSEE20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE 20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE 20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE 20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE 20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE 20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE 20,8/36k	ALLUMINIO ARE4HSEE 20,8/36k
Tensione trasporto	Vn KV	36	36	36	36	36	36	36	36
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	6.60	13.20	13.20	13.20	13.20
Corrente di impiego	I _b A	117.61	117.61	117.61	117.61	235.22	235.22	235.22	235.22
sezione cavo	S mm ²	240	240	240	240	240	240	240	240
Lunghezza linea	L m	544	728	624	624	624	624	557	2100
Resistenza della linea	R _L Ω / km	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
Reattanza della linea	X _L Ω / km	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116
Caduta di tensione	ΔV V	18.1	24.2	20.7	20.7	41.5	32.6	37.0	139.5
	ΔV %	0.05%	0.07%	0.06%	0.06%	0.12%	0.09%	0.10%	0.39%
PORTATA		VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO

Circuito	Potenza P MW	Tensione Vn KV	cosfi	Corrente di utilizzo I _b A	Sezione cavo S mm ²	Materiale cavo	Materiale isolamento	Portata nominale I ₀ A	Temp. terreno T °C	teme		Profondità di posa m	Resistività termica K ^m /W	fattori di correzione				Portata cavo		
										numero	distanza m			K1	K2	K3	K4	I ₁	I ₂	
T05-5	6.6	36	0.9	117.61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	1	0.25	1.0	1.5	0.94	1.00	0.97	1	kr	A	VERIFICATO
5-4	6.6	36	0.9	117.61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	3	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	283	283	VERIFICATO
T04-4	6.6	36	0.9	117.61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0.25	1.0	1.5	0.94	0.92	0.97	1	310	310	VERIFICATO
T04-4	13.2	36	0.9	235.22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0.25	1.0	1.5	0.94	0.92	0.97	1	283	283	VERIFICATO
3-2	13.2	36	0.9	235.22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	288	288	VERIFICATO
2-1	13.2	36	0.9	235.22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	288	288	VERIFICATO
Cavidotto esterno	13.2	36	0.9	235.22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	288	288	VERIFICATO

Figura 10: Cadute di tensione e verifica portate Circuito 3

CIRCUITO	ESTERNO										Cav/dotto esterno	
	T03-3	3-2	T02-2	2-1	T01-1	T01-1	T01-1	T01-1	T01-1	T01-1		
TIPO CAVO	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	ALLUMINIO AREA4H5EE20,8/36k	
Tensione trasporto	Vn	KV	36	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	36
Cosfi			0.9	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.9
Snffi			0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Potenza nominale	Pn	MW	6.60	6.60	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	19.80	19.80	19.80
Corrente di impiego	I _b	A	117.61	117.61	235.22	235.22	235.22	235.22	235.22	352.83	352.83	352.83
sezione cavo	S	mm ²	240	240	240	240	240	240	240	500	500	500
Lunghezza linea	L	m	557	557	596	596	596	596	596	160	160	2443
Resistenza della linea	R _L	Ω / km	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.061	0.061	0.061
Reattanza della linea	X _L	Ω / km	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.104	0.104	0.104
Caduta di tensione	ΔV	V	10.2	18.5	19.8	19.8	39.6	139.5	10.6	9.8	149.0	149.0
	ΔV	%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.11%	0.39%	0.03%	0.03%	0.41%	0.41%
PORTATA			VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO	VERIFICATO

Circuito	Potenza	Tensione	costi	Corrente di utilizzo	Sezione cavo	Materiale cavo	Materiale isolamento	Portata nominale	Temp. terreno	CAVO			Resistività termica	fattori di correzione				Portata cavo
										numero	distanza	teme		K1	K2	K3	K4	
	P	Vn		I _b	S			I _b	T	numero	distanza	teme	K1	K2	K3	K4	I ₁	
T03-3	6.6	36	0.9	117.61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	1	0.25	1.0	1.5	0.94	1.00	0.97	1	337
3-2	6.6	36	0.9	117.61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0.25	1.0	1.5	0.94	0.80	0.97	1	270
T02-2	6.6	36	0.9	117.61	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0.25	1.0	1.5	0.94	0.92	0.97	1	310
T02-2	13.2	36	0.9	235.22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	2	0.25	1.0	1.5	0.94	0.92	0.97	1	310
2-1	13.2	36	0.9	235.22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	3	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	283
T01-1	13.2	36	0.9	235.22	240	ALLUMINIO	EPR	370	25	4	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	283
T01-1	19.8	36	0.9	352.83	500	ALLUMINIO	EPR	545	25	4	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	417
Cav/dotto esterno	19.8	36	0.9	352.83	500	ALLUMINIO	EPR	545	25	4	0.25	1.0	1.5	0.94	0.84	0.97	1	417

Figura 11: Cadute di tensione e verifica portate Circuito 4

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:

- 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.

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:

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

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

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

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

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.

