

REGIONE SARDEGNA

Provincia di Sassari

COMUNE DI CALANGIANUS



00	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	10/05/2024	DE LUCA S.	SIGNORELLO A.	FURNO C.
00	EMISSIONE PER COMMENTI	12/04/2024	DE LUCA S.	SIGNORELLO A.	FURNO C.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.

Committente:

AEI WIND PROJECT XVI S.R.L.

Sede Legale: Via Savoia n. 78 - 00198 - Roma (RM) - Italia
PEC: aeiwindprojectxvi@legalmail.it

**AEI WIND
PROJECT XVI S.R.L.**

P.I. 17264911003
Via Savoia 78
00198 Roma

Società di Progettazione:

Ingegneria & Innovazione

Progettista/Resp. Tecnico:



Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere
96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409
Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it

Dott. Ing. Cesare Furno
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Catania
n° 6130 sez. A

Progetto:

IMPIANTO EOLICO TEMPIO II

Progettista:

Tavola:

RELAZIONE TECNICA
CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI

Dott. Ing. Antonino Signorello
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Catania
n° 6105 sez. A

Scala:

—:—

Nome DIS/FILE:

C23046S05-PD-RT-09-01

Allegato:

1/1

F.to:

A4

Livello:

DEFINITIVO

Il presente documento è di proprietà della ANTE GROUP S.r.l.

È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta. La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.



Documento informatico firmato digitalmente
ai sensi dell'art. 24 D. Lgs. 82/2005 e ss.mm.ii.



INDICE

1. PREMESSA	3
2. SCOPO	3
3. PARAMETRI DI IMPIANTO PER LA CONNESSIONE – (CODICE PRATICA: 202301413)	3
4. SOLUZIONE DI CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202301413).....	4
5. PROGETTAZIONE DEI CAVIDOTTI AT @36 kV	5
5.1. Specifiche tecniche cavi in alluminio AT @36kV - ARG7H1R – 26/45 kV – Umax 56 kV	5
5.2. Dimensionamento dei cavi in funzione delle condizioni di posa	6
5.3. Determinazione della potenza/corrente di cortocircuito AT.....	8
5.4. Dimensionamento dei cavi in funzione delle sollecitazioni termiche di cortocircuito.....	10
5.5. Dimensionamento dei cavi in funzione della caduta di tensione.....	12
5.6. Dimensionamento dei cavi in funzione della temperatura di funzionamento.....	13
5.7. Linee in cavo interrato – Attraversamento di canali.....	14
5.8. Linee in cavo interrato – Distanze di rispetto da impianti ed opere interferenti.....	14
6. DIMENSIONAMENTO QUADRI AT @36kV	14
7. RETE DI TERRA	15
7.1. Dimensionamento di massima della rete di terra.....	15
7.2. Dimensionamento termico del dispersore	15
7.3. Tensioni di contatto e di passo	16
7.4. Rete di terra aerogeneratori	16
7.5. Sistema di terra.....	16
7.6. Rete di terra Cabina Utente di Consegna.....	17



1. PREMESSA

Per conto della società proponente, AEI WIND PROJECT XVI S.R.L., società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di ABEI ENERGY & INFRASTRUCTURE S.L., dedicata allo sviluppo, realizzazione e gestione per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, la società Antex Group S.r.l. ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato **Impianto eolico "Tempio II"** da realizzarsi nel territorio del Comune di Calangianus, appartenente alla provincia di Sassari. Il progetto prevede l'installazione di n. 6 aerogeneratori da 6,6 MW ciascuno, per una potenza complessiva pari a 39,6 MW. Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete elettrica nazionale tramite la posa di un cavidotto interrato su strade esistenti e la realizzazione di una nuova cabina utente per la consegna collegata in antenna a 36 kV sulla nuova Stazione Elettrica (SE) di Smistamento della RTN a 150 kV in GIS denominata "Tempio" (prevista dal Piano di sviluppo Terna) da collegare, tramite due nuovi elettrodotti a 150 kV, a una nuova Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN a 380/150 kV da collegare tramite un elettrodotto 380 kV al futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN di Codrongianos.

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl. Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

Antex Group pone a fondamento delle proprie attività, quale elemento essenziale della propria esistenza come unità economica organizzata ed a garanzia di un futuro sviluppo, i principi della qualità, come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

2. SCOPO

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento preliminare degli impianti elettrici necessari per la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato **Impianto eolico "Tempio II"** che il proponente intende realizzare nei territori del Comune di Calangianus (SS).

3. PARAMETRI DI IMPIANTO PER LA CONNESSIONE – (CODICE PRATICA: 202301413)

La potenza in immissione richiesta per l'impianto in esame è pari a 39,6 MW.

La potenza produttiva dell'impianto è pari a 39,6 MW.

La potenza in prelievo richiesta per i S.A. dell'impianto è pari a 200 kW.

