

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

AREN Green S.r.l.

Società soggetta alla direzione e coordinamento di AREN Electric Power S.p.A.
Sede legale e amministrativa: Via dell'Arrigoni n. 308 | 47522 Cesena (FC) | Ph. +39 0547 415245
Iscritta nel Registro delle Imprese della Romagna – Forlì-Cesena e Rimini | REA 326908 | C.F./P.Iva 04032170401

**COMUNI DI ACERENZA E OPPIDO LUCANO (PZ)
LOCALITÀ “TORRE VOSA”**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO “DONNA MARIANNA”

REDAZIONE / PROGETTISTA:



AREN Electric Power S.p.A.
Società per Azioni con Unico Socio
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274
Web: www.aren-ep.com

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:

Ing. Samuele Ulivi Ordine degli
Ingegneri di Forlì-Cesena – matr.
2866

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI

CODICE ELABORATO:

DMADE_GENR00600_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	30/07/2024	A.Lazar	S.Righini	S. Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 10

Sommario

Sommario.....	1
1 Introduzione.....	2
2 Riferimenti normativi.....	2
3 Inquadramento dell’area di intervento	3
4 Infrastruttura elettrica dell’impianto di produzione	3
5 Dimensionamento cavidotti 36 kV	3
5.1 Dati di progetto	4
5.2 Dimensionamento per limite termico di portata	4
5.3 Dimensionamento per caduta di tensione e perdite	5
6 Dimensionamento Reattanze Shunt	6
6.1 Reattanze Shunt rigidamente connesse al cavo di connessione Terna-Stazione Utente	7
6.2 Reattanze Shunt compensazione cavi parco eolico.....	7
6.3 Dati di progetto	9
6.4 Dimensionamento impianto di terra Stazione Utente.....	10
6.5 Dimensionamento impianto di terra Aerogeneratore.....	10
7 Conclusioni.....	10

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 10

1 Introduzione

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Donna Marianna”, nei comuni di Acerenza e Oppido Lucano (PZ) in località “Torre Vosa”, costituito da n. 9 aerogeneratori Vestas modello V150 di potenza unitaria 6 MW, per una potenza complessiva dell’impianto di 54 MW e delle relative opere di connessione con la RTN, proposto dalla società AREN Green S.r.l.

La società proponente è Aren Green S.r.l. Unipersonale, con sede in Via dell’Arrigoni 308 – 47522 Cesena (FC), P.IVA 04032170401 (nel seguito: il “Soggetto proponente”).

Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i Comuni di Acerenza e Oppido Lucano (PZ).

L’impianto sarà allacciato all’ampliamento a 36 kV della già esistente Stazione Elettrica Terna, denominata “Oppido Lucano”, tramite connessione a 36 kV.

Il presente studio preliminare è stato redatto ai sensi della normativa vigente, come meglio specificato al paragrafo successivo, e ha lo scopo di descrivere le metodologie di dimensionamento delle componenti elettriche ed i risultati.

2 Riferimenti normativi

Le principali norme a cui si fa riferimento sono:

- CEI 20-66: Cavi energia con isolamento estruso e loro accessori per tensioni nominali superiori a 36 kV ($U_m = 42$ kV) fino a 150 kV ($U_m = 170$ kV);
- CEI 11-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata;
- CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) “Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. - Parte 1: Prescrizioni comuni”;
- CEI EN 50522 (CEI 99-3) “Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.”;
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;
- CEI 11-32: Impianti di produzione di energia elettrica collegati a reti di III categoria;
- CEI 11-32;V1: Impianti di produzione eolica;
- CEI 11-35: Guida all’esecuzione delle cabine elettriche d’utente;
- CEI 17-1: Apparecchiature ad alta tensione – Interruttori a corrente alternata ad alta tensione;
- CEI 11-25: Calcolo delle correnti di corto circuito nelle reti trifasi a c.a.;
- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- Codice di Rete Terna, in particolare Allegati A.17, A.69.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 10

3 Inquadramento dell'area di intervento

Gli aerogeneratori si possono considerare, dal punto di vista della posizione, in un unico gruppo, essendo tutti ubicati nel comune di Salemi.

Il posizionamento degli aerogeneratori è stato effettuato tenendo conto, principalmente, delle condizioni di ventosità dell'area. In particolare, si sono raccolti dati sulla direzione, sull'intensità, sulla durata e sulla continuità del vento. Si è poi tenuto conto della natura geologica del terreno, nonché del suo andamento plano-altimetrico.

L'intera area è ad uso generalmente agricolo e di pascolo, con prevalenza di seminativi; sono presenti aree boscate, soprattutto in corrispondenza delle aste torrentizie, e qualche sparso insediamento umano.

