

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 BANZI, PALAZZO SAN GERVASIO (PZ)
SPINAZZOLA (BT)
LOCALITA' "PIANO MADAMA GIULIA"**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "PIANO MADAMA GIULIA"

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:

PMGDE_GENR00600_00

FORMATO:

A4

Nr. EL:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	20/12/2022	A.Lazar	L.Ensini	S.Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 10

Sommario

1	Introduzione	2
2	Riferimenti normativi	2
3	Inquadramento dell'area di intervento.....	2
4	Infrastruttura elettrica dell'impianto di produzione.....	3
5	Dimensionamento cavidotti 36 kV	4
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	9
6.5	Dimensionamento impianto di terra Aerogeneratore.....	10
7	Conclusioni.....	10

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	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 “**Piano Madama Giulia**”, e sito nei Comuni di Banzi, Palazzo San Gervasio e Spinazzola (nel seguito: il “**Progetto**”).

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 Soggetto proponente ha intrapreso l'iniziativa imprenditoriale di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento del vento, composto da n. 15 aerogeneratori mod. Siemens Gamesa SG 4.7 – 155, ciascuno della potenza di 4.7 MW, per una potenza di immissione complessiva dell'impianto eolico pari a 70.5 MW.

Gli aerogeneratori si trovano nei Comuni di Banzi (PZ), Palazzo San Gervasio (PZ) e Spinazzola (BT). Il tracciato del cavidotto di collegamento alla Stazione utente attraversa i medesimi Comuni. L'impianto sarà allacciato alla nuova Stazione Elettrica Terna di Spinazzola, 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 (Um = 42 kV) fino a 150 kV (Um =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.

3 Inquadramento dell'area di intervento

Gli aerogeneratori si possono ricomprendere, dal punto di vista della posizione, in due gruppi. Gli aerogeneratori del primo gruppo sono situati a circa 3 km a nord-est dal Comune di Palazzo San Gervasio e a circa 7 km a sud-ovest dal Comune di Spinazzola. Gli aerogeneratori del secondo gruppo sono situati a circa 7 km a sud dal Comune di Spinazzola. 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.

L'area fa parte di un territorio precollinare appartenente all'alto bacino del torrente Basentello, affluente del fiume Bradano, a un'altitudine compresa fra circa 350 e 450 m s.l.m.- Il posizionamento degli aerogeneratori è stato

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 10

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.

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 3 sottocampi, disposti e collegati col seguente schema e cavi:

- 1) Collegamento AT-36 kV delle SU-PG7-PG8-PG9-PG14-PG15, costituendo il sottocampo eolico 1 da 23,5 MW:
 - cavidotto di collegamento SU – PG7, circa 8280 m;
 - cavidotto di collegamento PG7 – PG8, circa 1980 m;
 - cavidotto di collegamento PG8 – PG9, circa 1920 m;
 - cavidotto di collegamento PG9 – PG14, circa 2380 m;
 - cavidotto di collegamento PG14 – PG15, circa 1460 m.
- 2) Collegamento AT-36 kV delle SU-PG2-PG1, costituendo il sottocampo eolico 2 da 9,4 MW:
 - cavidotto di collegamento SU – PG2, circa 300 m;
 - cavidotto di collegamento PG2 – PG1, circa 3160 m;
- 3) Collegamento AT-36 kV delle SU-PG12-PG11-PG10-PG13, costituendo il sottocampo eolico 3 da 18,8 MW:
 - cavidotto di collegamento SU– PG12, circa 12170 m;
 - cavidotto di collegamento PG12 – PG11, circa 910 m;
 - cavidotto di collegamento PG11 – PG10, circa 1700 m;
 - cavidotto di collegamento PG11 – PG13, circa 2440 m;
- 4) Collegamento AT-36 kV delle SU-PG4-PG3-PG5-PG6, costituendo il sottocampo eolico 4 da 18,8 MW:
 - cavidotto di collegamento SU – PG4, circa 2500 m;
 - cavidotto di collegamento PG4 – PG3, circa 950 m;
 - cavidotto di collegamento PG4 – PG5, circa 800 m ;
 - cavidotto di collegamento PG5 – PG6, circa 1490 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.

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

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 10

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:

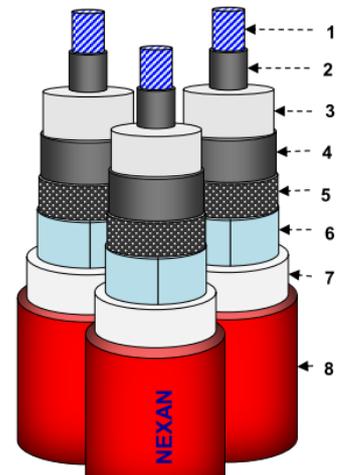
- Tensione di esercizio: 36 kV – 50 Hz;
- Sistema trifase;
- Resistività termica terreno: 1,5°Cm/W;
- Temperatura media ambiente: 20 °C;
- Profondità di posa: 1,2 m;
- Altezza sul livello del mare: <1000 m.