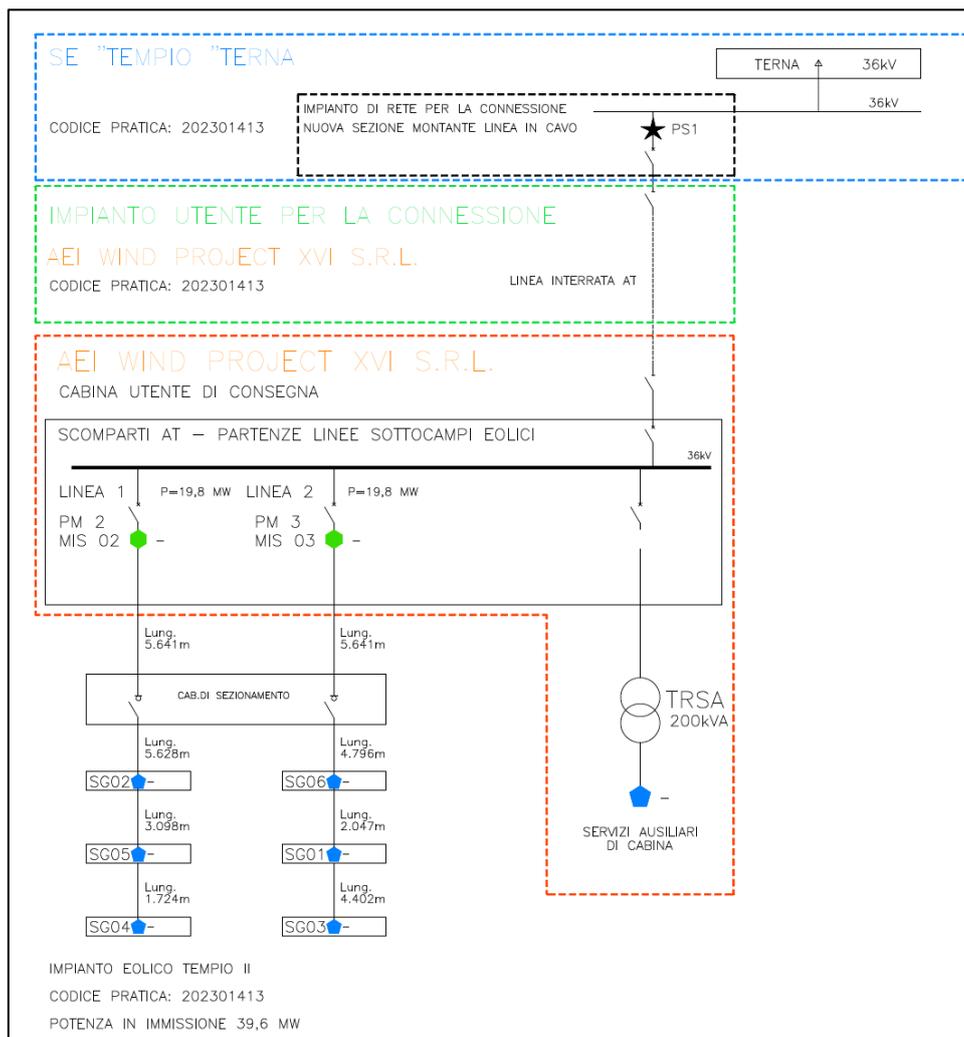
4. SOLUZIONE DI CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202301413)

Per la connessione alla RTN è stato richiesto ed accettato il preventivo di connessione rilasciato Terna avente Codice Pratica: 202301413.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la centrale venga collegata in antenna a 36 kV sulla nuova Stazione Elettrica (SE) di Smistamento della RTN a 150 kV in GIS denominata “Tempio” (prevista dal Piano di sviluppo Terna) da collegare, tramite due nuovi elettrodotti a 150 kV, a una nuova Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN a 380/150 kV da collegare tramite un elettrodotto 380 kV al futuro ampliamento della Stazione Elettrica di Trasformazione della RTN di Codrongianos.

Ai sensi dell’art. 21 dell’allegato A alla deliberazione Arg/elt/99/08 e s.m.i. dell’Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, il nuovo elettrodotto a 36 kV per il collegamento in antenna dell’impianto sulla Stazione Elettrica della RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Viene di seguito mostrato lo schema a blocchi per la connessione dell’impianto eolico alla rete di Terna:



5. PROGETTAZIONE DEI CAVIDOTTI AT @36 kV

5.1. Specifiche tecniche cavi in alluminio AT @36kV - ARG7H1R – 26/45 kV – Umax 56 kV

La scelta del conduttore, ARG7H1R 26/45kV è stata effettuata in base a considerazioni sui carichi e sui criteri di esercizio delle terne e sugli eventuali ampliamenti di potenza della connessione.

Il conduttore è a corda rigida di alluminio, classe 2. Lo strato semiconduttivo interno è costituito da elastomero estruso. L'isolante è costituito da una miscela di gomma ad alto modulo G7 di qualità DIH2. Lo strato semiconduttivo esterno è costituito da materiale elastomerico estruso pelabile a freddo. Lo schermo metallico esterno è costituito da fili di rame rosso. Il rivestimento protettivo esterno è una guaina in polivinilcloruro (PVC) di colore rosso con qualità RZ/ST2.



ARG7H1R 26/45 kV

Model Product: 754 - 20160412

Cavi con conduttore in Alluminio per collegamenti tra cabine di trasformazione e le grandi utenze
Cables with aluminum conductor for connections between substations and large users

Norme di riferimento

Standards

CEI 20-13, HD 620



Conduttore a corda rigida di ALLUMINIO, classe 2.

Semiconduttore interno elastomerico estruso

Isolamento in G7 di qualità DIH2

Semiconduttore esterno elastomerico estruso pelabile a freddo per il grado 1,8/3kV solo su richiesta

Schermo costituito a fili di rame rosso

Guaina PVC qualità RZ/ST2

Aluminium rigid compact conductor, class 2.

Inner semi-conducting layer

G7 Insulation quality DIH2

Outer semi-conducting layer special high module hepr for 1.8 / 3 kV only on request

Red copper wire shield.

PVC sheath in RZ/ST2 quality

Tensione nominale U0	26 kV	Nominal voltage U0
Tensione nominale U	45 kV	Nominal voltage U
Tensione massima Um	52 kV	Maximun voltage Um
Temperatura massima di esercizio	+90°C	Maximun operating temperature
Temperatura massima di corto circuito	+250°C	Maximun short circuit temperature
Temperatura minima di esercizio (senza shock meccanico)	-15°C	Min. operating temperature (without mechanical shocks)
Temperatura minima di installazione e maneggio	0°C	Minimum installation and use temperature

Condizioni di impiego piu comuni

Adatti per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Ammessa la posa interrata in conformita all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17. Consigliabile dove lo stoccaggio e ad alto rischio di furto.