4 Infrastruttura elettrica dell'impianto di produzione

Le principali opere elettriche da realizzare per il collegamento dell'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale sono:

- Cavidotti AT a 36 kV in entra-esce dagli aerogeneratori;
- Stazione Utente (SU);
- Cavidotto AT a 36 kV per il collegamento in Antenna della stazione utente con lo stallo 36 kV della Stazione Terna;

Relativamente ai cavidotti AT in entra esce dagli aerogeneratori, sono previsti due sottocampi, disposti e collegati col seguente schema e cavi:

- 1) Collegamento AT-36 kV *SU-DM01-DM02-DM03-DM04*, costituendo il sottocampo eolico 1 da 24 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DM04**, circa 14020 m;
 - cavidotto di collegamento **DM04 – DM02**, circa 930 m;
 - cavidotto di collegamento **DM02 – DM01**, circa 1200 m;
 - cavidotto di collegamento **DM04 – DM03**, circa 630 m.
- 2) Collegamento AT-36 kV delle *SU-DM09-DM06-DM07-DM05-DM08*, costituendo il sottocampo eolico 2 da 30 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DM09**, circa 11260 m;
 - cavidotto di collegamento **DM09 – DM06**, circa 1270 m;
 - cavidotto di collegamento **DM06 – DM07**, circa 760 m;
 - cavidotto di collegamento **DM07 – DM05**, circa 1750 m;
 - cavidotto di collegamento **DM06 – DM08**, circa 760 m.

Per tutti i tratti di cavidotto verrà utilizzato il cavo ARE4H5EEX 20,8/36 kV, interrato a 1,2 m, con le sezioni sopra indicate e posato a trifoglio.

Aren Green Srl Impianto Eolico "Donna Marianna"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 10

Relativamente al cavidotto AT a 36 kV per il collegamento in Antenna dell'impianto di produzione con lo stallo 36 kV della Stazione Terna, esso sarà costituito:

- **Terna 1 - SU:** circa 500 m, interrato a 1,2 m;

5 Dimensionamento cavidotti 36 kV

5.1 Dati di progetto

Per il dimensionamento dei cavidotti per il trasporto dell'energia elettrica bisogna considerare vari dati di ingresso del progetto, elettrici ed ambientali, quali:

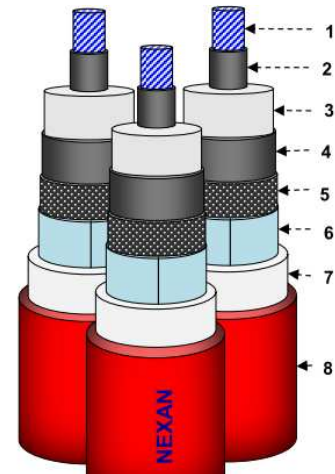
- Tensione di esercizio: 36 kV – 50 Hz;
- Sistema trifase;
- Resistività termica terreno: 1,5°Cm/W;
- Temperatura media ambiente: 20 °C;
- Profondità di posa: 1,2 m;
- Altezza sul livello del mare: <1000 m.

In seconda battuta bisogna identificare la tipologia di cavo e di posa da utilizzare:

- Cavo: ARE4H5EEX 20,8/36 kV o equivalenti in rame o alluminio;
- Tipologia di posa: direttamente interrata.

Il cavo ARE4H5EEX dimensionato per tensioni 20,8/36 kV è quindi in grado di lavorare a tensioni nominali di 36 kV. Esso è costituito da:

1. Anima: conduttore a corda rotonda compatta in alluminio;
2. Semiconduttivo interno: elastomerico estruso;
3. Isolante: polietilene reticolato (XLPE);
4. Semiconduttivo esterno: elastomerico estruso;
5. Strato semiconduttivo acquabloccante;
6. Schermatura: nastri di alluminio;
7. 1° Guaina: PE estruso;
8. 2° Guaina: PE di colore rosso.



Il cavo è adatto alla posa direttamente interrata, ha il conduttore in alluminio ed è cordato ad elica.

5.2 Dimensionamento per limite termico di portata

Il primo dimensionamento dei cavi è stato effettuato sulla base del limite termico di portata degli stessi, in base alle condizioni ambientali e di posa, confrontando tali valori con la corrente nominale passante in ogni tratta di cavidotto.