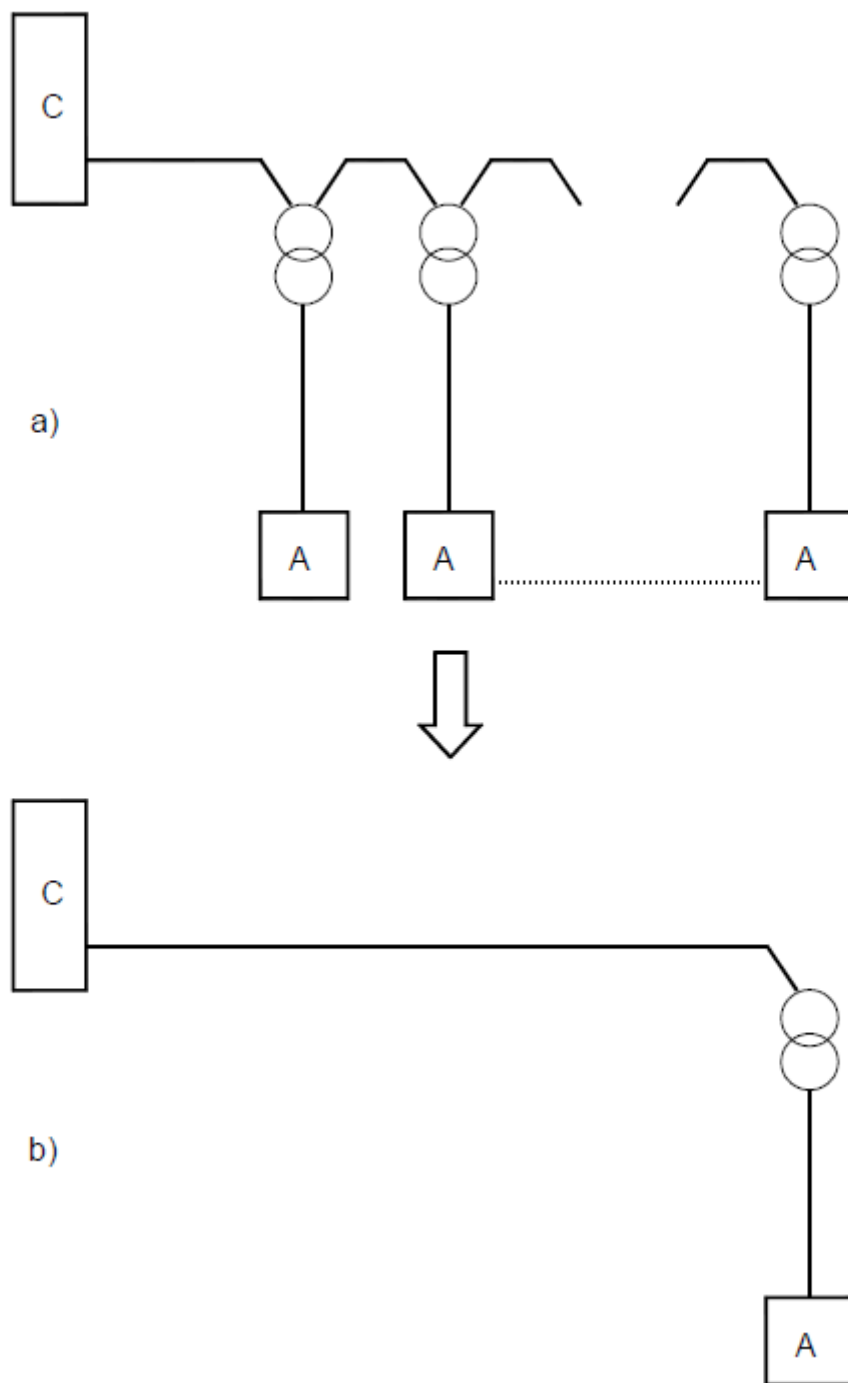


Figura 12: schemi di collegamento

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/km² – area parco eolico;
- $N_g = 2,00$ fulmini/anno/km² – 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.

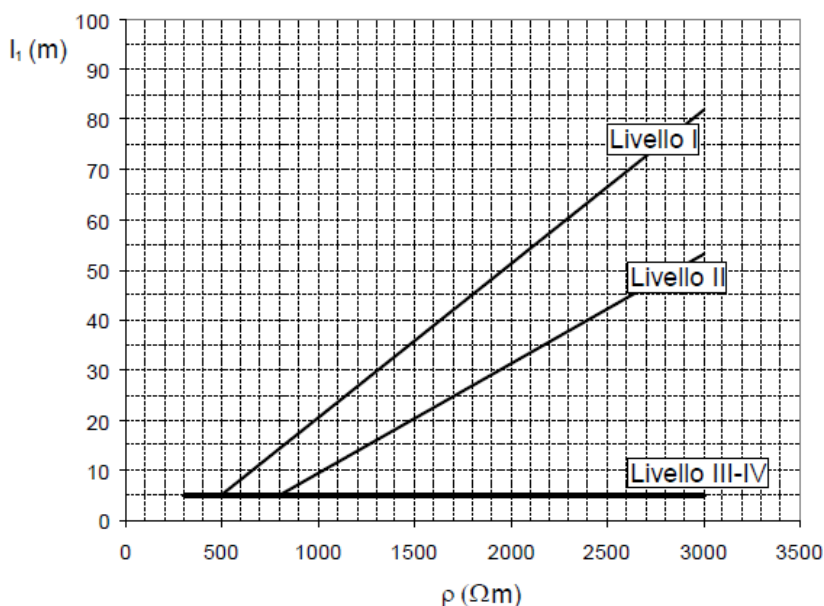
3.3 Verifica del dispersore dell'aerogeneratore ai fini della protezione contro i fulmini

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 I_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 $I_1 = 5 m$.



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:

$$r \geq 5m$$

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.