Condizioni di posa

Raggio minimo di curvatura per diametro D (in mm):

12D

Sforzo massimo di tiro:

50 N/mmq

Imballo

Bobina con metrature da definire in fase di ordine.

Colori anime

Unipolare: rosa

Colori guaina

Rosso

Note

Il cavo rispetta le prescrizioni della norma HD 620 per quanto riguarda l'isolante, per tutte le altre caratteristiche rispetta la norma CEI 20-13

IL cavo può essere fornito nella versione tripolare ad elica visibile RG7H1RX

Common features

Suitable for the transport of energy between the substations and large users. Laying underground in accordance with Art. 4.3.11 of IEC 11-17. Storage is recommended where high risk of theft.

Employment

Minimum bending radius per D cable diameter (in mm):

12D

Maximum pulling stress:

50 N/mmq

Packing

Drums to agree.

Core colours

Single core: pink

Sheath colour

Red

Note

The cable meets the requirements according to HD 620 for insulation, for all other characteristics compared to CEI 20-13

The cable can be supplied in the visible pole helical RG7H1RX



ARG7H1R 26/45 kV

Model Product: 754 - 20160412

ARG7H1R 26/45kV

Numero conduttori	Sezione nominale	Diametro indicativo conduttore	Diametro indicativo isolante	Diametro indicativo esterno	Peso indicativo del cavo	Raggio minimo curvatura
Conductor Number	Nominal Section	Approx cond. diameter	Approx insulation diameter	Approx external diameter	Approx cable weight	Minimum radius bending
(N°)	(mmq)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)
Unipolare / Single core						
1x	70	9.7	33.1	41	1120	550
1x	95	11.4	34.5	42	1240	580
1x	120	12.9	36.2	43	1380	585
1x	150	14.0	36.8	44	1480	590
1x	185	15.8	38.2	45	1760	610
1x	240	18.2	40.5	47	1900	650
1x	300	20.8	43.2	51	2190	690
1x	400	23.8	46	54	2570	730
1x	500	26.7	48.9	57	2985	770
1x	630	30.5	53.4	62	3580	850

Cond.xSez	Resistenza elettrica a 20°C	Capacità a 50 Hz	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz		Reattanza di fase		Portata di corrente			
			A trifoglio	In piano	A trifoglio	In piano	In aria a trifoglio	In aria in Piano	Interrato a trifoglio	Interrato in piano
Cond.xSec	Elettrio Resistace 20°C	Capacities 50 Hz	Apparent resistance at 90°C and 50 Hz		Phase Reactance		Current carrying capacities			
			Trefoil formation	Fiat	Trefoil formation	Fiat	Trefoil formation in air	Fiat in air	Trefoil formation in ground	Fiat in ground
(N°x mmq)	(Ohm/km)	(microF/km)	(Ohm/km)	(Ohm/km)	(Ohm/km)	(Ohm/km)	(A)	(A)	(A)	(A)
Unipolare / Single core										
1x70	0.433	0.15	0.580	0.580	0.15	0.21	230	245	205	199
1x95	0.320	0.16	0.416	0.416	0.14	0.20	279	288	243	257
1x120	0.253	0.17	0.333	0.333	0.14	0.19	323	340	288	299
1x150	0.206	0.19	0.270	0.270	0.13	0.19	363	392	310	318
1x185	0.164	0.21	0.218	0.218	0.12	0.18	418	438	352	362
1x240	0.125	0.23	0.168	0.165	0.12	0.18	493	528	404	419
1x300	0.100	0.25	0.136	0.132	0.12	0.17	570	617	458	468
1x400	0.0778	0.27	0.109	0.105	0.11	0.17	664	710	525	543
1x500	0.0605	0.30	0.0890	0.0828	0.11	0.17	771	831	600	612
1x630	0.0469	0.33	0.0739	0.0662	0.10	0.16	890	940	688	699

5.2. Dimensionamento dei cavi in funzione delle condizioni di posa

Per cavi interrati di queste categorie di tensioni viene fornita la portata in corrente di riferimento I_0 nelle seguenti condizioni:

- T_a temperatura ambiente 20 °C;
- Profondità di posa 1,0 m;
- R_t resistività termica media radiale del terreno 1,5 k*m/W;
- Connessione schermi metallici in cortocircuito e a terra ad entrambe le estremità (solid bonding).

Per condizioni diverse viene fornita poi la seguente formula correttiva:

$$I_z = I_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4$$

Dove:

- I_z portata in corrente nelle condizioni in esame;
- I_0 portata in corrente nelle condizioni di riferimento;
- K_1 fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C;



- K2 fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano;
- K3 fattore di correzione per profondità di interrimento diverse da 0,8 m;
- K4 fattore di correzione per resistività termica del terreno diversa da 1,5 k*m/W.

Le condizioni di posa dei cavi impiegati nel progetto in oggetto differiscono dalle condizioni di riferimento poiché:

- La profondità di interrimento è pari a 1,5 m: $K_3 = 0,94$

Tab. IV **Fattori di correzione per differenti valori di profondità di posa**

Profondità di posa (m)	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
Fattore di correzione	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94

- Resta invariata la resistività termica del terreno pari a 1,5 k*m/W (terreno secco): $K_4 = 1$

Tab. V **Fattori di correzione per differenti valori di resistività termica del terreno**

Resistività del terreno (K*m/W)	Cavi unipolari				
	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Fattore di correzione	1,08	1,05	1,00	0,90	0,82

- È stato considerato il caso peggiore di raggruppamento dei circuiti presenti nello stesso strato (in questo progetto) 2 circuiti nello stesso strato distanziati tra loro 50 cm: $K_2 = 0,95$

Tab. III **Fattori di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano**

Numero di cavi	Distanza fra i circuiti ^(a) (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

- Resta invariata la temperatura del terreno pari a 20 °C: $K_1 = 1$

Pertanto la formula diventa:

$$I_z = I_0 * 1 * 1 * 0,94 * 0,95 = I_0 * 0,893$$

Si riporta di seguito la tabella delle portate in corrente dei cavi scelti alle condizioni di riferimento e alle condizioni operative impiegate nel progetto.