Nella tabella seguente sono mostrati i valori di potenza e corrente passante per ogni tratta di cavidotto precedentemente descritta e la rispettiva scelta del cavo:

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 10

Tratta	Potenza passante [MW]	Corrente passante [A]	Sezione cavo [mm ²]	Portata [A]
DM06-DM08	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DM07-DM05	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DM04-DM03	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DM02-DM01	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DM06-DM07	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DM04-DM02	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DM09-DM06	24,0	393	400	446 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-DM04	24,0	393	400	446 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-DM09	30,0	491	500	509 (altro 1 circuito in prossimità)
Terna 1-SU	48,0	786	2x400	904 (altro 1 circuito in prossimità)

5.3 Dimensionamento per caduta di tensione e perdite

Le sezioni di cavo precedentemente determinate non vanno però a considerare le cadute di tensione e le perdite che si potrebbero generare lungo i vari tratti di cavidotto.

Di norma, quando le tratte di cavi diventano importanti (nell'ordine di chilometri per cavi a tali valori di tensione), si vanno quindi a dimensionare le varie tratte non solo considerando la portata al limite termico dei cavi, ma anche la caduta di tensione nei tratti di cavo ed a fondo cavidotto tale che sia inferiore ad un certo valore percentuale; normalmente si considera sufficiente che la caduta di tensione sia inferiore al 4%. Per il tratto di linea tra la Stazione Terna e la Stazione Utente, invece, essendo il tratto relativamente corto, si prende in considerazione la portata dei cavi.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 10

- cavidotto di collegamento **DM09 – DM06**, 3x1x500 mm²;
- cavidotto di collegamento **DM06 – DM07**, 3x1x120 mm²;
- cavidotto di collegamento **DM07 – DM05**, 3x1x95 mm²;
- cavidotto di collegamento **DM06 – DM08**, 3x1x95 mm².

Per tutti i tratti di cavidotto verrà utilizzato il cavo ARE4H5EEX 20,8/36 kV, interrato a 1,2 m, con le sezioni sopra indicate e posato a trifoglio.

Relativamente al cavidotto AT a 36 kV per il collegamento in Antenna dell’impianto di produzione con lo stallo 36 kV della Stazione Terna, esso sarà costituito:

- **Terna 1 - SU:** - - - - - 2x(3x1x500) mm².

6 Dimensionamento Reattanze Shunt

I cavi di collegamento tra la stazione Terna e la Stazione Utente e di collegamento in entra-esce tra gli aerogeneratori e la Stazione Utente possono essere considerati come capacità elettriche. Tali capacità contribuiscono alla generazione di potenza reattiva e forniscono un contributo alla corrente di guasto monofase a terra di tutta la rete a 36 kV (anche degli altri impianti).

Per tali motivi, nell’Allegato A.17 del Codice di Rete vengono prescritti i limiti per tali contributi e le metodologie per diminuirli in caso di superamento.

6.1 Reattanze Shunt rigidamente connesse al cavo di connessione Terna-Stazione Utente

La prima prescrizione descritta nel Codice di Rete è che il contributo alle correnti di guasto monofase a terra della capacità dovuta al cavo di collegamento tra la Stazione Terna e la Stazione Utente non sia maggiore di 50 A capacitivi.

Alla tensione nominale di 36 kV ne deriva che la capacità massima dei cavi di collegamento è pari a 4,4 µF.

Come da precedenti calcoli di dimensionamento, la linea di collegamento del parco eolico alla stazione Terna sarà composta da una doppia terna da 500 mm² lunga circa 880 m.

Da datasheet del cavo ARE4H5EEX 20,8/36 kV, la capacità per unità di lunghezza del cavo di sezione da 500 mm² è pari a 0,337 µF/km.

Ne deriva che la capacità totale delle due terne di collegamento dell’impianto alla Stazione Terna risulta essere pari a 0,59 µF, valore inferiore al limite massimo imposto dal Codice di Rete.

Per tale motivo non si rende necessaria l’installazione di reattanze shunt collegate rigidamente ai cavi di collegamento tra la Stazione Utente e la Stazione Terna.

6.2 Reattanze Shunt compensazione cavi parco eolico

La seconda prescrizione descritta nel Codice di Rete è che a potenza attiva prodotta dagli aerogeneratori pari a 0, ed in assenza di regolazione di tensione, l’impianto dovrà essere progettato in modo che siano minimizzati gli scambi di potenza reattiva, fino ad un limite massimo di 0,5 MVar. Nel caso in cui tale livello di potenza reattiva sia superato, dovrà essere prevista un sistema di compensazione costituito da

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 10

reattanze shunt in modo da garantire un grado di compensazione la punto di connessione compreso fra il 110% ed il 120% della massima potenza reattiva prodotta a Vn. Reattanze shunt che saranno esercite con neutro isolato per evitare sovrapposizioni con la compensazione omopolare della Bobina di Petersen della Stazione di Terna.