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 ha il conduttore in alluminio ed è cordato ad elica. È anche adatto a posa direttamente interrata.

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.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 10

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:

Tratta	Potenza passante [MW]	Corrente passante [A]	Sezione cavo [mm ²]	Portata [A]
PG5 – PG6	4,7	75	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
PG4 – PG3	4,7	75	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
PG11 – PG13	4,7	75	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
PG11 – PG10	4,7	75	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
PG2 – PG1	4,7	75	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
PG14 – PG15	4,7	75	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
PG4 – PG5	9,4	150	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
SU – PG2	9,4	150	95	171 (altri 2 circuiti in prossimità)
PG9 – PG14	9,4	150	95	193 (altro 1 circuito in prossimità)
PG12 – PG11	14,1	226	150	244 (altro 1 circuito in prossimità)
PG8 – PG9	14,1	226	150	244 (altro 1 circuito in prossimità)
SU – PG4	18,8	301	300	320 (altri 2 circuiti in prossimità)
SU – PG12	18,8	301	300	320 (altri 2 circuiti in prossimità)
PG7 – PG8	18,8	301	300	360 (altro 1 circuito in prossimità)
SU – PG7	23,5	377	500	419 (altri 2 circuiti in prossimità)
Terna 1 - SU	32,9	527	2x300	600 (altri 2 circuiti in prossimità)
Terna 2 - SU	37,6	603	2x400	688 (altri 2 circuiti 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.

Essendo però impianti di produzione dell'energia elettrica e non utilizzatori, le correnti non sono in fase con le rispettive tensioni di fase, ma in sfasamento di 180°. Per tale motivo, a fondo linea non si avranno tensioni inferiori a quelle del punto di connessione, ma valori superiori. Ovviamente tali valori dovranno essere inferiori alle tensioni massime degli isolamenti ma si vuole comunque contenere le sovratensioni massime a fondo cavidotto nell'intorno del 4% rispetto la tensione nominale.

Caduta di tensione percentuale calcolata come:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3}I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)}{V_n} * 100$$

Dove si è posto $\cos\varphi = -1$.

Per tale dimensionamento si è utilizzato il programma di progettazione elettrica “Ampere professional” di Electro Graphics srl, il quale va a calcolare le variazioni di tensione alla temperatura di esercizio, quindi dovuta alla temperatura ambiente ed alla corrente che nominalmente attraversa i cavi.

Potrebbe sembrare comunque che progettando l'impianto ammettendo cadute di tensioni del 4% porti ad avere perdite di linea elevate. La valutazione di tali perdite però devono essere valutate in base alla curva di produzione

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 6 di 10

degli aerogeneratori e quindi in base alla distribuzione dei venti. Infatti, le perdite di linea sono proporzionali, oltre alla resistenza dei cavi, al quadro della corrente passante e per questo, una stessa quantità di produzione annua di energia ottenuta con venti costanti e moderati rispetto ad una ottenuta con venti molto variabili con pochi picchi ma elevati, porteranno ad avere valori di perdite differenti (minori per la prima condizione ambientale).

$$\Delta P = 3RI^2$$

Per tutti questi motivi, dopo la prima verifica di portata dei cavi per le singole tratte e la successiva valutazione delle sovratensioni a fondo linea, si va ad effettuare una valutazione tecnico-economica dei vari tratti di cavo nella quale si effettuano i calcoli delle perdite (considerando la distribuzione dei venti) con le prime scelte minime di sezione confrontandola con una sezione di cavo maggiore. Se le perdite dei cavi con sezione maggiore assumeranno un valore minore tale per cui i guadagni sarebbero tali da compensare il maggiore investimento iniziale, si procederà con la scelta della sezione maggiore.

Ne derivano quindi i seguenti risultati:

Collegamento AT-36 kV delle SU-PG7-PG8-PG9-PG14-PG15, costituendo il sottocampo eolico 1 da 23,5 MW:

- cavidotto di collegamento SU – PG7, 3x1x500 mm²;
- cavidotto di collegamento PG7 – PG8, 3x1x300 mm²;
- cavidotto di collegamento PG8 – PG9, 3x1x185 mm²;
- cavidotto di collegamento PG9 – PG14, 3x1x95 mm²;
- cavidotto di collegamento PG14 – PG15, 3x1x95 mm².