Per i circuiti a 36 kV

Valori di I_0 alle condizioni di riferimento:

ARG7H1R 26/45kV - AI - Unipolare Sezione nominale [mmq]	Portata [A] Interrato a Trifoglio	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]
120	288	0,3330	0,14
150	310	0,2700	0,13
185	352	0,2180	0,12
240	404	0,1680	0,12
300	458	0,1360	0,12
400	525	0,1090	0,11
500	600	0,0890	0,11
630	688	0,0739	0,1

Valori di I_z alle condizioni operative, (applicando i coefficienti correttivi):

ARG7H1R 26/45kV - AI - Unipolare Sezione nominale [mmq]	Portata [A] Interrato a Trifoglio	Resistenza [Ohm/km]	Reattanza [Ohm/km]
120	257,18	0,3330	0,14
150	276,83	0,2700	0,13
185	314,34	0,2180	0,12
240	360,77	0,1680	0,12
300	408,99	0,1360	0,12
400	468,83	0,1090	0,11
500	535,80	0,0890	0,11
630	614,38	0,0739	0,1

5.3. Determinazione della potenza/corrente di cortocircuito AT

Per calcolare la potenza di cortocircuito in un punto dell'impianto, si può fare l'ipotesi che la resistenza sia trascurabile rispetto alla reattanza, perché solitamente il rapporto reattanza/resistenza di una rete di distribuzione (fino alle sbarre) è superiore a sette. In pratica, l'impedenza si può ritenere coincidente con la reattanza:

$$Z = \sqrt{(R^2+X^2)} = \sqrt{((X/7)^2+X^2)} = \sqrt{[(X^2/49)+X^2]} = 1,01 * X \sim X$$

Questo consente, in questa fase preliminare, di calcolare la potenza di cortocircuito di un sistema elettrico costituito da n elementi in serie (generatori, linee, trasformatori) le cui potenza di cortocircuito siano P1, P2, ..., Pn.

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (PCC) vale:

$$P_{cc} = \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- U_n è la tensione nominale (concatenata);
- I_{cc} è la corrente di cortocircuito trifase.

D'altra parte, nell'ipotesi $X \sim Z$ si ha:

$$I_{cc} = E/X$$

Dove $E = U_n/\sqrt{3}$ è la tensione di fase:

$$I_{cc} = U_n/\sqrt{3} * X$$

Si ottiene dunque:

$$P_{cc} = \sqrt{3} * U_n * U_n/\sqrt{3} * X = U_n^2/X$$

La potenza di cortocircuito di un sistema a tensione U composto da n elementi in serie aventi reattanze X_1, X_2, \dots, X_n è:

$$P_{cc} = U_n^2 / (X_1 + X_2 + \dots + X_n)$$

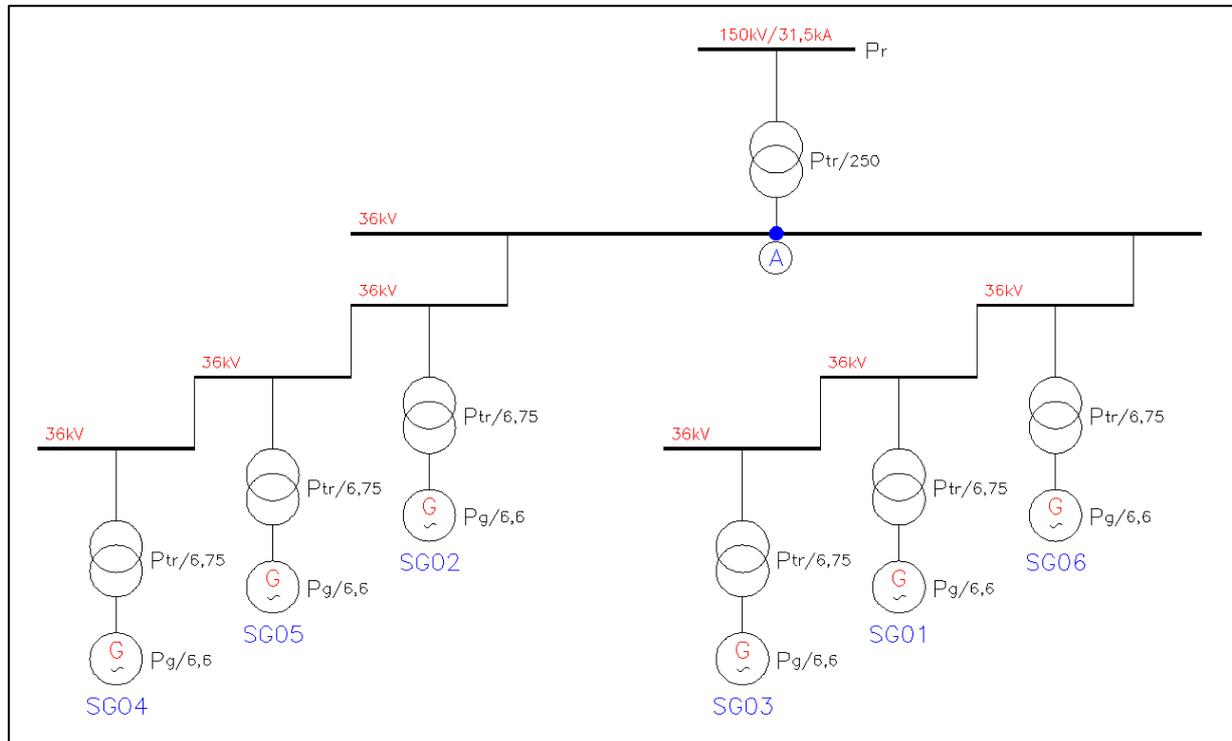
Poiché, la reattanza X_i del generico elemento del sistema elettrico con potenza di cortocircuito P_i vale:

$$X_i = U_n^2 / P_i$$

Dunque:

$$P_{cc} = U_n^2 / (U_n^2 / P_1 + U_n^2 / P_2 + \dots + U_n^2 / P_n) = 1 / [(1/P_1) + (1/P_2) + \dots + (1/P_n)]$$