La potenza reattiva prodotta dai cavi del parco eolico può essere calcolata come:

$$Q_C = 3\omega CE^2 = \omega CV^2 [MVar]$$

Dove:

- ω : è la pulsazione della rete;
- C: capacità totale dei cavi 36 kV interni al parco eolico;
- E: tensione di fase;
- V: tensione concatenata (36 kV);

I valori di capacità per unità di lunghezza dei cavi utilizzati all'interno al parco eolico sono i seguenti:

Cavo [mm ²]	C' [µF/km]
95	0,168
120	0,185
150	0,201
185	0,221
240	0,252
300	0,283
400	0,308
500	0,337
630	0,367

Ne deriva che, la potenza reattiva generata dai cavi è pari a 4029 kVAr.

Tali valori di potenza reattiva renderebbero necessaria l'installazione quindi di due reattanze shunt di potenza reattiva commisurata (110-120% Qc).

Grazie però alla Capability degli aerogeneratori (**Figura 1**) di poter assorbire 2933 kVAr di potenza reattiva (induttiva e quindi di segno opposto a quella generata dai cavi) anche a P = 0, le reattanze shunt non si rendono necessarie in quanto la compensazione della potenza reattiva generata dai cavi verrà effettuata dagli stessi aerogeneratori tramite controllo in retroazione della potenza reattiva al punto di connessione.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 10

Infatti, essendo l’impianto composto da 8 aerogeneratori, la potenza reattiva assorbibile dagli stessi è pari a 23464 kVAr, valore molto superiore a quella generata dai cavi, la quale quindi potrà essere compensata fino ad ottenere valori inferiori al limite massimo imposto dal Codice di Rete.