Collegamento AT-36 kV delle SU-PG2-PG1, costituendo il sottocampo eolico 2 da 9,4 MW:

- cavidotto di collegamento SU – PG2, 3x1x95 mm²;
- cavidotto di collegamento PG2 – PG1, 3x1x95 mm²;

Collegamento AT-36 kV delle SU-PG12-PG11-PG10-PG13, costituendo il sottocampo eolico 3 da 18,8 MW:

- cavidotto di collegamento SU– PG12, 3x1x300 mm²;
- cavidotto di collegamento PG12 – PG11, 3x1x185 mm²;
- cavidotto di collegamento PG11 – PG10, 3x1x95 mm²;
- cavidotto di collegamento PG11 – PG13, 3x1x95 mm²;

Collegamento AT-36 kV delle SU-PG4-PG3-PG5-PG6, costituendo il sottocampo eolico 4 da 18,8 MW:

- cavidotto di collegamento SU – PG4, 3x1x300 mm²;
- cavidotto di collegamento PG4 – PG3, 3x1x95 mm²;
- cavidotto di collegamento PG4 – PG5, 3x1x95 mm²;
- cavidotto di collegamento PG5 – PG6, 3x1x95 mm²;

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(3x1x300) mm²;
- Terna 2 - SU: 2x(3x1x400) 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

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 10

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 della prima sezione del parco eolico alla stazione Terna sarà composta da una doppia terna da 300 mm² di lunghezza pari a 500 m, mentre la linea di collegamento della seconda sezione del parco eolico alla stazione Terna sarà composta da una doppia terna da 400 mm² di lunghezza pari a 500 m.

Da datasheet del cavo ARE4H5EEX 20,8/36 kV, la capacità per unità di lunghezza del cavo di sezione da 300 mm² è pari a 0,283 µF/km mentre per il cavo di sezione da 400 mm² è pari a 0,308 µF/km.

Ne deriva che la capacità totale delle 2 terne di collegamento della prima sezione risulta essere pari a 0,283 µF, mentre la capacità totale delle 2 terne di collegamento della seconda sezione risulta essere pari a 0,308 µF, valori inferiori 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 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);

Tale calcolo deve essere effettuato separatamente per le 2 sezioni del campo eolico.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 10

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 per la prima sezione, composta dai due sottocampi sopra descritti, la potenza reattiva generata dai cavi è pari a 2036 kVAr, mentre per la seconda sezione, composta da un sottocampo, la potenza reattiva generata dai cavi è pari a 2277 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 1200 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.

Infatti, per la prima sezione, avendo 7 aerogeneratori, la potenza reattiva assorbibile dagli stessi è pari a 8400 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.

Per la seconda sezione, avendo 8 aerogeneratori, la potenza reattiva assorbibile dagli stessi è pari a 9600 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.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 10

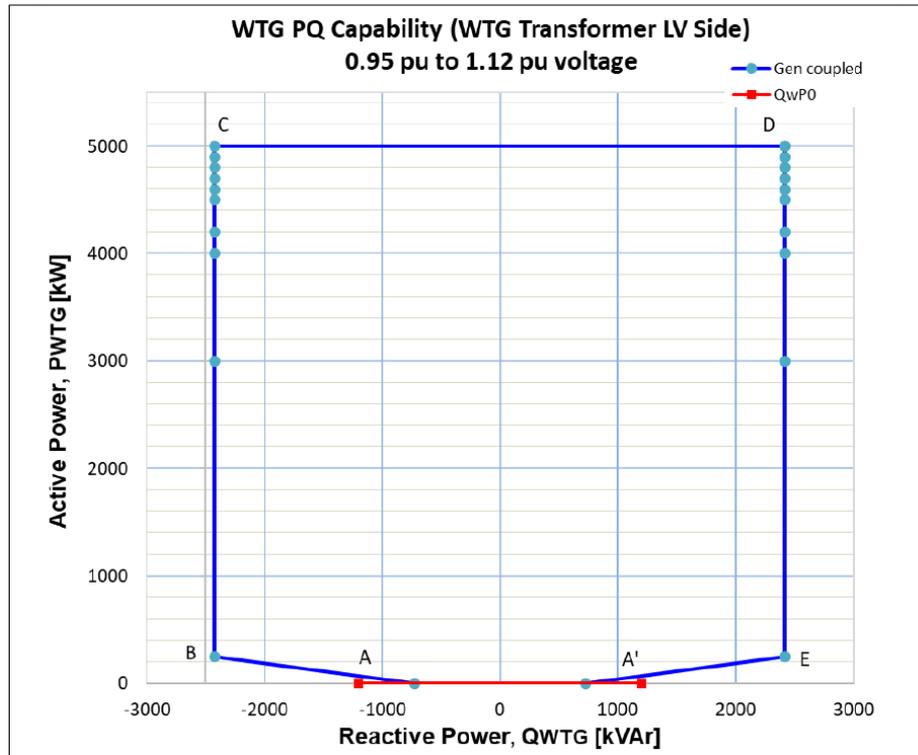


Figura 1 – Capability aerogeneratori Siemens Gamesa 4.7-155 (Potenza Attiva massima ai punti C e D della curva che è pari a 4700 kW)

6.3 Dati di progetto

La Stazione Utente e gli aerogeneratori sono tutti in aree 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.

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;

Aren Green Srl Impianto Eolico “Piano Madama Giulia”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: PMGDE_GENR00600_00
		Data: 20/12/2022
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 10

- 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.