Nella figura seguente viene schematizzato l'impianto in oggetto:



Potenza di cortocircuito della rete AT:

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (P_r) della rete AT è la potenza espressa in MVA, che si ottiene dalla corrente di cortocircuito simmetrica trifase (I_{cc}) alla tensione nominale della rete (U_n):

$$P_r = c * \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- c coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (valore = 1,1).
- $U_n = 150$ kV



- $I_{cc} = 31,5 \text{ kA}$

Pertanto:

$$P_r = 1,1 * \sqrt{3} * 150 * 31,5 = 9.002,34 \text{ MVA}$$

Potenza di cortocircuito di un trasformatore:

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (P_{tr}) di un trasformatore è:

$$P_{tr} = 100 * P/ucc$$

Dove:

- P è la potenza nominale del trasformatore
- ucc è la tensione di cortocircuito percentuale

La potenza di cortocircuito del trasformatore 150/36 kV da 250 MVA (RTN) con $ucc = 12,5\%$ è pari a:

$$P_{tr}/250 = 100 * 250/12,5 = 2000 \text{ MVA}$$

La potenza di cortocircuito del trasformatore 36/0,69 kV da 6,75 MVA con $ucc = 8\%$ presente negli aerogeneratori vale:

$$P_{tr}/6,75 = 100 * 6,75/8 = 84,375 \text{ MVA}$$

Potenza di cortocircuito di un generatore:

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (P_G) di un generatore è:

$$P_G = 100 * P/X_d''$$

Dove:

- P è la potenza nominale del generatore, 6,6 MVA
- X_d'' è la reattanza sub-transitoria diretta, (valore tipico pari 15%)

Quindi:

$$P_G = 100 * 6,6/15 = 44 \text{ MVA}$$

Potenza di cortocircuito massima alle sbarre 36kV dei QAT:

La potenza di cortocircuito massima alle sbarre 36kV è data da:

$$P_{cc}/A = \{ 1/[(1/P_r)+(1/P_{tr}/250)] \} + \{ 1/[(1/P_{tr}/6,75)+(1/P_G)] \} * 6 = \\ = \{ 1/[(1/9.002,34)+(1/2000)] \} + \{ 1/[(1/84,375)+(1/44)] \} * 6 = 1.809,96 \text{ MVA}$$

La corrente di cortocircuito massima alle sbarre 36kV (punto A) vale:

$$I_{cc}/A = P_{cc}/A / (\sqrt{3} * U_n) = 1.809,96 / (\sqrt{3} * 36) = 29,06 \text{ kA}$$

Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi e delle apparecchiature. Poiché i valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature AT sono: 25, 31,5 e 40 kA, si è scelto un valore di I_{cc} pari a 31,5 kA.

5.4. Dimensionamento dei cavi in funzione delle sollecitazioni termiche di cortocircuito

La Norma CEI 11-17 al paragrafo 2.2.02 definisce le modalità di calcolo per la scelta del conduttore in relazioni a condizioni di sovracorrente. La scelta è fatta in modo tale che la temperatura del conduttore per effetto della sovracorrente non sia dannosa, come entità e durata, per l'isolamento o per gli altri materiali con cui il conduttore è in contatto o in prossimità.



Considerata la sovracorrente praticamente costante e il fenomeno termico sia di breve durata (cortocircuito) in modo da potersi considerare di puro accumulo (regime adiabatico), la sezione del conduttore può determinarsi mediante la seguente relazione:

$$K^2 S^2 \geq (I^2 t)$$

Dove:

- S è la sezione del conduttore in mm²;
- I è la corrente di cortocircuito, pari a 31,5 kA (AT @ 36 kV);
- t è la durata della corrente di cortocircuito, pari a 0,5 s (coincide con il tempo di eliminazione del guasto stabilito dal progettista)
- K costante termica del cavo scelto, (K = 92).

I valori del coefficiente K sono riportati nella seguente tabella per conduttori di rame e di alluminio in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito.

Tab. 2.2.02 Valori del coefficiente K in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito per conduttori di rame e di alluminio

	Temperatura iniziale θ_0 (°C)	1	2	3	4	5	6
		Temperatura finale θ_{cc} (°C)					
		140	160	180	200	220	250
Conduttori di rame	130	37	64	81	95	106	120
	120	53	74	89	102	113	126
	110	65	83	97	109	119	132
	100	76	92	105	116	125	138
	90	86	100	112	122	131	143
	85	90	104	115	125	134	146
	80	94	108	119	129	137	149
	75	99	111	122	132	140	151
	70	103	115	125	135	143	154
	65	107	119	129	138	146	157
	60	111	122	132	141	149	160
	50	118	129	139	147	155	165
	40	126	136	145	153	161	170
30	133	143	152	159	166	176	
20	141	150	158	165	172	181	
Conduttori di alluminio	130	24	41	52	61	68	78
	120	34	48	58	66	73	81
	110	42	54	63	70	77	85
	100	49	59	67	75	81	89
	90	55	64	72	79	85	92
	85	58	67	74	81	86	94
	80	61	69	77	83	88	96
	75	64	72	79	85	90	98
	70	66	74	81	87	92	99
	65	69	76	83	89	94	101
	60	72	79	85	91	96	103
	50	77	83	90	95	100	105
	40	81	88	94	99	104	110
30	86	92	98	103	107	114	
20	91	97	102	107	111	117	

Così come indicato nella Norma CEI 11-17, la temperatura iniziale del conduttore si assume uguale a quella massima ammissibile in regime permanente (massima temperatura di servizio) e la temperatura finale di cortocircuito si assume uguale a quella massima di cortocircuito per i diversi isolanti.