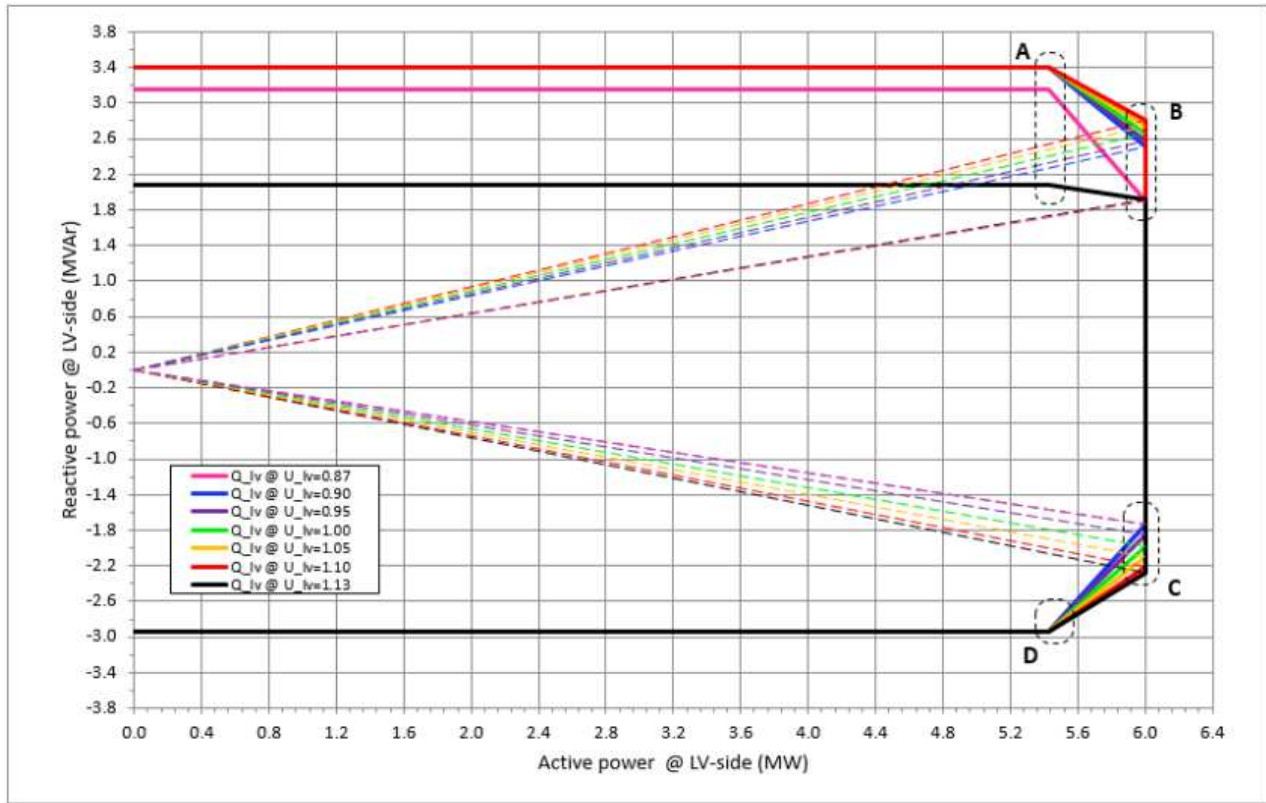


Figura 1 – Capability aerogeneratori Vestas V150 – 6 MW

6.3 Dati di progetto

La Stazione Utente e gli aerogeneratori sono tutti in aeree in cui è presente terreno vegetale/argilloso, per cui si considera una resistività del terreno media di 75 Ωm.

Dall’Allegato A.17 del 2022 del Codice di Rete di Terna si hanno poi le seguenti informazioni per lo standard 36 kV:

- Corrente di guasto monofase a terra garantita: 150 A resistivi;
- Tempo eliminazione guasto monofase a terra: 0,5 s;

Per tale durata del guasto la tensione di contatto ammissibile, secondo CEI 99-3, è pari a $U_{TP} = 220V$.

Ne deriva quindi che la resistenza massima dell’impianto di terra potrà assumere il valore:

$$R_E = \frac{U_{TP}}{I_F} = 1,47 \Omega$$

Considerare la resistenza totale di terra è cautelativo in quanto, essendo sicuramente $U_E < U_{TP}$, ottenere resistenze di terra con valori inferiori a quelli calcolati, porta ad un maggior margine di sicurezza.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Donna Marianna”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DMADE_GENR00600_00
		Data: 18/07/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 10

6.4 Dimensionamento impianto di terra Stazione Utente

Si ipotizza quindi di realizzare il seguente dispersore di terra della Stazione Utente:

- Anello perimetrale esterno rettangolare, di corda in rame di sezione minima pari a 50 mm², di lati pari a 25 m e 8,5 m posato ad una profondità di 70 cm;
- 6 picchetti perimetrali di lunghezza pari 3 m;

I valori della resistenza di ciascun elemento saranno pari a:

- Anello esterno: 2,27 Ω;
- Singolo picchetto: 25 Ω, i quali messi in parallelo determinano una resistenza pari a 4,17 Ω;

Ne deriva quindi una resistenza di terra pari a: 1,42 Ω, valore inferiore al limite massimo di 1,47 Ω necessario per ottenere una tensione di contatto minore di quella ammissibile per condizioni al contorno definite dal CdR.

6.5 Dimensionamento impianto di terra Aerogeneratore

Per l'impianto di terra dell'aerogeneratore si va a considerare il fatto che il tempo di eliminazione del guasto a terra, sarà invece pari a 0,3 s in quanto esso è il tempo di taratura di intervento delle protezioni delle linee di partenza per i sottocampi eolici (sempre secondo Allegato A.17 del Codice di Rete).

Per tale durata del guasto la tensione di contatto ammissibile, secondo CEI 99-3, è pari a $U_{TP} = 400V$.

Ne deriva quindi che la resistenza massima dell'impianto di terra potrà assumere il valore:

$$R_E = \frac{U_{TP}}{I_F} = 2,67 \Omega$$

Si ipotizza quindi di realizzare il seguente dispersore di terra del singolo aerogeneratore:

- Anello circolare esterno alla fondazione, di corda in rame di sezione minima pari a 50 mm², di raggio pari a 15 m e profondità di posa pari a 3 m;

Ne deriva quindi una resistenza di terra pari 1,69 Ω, valore inferiore al limite massimo di 2,67 Ω necessario per ottenere una tensione di contatto minore di quella ammissibile per condizioni al contorno definite dal CdR.

7 Conclusioni

Tutti i cavi sono stati dimensionati valutando la potenza nominale di ciascun aerogeneratore, anche se accade solo raramente che l'aerogeneratore funzioni a potenza nominale. Tale criterio è stato adottato come motivo precauzionale: infatti in caso si dovesse verificare tale situazione, non si avranno né problemi di sovraccarico sui conduttori che comporterebbero quindi una diminuzione della vita utile del cavo, né cadute di tensione e perdite eccessive.

Per quanto riguarda il progetto dell'impianto di terra, esso sarà eseguito nuovamente in fase di progettazione esecutiva in quanto non ci si può basare su semplici risoluzioni matematiche, ma servono campagne di misurazione puntuale della resistività del terreno per verificarne il valore esatto. Infine, dopo la sua realizzazione, saranno effettuate le dovute verifiche di resistenza di terra.