

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 CONTESSA ENTELLINA (PA), SANTA MARGHERITA
DI BELICE (AG), SAMBUCA DI SICILIA (AG) E MENFI (AG)
LOCALITÀ “CONTRADA DUCHESSA”**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO “DUCHESSA”

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:

DUCDE_GENR00600_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	05/04/2024	S. Righini	A. Lazar	S. Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Green Srl Impianto Eolico “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 12

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	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.....	7
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
7 Dimensionamento impianto di terra Stazione Utente.....	9
7.1 Dimensionamento impianto di terra Aerogeneratore.....	10
8 Sistema di accumulo BESS	10
8.1 Connessione elettrica del sistema BESS alla rete.....	12
9 Conclusioni.....	12

Aren Green Srl Impianto Eolico “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 12

1 Introduzione

La società Aren Green S.r.l. ha intrapreso l'iniziativa imprenditoriale di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento del vento nel comune di Contessa Entellina (PA), alla località “Contrada Duchessa”, composto da n. 15 aerogeneratori della Vestas V150 ciascuno della potenza di 6 MW per una potenza complessiva dell'impianto eolico pari a 90 MW, ai quali si aggiungono altri 10 MW di potenza di un sistema di accumulo elettrochimico, per una potenza nominale complessiva dell'impianto eolico + accumulo pari a 100 MW, denominato “Duchessa”.

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 Menfi, Sambuca di Sicilia, Santa Margherita di Belice, tutti in provincia di Agrigento (AG), ed infine il comune di Contessa Entellina in provincia di Palermo (PA).

L'impianto sarà allacciato alla Stazione Elettrica Terna di nuova realizzazione, 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 di Terna ed i suoi Allegati, in particolar modo: Allegato A2, A17, A64, A69.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 12

3 Inquadramento dell'area di intervento

Gli aerogeneratori si possono considerare, dal punto di vista della posizione, in 3 gruppi distinti pur essendo tutti ubicati nel comune di Contessa Entellina.

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

Relativamente ai cavidotti AT in entrata dagli aerogeneratori e dai locchi del sistema BESS, sono previsti quattro sottocampi, disposti e collegati col seguente schema e cavi:

- 1) Collegamento AT-36 kV *SU-DU13-DU5-DU4-DU3-DU7*, costituendo il sottocampo eolico 1 da 30 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DU13**, circa 16880 m,
 - cavidotto di collegamento **DU13 – DU5**, circa 1990 m,
 - cavidotto di collegamento **DU5 – DU4**, circa 1610 m,
 - cavidotto di collegamento **DU4 – DU3**, circa 840 m,
 - cavidotto di collegamento **DU3 – DU7**, circa 690 m,

- 2) Collegamento AT-36 kV delle *SU-DU14-DU10-DU9-DU6-DU8*, costituendo il sottocampo eolico 2 da 30 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DU14**, circa 17590 m,
 - cavidotto di collegamento **DU14 – DU10**, circa 1880 m,
 - cavidotto di collegamento **DU10 – DU9**, circa 560 m,
 - cavidotto di collegamento **DU14 – DU6**, circa 1050 m,
 - cavidotto di collegamento **DU6 – DU8**, circa 750 m,

- 3) Collegamento AT-36 kV delle *SU-DU1-DU12-DU2-DU11-DU15*, costituendo il sottocampo eolico 3 da 30 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DU1**, circa 12020 m,
 - cavidotto di collegamento **DU1 – DU12**, circa 1830 m,
 - cavidotto di collegamento **DU12 – DU2**, circa 670 m,
 - cavidotto di collegamento **DU2 – DU11**, circa 800 m,
 - cavidotto di collegamento **DU11 – DU15**, circa 920 m,

- 4) Collegamento AT-36 kV delle *SU-S1-S2-S3*, costituendo il sottocampo BESS da 10MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – S1**, circa 200 m,
 - cavidotto di collegamento **S1 – S2**, circa 200 m,
 - cavidotto di collegamento **S2 – S3**, circa 200 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 "Duchessa"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 12

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

- **Terna 1 - SU:** circa 1800 m, interrato a 1,2 m
- **Terna 2 - SU:** circa 1800 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:

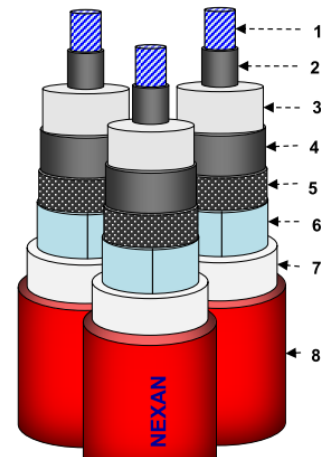
- Tensione di esercizio: 36 kV – 50 Hz;
- Sistema trifase;
- Resistività termica terreno: 1,5°Cm/W;
- Temperatura media ambiente: 20 °C;
- Profondità di posa: 1,2 m;
- Altezza sul livello del mare: <1000 m.

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 "Duchessa"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Data: 05/04/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 5 di 12

Tratta	Potenza passante [MW]	Corrente passante [A]	Sezione cavo [mm ²]	Portata [A]
Sottocampo eolico 1				
DU3-DU7	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DU4-DU3	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DU5-DU4	18,0	295	185	299 (altro 1 circuito in prossimità)
DU13-DU5	24,0	393	400	446 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-DU13	30,0	490	630	579 (altro 1 circuito in prossimità)
Sottocampo eolico 2				
DU6-DU8	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DU14-DU6	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DU10-DU9	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DU14-DU10	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-DU14	30	490	630	579 (altro 1 circuito in prossimità)
Sottocampo eolico 3				
DU11-DU15	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DU2-DU11	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
DU12-DU2	18,0	295	185	299 (altro 1 circuito in prossimità)
DU1-DU12	24,0	393	400	446 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-DU11	30,0	490	630	579 (altro 1 circuito in prossimità)
BESS				
S2-S3	4,6	96	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
S1-S2	9,2	193	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-S1	13,8	289	185	299 (altro 1 circuito in prossimità)
Terna-SU				
Terna 1-SU	60,0	982	2x630	1029 (altro 1 circuito in prossimità)
Terna 2-SU	43,8	491	1x630	579 (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.

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:

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

Dove si è posto $\cos\varphi = -1$.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 6 di 12

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 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:

- 1) Collegamento AT-36 kV *SU-DU13-DU5-DU4-DU3-DU7*, costituendo il sottocampo eolico 1 da 30 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DU13**, 3x1x630 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU13 – DU5**, 3x1x400 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU5 – DU4**, 3x1x240 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU4 – DU3**, 3x1x240 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU3 – DU7**, 3x1x240 mm²;

- 2) Collegamento AT-36 kV delle *SU-DU14-DU10-DU9-DU6-DU8*, costituendo il sottocampo eolico 2 da 30 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DU14**, 3x1x630 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU14 – DU10**, 3x1x120 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU10 – DU9**, 3x1x95 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU14 – DU6**, 3x1x120 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU6 – DU8**, 3x1x95 mm²;

- 3) Collegamento AT-36 kV delle *SU-DU1-DU12-DU2-DU11-DU15*, costituendo il sottocampo eolico 3 da 30 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – DU1**, 3x1x630 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU1 – DU12**, 3x1x400 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU12 – DU2**, 3x1x240 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU2 – DU11**, 3x1x120 mm²;
 - cavidotto di collegamento **DU11 – DU15**, 3x1x95 mm²;

- 4) Collegamento AT-36 kV delle *SU-S1-S2-S3*, costituendo il sottocampo BESS da 10MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – S1**, 3x1x240 mm²;
 - cavidotto di collegamento **S1 – S2**, 3x1x120 mm²;
 - cavidotto di collegamento **S2 – S3**, 3x1x95 mm²;

Aren Green Srl Impianto Eolico “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 12

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 gli stalli a 36 kV della Stazione Terna, esso sarà costituito:

- **Terna 1 - SU:** 2x(3x1x630) mm²;
- **Terna 2 - SU:** 3x1x630 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 della prima sezione del parco eolico alla stazione Terna sarà composta da una doppia terna da 630 mm² lunga circa 1800 m, mentre la linea di collegamento della seconda sezione del parco eolico alla stazione Terna sarà composta da una terna da 630 mm² lunga circa 1800 m.

Da datasheet del cavo ARE4H5EEX 20,8/36 kV, la capacità per unità di lunghezza del cavo di sezione da 630 mm² è pari a 0,367 µF/km.