Nel nostro caso verranno impiegati cavi in Alluminio ARG7H1R 26/45kV con isolamento PVC aventi massima temperatura di servizio pari a 90 °C e massima temperatura di cortocircuito pari a 250 °C. Pertanto con tali valori di temperatura si ricava il valore della costante termica K che è pari a 92. Risolvendo la relazione precedente per S:

$$S = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [20 * \sqrt{(0,5)}] / 92 = 242,1 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 300 mm².

5.5. Dimensionamento dei cavi in funzione della caduta di tensione

Il fenomeno di abbassamento di tensione tra due punti, uno a monte e l'altro a valle, in una rete elettrica di distribuzione, viene denominato caduta di tensione. In tutti gli impianti elettrici occorre valutare che la differenza tra la tensione del punto d'origine dell'alimentazione e la tensione all'utilizzatore d'energia sia adeguatamente contenuta, nei limiti normativi e nei limiti di funzionamento delle apparecchiature utilizzatrici.

Un'eccessiva differenza tra i due valori nuoce al funzionamento ed al rendimento degli impianti, inoltre elevate differenze di tensione tra monte e valle è sinonimo di perdite sulla linea elettrica, con conseguente cattivo dimensionamento e non ottimizzazione dell'impianto di trasmissione dell'energia.

La caduta di tensione sarà contenuta mediante un corretto calcolo dimensionale delle linee. Il valore della caduta di tensione può essere determinato mediante la formula:

$$\Delta V = I * L * \sqrt{3} (R * \cos\phi + X * \sin\phi)$$

Dove:

- ΔV è la caduta di tensione in V;
- I è la corrente nominale della linea in A;
- R è la resistenza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in Ω/km ;
- X è la reattanza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in Ω/km ;
- L è la lunghezza della linea in km.

La caduta di tensione percentuale sarà quindi:

$$\Delta V\% = 100 * \Delta V / V$$

Dove:

- V è la tensione ad inizio linea in V.

La perdita di potenza è calcolata tramite la relazione:

$$P_{\text{loss}} = 3 * R * L * I_n^2$$

La perdita di potenza percentuale è calcolata tramite la relazione:

$$P_{\text{loss}}\% = 100 * P_{\text{loss}} / N_{\text{SC}} * P_{\text{SC}}$$

Dove:

- NSC è il numero di sottocampi considerato nella linea
- PSC è la potenza nominale del singolo sottocampo

Si riportano di seguito i dimensionamenti per le linee elettriche AT dell'impianto:

Condizioni di esercizio AT	
cos φ=	0,900
sen φ=	0,436
Vn [V]=	36000
Pn [kW]=	6600
In [A]=	117,61

LINEA-1 36kV									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	SG04 >> SG05	117,61	1724	300	61,4	0,170	9,7	0,000	ST - Trifoglio
2	SG05 >> SG02	235,22	3098	300	220,5	0,613	69,9	0,001	ST - Trifoglio
3	SG02 >> CSEZ	352,83	5628	400	502,3	1,395	229,1	0,001	ST - Trifoglio
3	CSEZ >> CUC	352,83	5641	400	503,5	1,399	229,6	0,001	ST - Trifoglio
TOTALE			16091			3,58	538,39		

LINEA-2 36kV									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
1	SG03 >> SG01	117,61	4402	300	156,7	0,435	24,8	0,000	ST - Trifoglio
2	SG01 >> SG06	235,22	2047	300	145,7	0,405	46,2	0,000	ST - Trifoglio
3	SG06 >> CSEZ	352,83	4796	400	428,1	1,189	195,2	0,001	ST - Trifoglio
3	CSEZ >> CUC	352,83	5641	400	503,5	1,399	229,6	0,001	ST - Trifoglio
TOTALE			16886			3,43	495,91		

CAVIDOTTO INTERRATO AT 36 kV IN DOPPIA TERNA CONDUTTORI UNPOLARI A TRIFOGLIO									
N° WTG	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
6	CUC-SE "TEMPIO" RTN	705,65	350	300	37,4	0,10	17,78	0,000	DT - Trifoglio
TOTALE			350			0,10	17,78		

5.6. Dimensionamento dei cavi in funzione della temperatura di funzionamento

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente relazione:

$$T_r = T_a + [(T_e - T_a) * (I_n / (N * I_z))^2]$$

Dove:

- Tr temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- Ta temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- Te temperatura massima di esercizio, 90 °C;
- In è la corrente nominale di linea in A;
- Iz è la portata nominale di linea (corretta dai coefficienti) in A;
- N è il numero di conduttori per fase, 1.

Si riportano di seguito i valori delle temperature di regime per le quattro linee dell'impianto:

Condizioni d'esercizio		T ₀ =	Te,max=
		20	90
		[°C]	[°C]

LINEA-1 36kV					
N° WTG	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	SG04 >> SG05	117,61	300	25,8	ST - Trifoglio
2	SG05 >> SG02	235,22	300	43,2	ST - Trifoglio
3	SG02 >> CSEZ	352,83	400	59,6	ST - Trifoglio
3	CSEZ >> CUC	352,83	400	59,6	ST - Trifoglio



LINEA-2 36kV					
N° WTG	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
1	SG03 >> SG01	117,61	300	25,8	ST - Trifoglio
2	SG01 >> SG06	235,22	300	43,2	ST - Trifoglio
3	SG06 >> CSEZ	352,83	400	59,6	ST - Trifoglio
3	CSEZ >> CUC	352,83	400	59,6	ST - Trifoglio

CAVIDOTTO INTERRATO AT 36 kV IN DOPPIA TERNA CONDUTTORI UNPOLARI A TRIFOGLIO					
N° WTG	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
6	CUC-SE "TEMPIO" RTN	705,7	300	72,1	DT - Trifoglio

5.7. Linee in cavo interrato – Attraversamento di canali

Qualora il tracciato delle linee dovesse presentare degli attraversamenti di canale, saranno eseguiti con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale, conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.

5.8. Linee in cavo interrato – Distanze di rispetto da impianti ed opere interferenti

Le interferenze che si dovessero presentare lungo il tracciato delle linee saranno trattate con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale, conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.

6. DIMENSIONAMENTO QUADRI AT @36kV

Come già calcolato in precedenza, la corrente di cortocircuito massima alle sbarre 36kV vale:

$$I_{cc}/A = P_{cc}/A / (\sqrt{3} * U_n) = 1.809,96 / (\sqrt{3} * 36) = 29,06 \text{ kA}$$

Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi e delle apparecchiature. Poiché i valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature AT sono: 25, 31,5 e 40 kA, si è scelto un valore di di I_{cc} pari a 31,5 kA.

I quadri AT saranno installati all'interno dei locali AT della SSEU (protezione e sezionamento delle linee provenienti dagli aerogeneratori).

Caratteristiche elettriche principali:

- Tensione nominale max 54 kV
- Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale: 50 Hz/1 min valore efficace 50 kV
- Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico: 1,2 / 50 microsec. valore di picco 170 kV
- Tensione di esercizio 36 kV
- Frequenza nominale 50 Hz
- N° fasi 3
- Corrente nominale sbarre principali 1250A
- Corrente nominale sbarre derivazione 630/1250A



- Corrente nominale ammissibile di breve durata 25 kA
- Corrente nominale di picco 50 kA
- Potere di interruzione degli interruttori alla V nominale 25 kA
- Durata nominale del corto circuito 3 sec

Composizione QAT:

- n. 1 scomparto arrivo linea da RTN, con interruttore, TA, TV, relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-51N-27-59- 59N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza;
- n. 2 scomparti di arrivo linea, con interruttore, TA, relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-67N) e con le misure di A, V, W, VAR, cosfi, frequenza;
- n. 1 cella TV (eventualmente integrata nella cella arrivo trasformatore).
- n. 1 scomparto arrivo trasformatore ausiliario BT/AT.

7. RETE DI TERRA

7.1. Dimensionamento di massima della rete di terra

La rete di terra sarà dimensionata in accordo alla Norma CEI 11-1.

In particolare si procederà:

- al dimensionamento termico del dispersore e dei conduttori di terra in accordo all'Allegato B della Norma CEI 11-1;
- alla definizione delle caratteristiche geometriche del dispersore, in modo da garantire il rispetto delle tensioni di contatto e di passo secondo la curva di sicurezza di cui alla Fig.C-2 della Norma CEI 11-1.

7.2. Dimensionamento termico del dispersore

Il dispersore sarà realizzato con corda nuda in rame, la cui sezione può essere determinata con la seguente formula:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}}$$

Dove:

- A = sezione minima del conduttore di terra, in mm²
- I = corrente del conduttore, in A
- t = durata della corrente di guasto, in s
- K = 226 Amm-2s^{1/2} (rame)
- β = 234,5 °C
- Θ_i = temperatura iniziale in °C

- Θ_f = temperatura finale in °C

7.3. Tensioni di contatto e di passo

La definizione della geometria del dispersore al fine di garantire il rispetto dei limiti di tensione di contatto e di passo sarà effettuata in fase di progetto definitivo, quando saranno noti i valori di resistività del terreno, da determinare con apposita campagna di misure;

In via preliminare, sulla base degli standard normalmente adottati e di precedenti esperienze, può essere ipotizzato un dispersore orizzontale a maglia, con lato di maglia di 5 m.

In caso di terreno non omogeneo con strati superiori ad elevata resistività si potrà procedere all'installazione di dispersori verticali (picchetti) di lunghezza sufficiente a penetrare negli strati di terreno a resistività più bassa, in modo da ridurre la resistenza di terra dell'intero dispersore.

In ogni caso, qualora risultasse la presenza di zone periferiche con tensioni di contatto superiori ai limiti, si procederà all'adozione di uno o più dei cosiddetti provvedimenti "M" di cui all'Allegato D della Norma CEI 11-1.

7.4. Rete di terra aerogeneratori

Il trasformatore elevatore di tensione avrà il primario collegato a stella, con il centro stella posto a terra e collegato con lo stesso impianto di messa a terra della turbina eolica. La connessione alla rete elettrica dovrà quindi essere eseguito in configurazione TN-S.

L'impianto di messa a terra deve essere predisposto in sede di realizzazione delle fondazioni e con collegamento ai ferri d'armatura. Esso sarà costituito da un conduttore di rame nudo da almeno 50 mm² posto orizzontalmente ad un metro di distanza dalla fondazione e ad un metro di profondità, che segue il perimetro della struttura fino a richiudersi su se stesso; esso sarà inoltre integrato con due picchetti di messa a terra in acciaio ramato della lunghezza di 6 m ciascuno e del diametro di almeno 14 mm, piantati verticalmente in posizioni diametralmente opposte rispetto alla torre. Il conduttore circolare viene collegato a due perni di fissaggio alla fondazione, sui lati opposti della torre, ed agli stessi punti si conetterà il quadro di controllo a base torre.