Ne deriva che la capacità totale delle 2 terne di collegamento della prima sezione risulta essere pari a 1,32 µF, mentre la capacità totale della terna di collegamento della seconda sezione risulta essere pari a 0,66 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 V_n. Reattanze shunt che saranno esercite con neutro isolato per evitare sovrapposizioni con la compensazione omopolare della Bobina di Petersen della Stazione di Terna.

Aren Green Srl Impianto Eolico "Duchessa"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 12

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

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

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.

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 6219 kVAr, mentre per la seconda sezione, composta da un solo sottocampo e dal sistema BESS, la potenza reattiva generata dai cavi è pari a 2358 kVAr.

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

Inoltre, grazie 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.

Infatti, per la prima sezione, avendo 10 aerogeneratori, la potenza reattiva assorbibile dagli stessi è pari a 29330 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 5 aerogeneratori, la potenza reattiva assorbibile dagli stessi è pari a 14665 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 “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Data: 05/04/2024
		Revisione: 00
		Pagina: 9 di 12

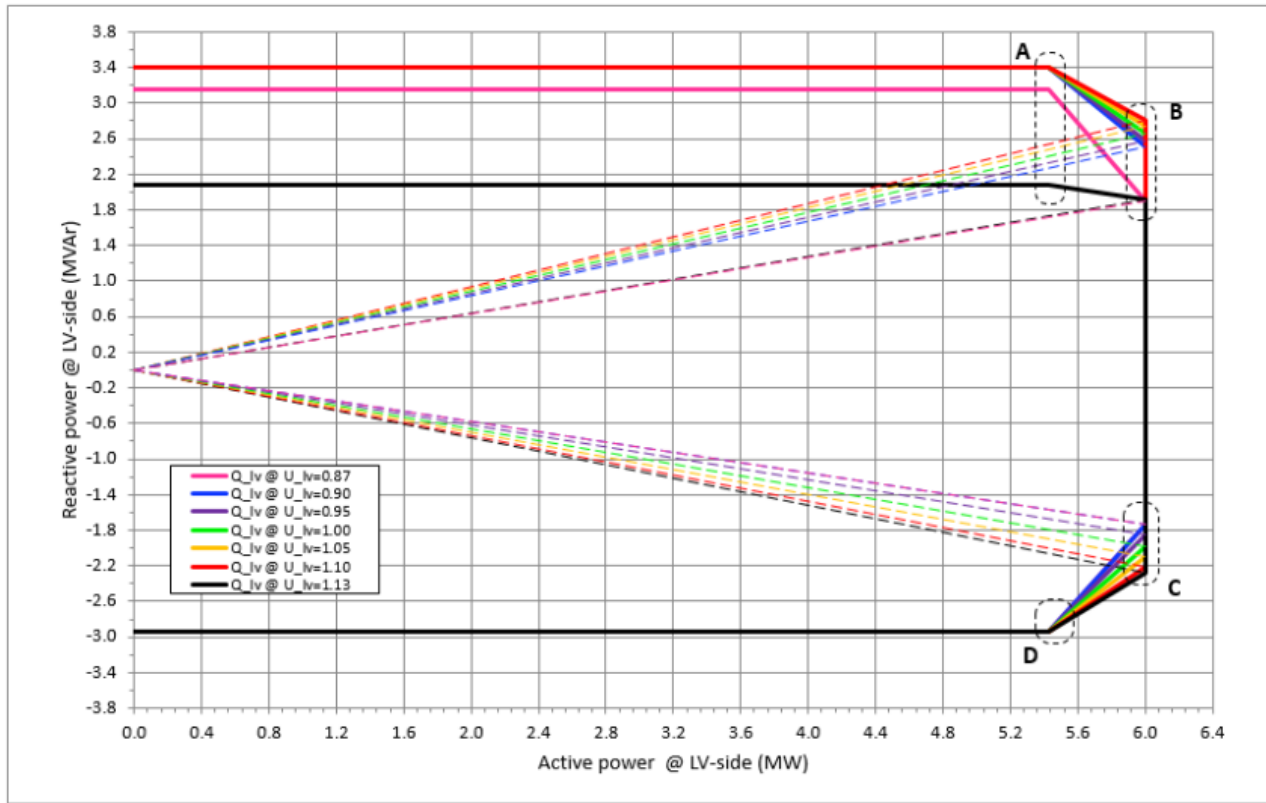


Figura 1 – Capability aerogeneratori Vestas V150 – 6 MW

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 Ω m.