La disposizione dell'impianto di messa a terra ad anello chiuso attorno alla struttura limita la tensione di passo e contatto per le persone eventualmente presenti alla base della torre in caso di fulminazione diretta della struttura stessa ed allo stesso tempo, i picchetti verticali accoppiati al medesimo impianto facilitano l'ottenimento di un basso valore della resistenza complessiva di terra.

All'interno della canalizzazione per la posa dei cavi di media tensione interrata per il collegamento "entra - esci" fra gli aerogeneratori, verrà posato un ulteriore cavo di rame nudo di sezione non inferiore a 95 mm² per la connessione tra le diverse reti di terra degli aerogeneratori.

7.5. Sistema di terra

Il sistema di terra del parco eolico è costituito da una maglia di terra formata dai sistemi di dispersori dei singoli aerogeneratori e dal conduttore di corda nuda che li collega. La maglia complessiva che si viene così a creare consente di



ottenere un valore di resistenza di terra tale da garantire un sufficiente margine di sicurezza, adeguato alla normativa vigente.

Il sistema di terra di ciascun aerogeneratore consisterà in più anelli dispersori concentrici, collegati radialmente fra loro, e collegati in più punti anche all'armatura del plinto di fondazione.

Il conduttore di terra di collegamento tra i vari aerogeneratori consiste invece in una corda di rame nudo da 50 mm², posta in intimo contatto con il terreno.

Particolare attenzione va posta agli attraversamenti lungo il tracciato del cavidotto. Per evitare infatti che in caso di guasto si possa verificare il trasferimento di potenziali dannosi agli elementi sensibili circostanti, quali altri sotto-servizi, acquedotti, tubazioni metalliche, ecc. ecc., verrà utilizzato in corrispondenza di tutti gli attraversamenti, da 5 m prima e fino a 5 m dopo il punto di interferenza, un cavo Giallo/Verde di diametro 95mm² del tipo FG7(O)R, opportunamente giuntato al conduttore di rame nudo, tale da garantire una resistenza pari a quella della corda di rame nudo di 50 mm².

7.6. Rete di terra Cabina Utente di Consegna

Per la progettazione dell'impianto di terra si deve fare riferimento ad un insieme di dati che dipendono dalle caratteristiche di alimentazione e di quelle del sito di installazione della cabina. I principali parametri di riferimento di cui si deve disporre sono:

- la corrente massima di guasto a terra (IF);
- il tempo di eliminazione del guasto (tc);
- le tensioni di contatto e di passo tollerabili (UTP, USP);
- la configurazione e le caratteristiche della rete di alimentazione in media tensione;
- il luogo in cui l'impianto di terra deve essere realizzato;
- l'area da proteggere, (forma e caratteristiche del terreno);
- eventuali vincoli in relazione alla messa a terra del neutro in bassa tensione.

Durante la progettazione, al fine di tenere conto di possibili variazioni nel tempo dei citati parametri, è opportuno scegliere gli stessi in relazione alle condizioni più sfavorevoli che si possono verificare.

Il tipo di impianto da realizzare dipende dalle caratteristiche morfologiche del terreno dell'area da proteggere, che possono influenzarne fortemente il valore di resistività (es. presenza di rocce, profondità del terreno vegetale, ecc.). Poiché la resistività può inoltre variare anche nel tempo, per il progetto è necessario effettuare più rilievi nell'area interessata per stabilire conseguentemente un valore medio di riferimento. Per terreni non omogenei è necessario scegliere un valore di resistività di riferimento prudenziale, leggermente più elevato del valore medio (almeno 1,5 volte).

In base al tipo di cabina da realizzare è possibile individuare il dispersore da utilizzare e la disposizione dei conduttori del dispersore. I dispersori non devono essere facilmente deteriorabili per effetto dell'umidità o per l'azione chimica del terreno, e devono mantenere inalterate nel tempo le caratteristiche elettriche.

Solitamente per le cabine si utilizzano dispersori ad anello che consentono di ottenere con maggiore facilità basse resistenze di terra. L'anello viene realizzato interrando un conduttore nudo (tondino, corda o piattina di acciaio zincato a caldo o di rame o di acciaio ramato) intorno alla fondazione della cabina ad una profondità di almeno 0,5 m. Questo tipo



di dispersore può essere integrato con spandenti e picchetti per ridurre, ove necessario, la resistenza di terra. È opportuno che i picchetti siano collocati in pozzetti ispezionabili, con coperchi isolanti per evitare pericolose tensioni di passo.

I conduttori di terra si dipartono dal collettore e vanno a collegare le masse da mettere a terra. Le sezioni dei conduttori di terra non devono essere inferiori a 16 mm² se di rame, 35 mm² se d'alluminio, 50 mm² se d'acciaio. I conduttori di terra devono avere percorsi brevi ed essere posati preferibilmente nudi.

Vanno collegati all'impianto di terra i seguenti elementi metallici:

- ripari di protezione dei circuiti AT;
- la carpenteria metallica degli scomparti AT;
- il cassone del trasformatore AT/BT;
- la carcassa dei TA e TV ed un polo del circuito secondario;
- i telai dei sezionatori di terra;
- le intelaiature di supporto degli isolatori;
- i terminali e le guaine dei cavi AT provenienti dal parco eolico;
- i cavi di rame nudo per la connessione della rete di terra tra gli aerogeneratori;
- i ganci di ancoraggio delle linee aeree MT;
- gli organi di manovra manuale delle apparecchiature;
- i quadri porta sbarre BT e porta interruttori;
- gli interruttori BT;
- la cassa dei condensatori BT.

Si devono collegare all'impianto di terra anche le parti metalliche e le strutture di notevole estensione come porte, finestre, griglie di aerazione, scale, parapetti di protezione, lamiere copri cunicoli.