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 $U_{TP} = 220$ V.

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.

7 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 “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 12

- 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.

7.1 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.

8 Sistema di accumulo BESS

L'impianto sarà costituito da container standard modulari e da quadri per uso esterno. La struttura dei container sarà del tipo autoportante metallica, per stazionamento all'aperto, costruita in profilati e pannelli coibentati, e consentirà il trasporto, nonché la posa in opera in un unico blocco sui supporti, con tutte le apparecchiature già installate a bordo e senza che sia necessario procedere allo smontaggio delle varie parti costituenti il singolo container. L'unica eccezione riguarderà i moduli batteria, che se necessario, saranno smontati e trasportati a parte.

Gli eventuali locali interni dei container saranno accessibili dall'esterno mediante porte con serratura a chiave esterna e maniglione antipanico interno per consentire un sicuro e rapido abbandono in caso di emergenza. L'allestimento del container sarà realizzato in maniera da facilitare, in caso di necessità, la sostituzione di ciascuno dei componenti installati nel suo interno. Nei container sarà previsto, dove necessario, un impianto di condizionamento e ventilazione, idoneo a mantenere le condizioni ambientali interne ottimali per il funzionamento dei vari apparati. Sarà realizzato un idoneo impianto elettrico con prese di distribuzione all'interno ed illuminazione interna ed esterna, normale e di sicurezza. Il grado di protezione minimo dei container sarà di IP54. Sarà previsto un sistema antieffrazione con le relative segnalazioni. La struttura sarà antisismica, nel rispetto delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17/01/2018).

La potenza richiesta del sistema di accumulo è pari a 12 MW e la si richiede per una durata di 3 ore, con lo scopo di offrire un servizio alla rete e/o al parco eolico.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 12

Da un primo dimensionamento si è ipotizzato di utilizzare 3 blocchi inverter da 2 MVA per un totale di 6 inverter e quindi 12 MVA. Dato che la potenza richiesta è per 3 h, si considerano 15 rack connessi ad ogni inverter ovvero 5 rack (unità) x 3h. Ne consegue che ad ogni inverter sono applicati 6900 kW sempre per 3h.

Per ogni blocco sono connessi 60 rack e quindi per 3 blocchi si hanno 180 rack totali. Se si considerano 15 rack in ogni container sono necessari 12 container. Ne consegue che a ciascun inverter saranno connessi 30 rack, pur rimanendo 12 il numero dei container con all'interno sempre 15 rack.

Questa scelta deriva dal fatto che idealmente la potenza nominale che si ottiene per il SdA è di:

$$180 \text{ rack} * 230 \text{ kW h} * 3 (h) = 13,8 \text{ MW}$$

ma il fornitore garantisce un corretto funzionamento del sistema anche per fluttuazioni della tensione di rete del 10% e un $\cos\phi$ pari a 0,95 in caso di richiesta di potenza reattiva da parte della rete. Per cui, i 13,8 MW verrebbero per prima cosa limitati dalla potenza nominale dell'inverter a circa 12 MVA; da qui si applica la riduzione di potenza data dalle fluttuazioni del 10% e i MVA ottenuti vengono moltiplicati per 0,95. Si ottiene quindi una potenza nominale reale garantita dal fornitore pari a 10 MW:

$$12 \text{ MVA} * 0,9 * 0,95 = 10 \text{ MW}$$

Nel documento DUCDC_SSET01800_00_BESS - Pianta e layout componenti viene riportato il layout adottato per la fornitura dei container, degli inverter e del trasformatore con le celle AT a 36 kV.

In riferimento alla stima di vita del pacco batteria, questa è fortemente legata a come viene utilizzata la batteria stessa, ovvero alla modalità di scarica e carica. Anche grazie a informazioni fornite da diversi costruttori di batterie della stessa tecnologia è nota la durata nominale di un sistema di accumulo come quello descritto sopra, che è di circa 20 anni. Questo valore si ottiene considerando un ciclo completo (carica/scarica) al giorno al C-rate nominale (C1) e con una profondità di scarica (DOD) di circa 70-75%. Al contrario, nel caso ad esempio di due cicli completi al giorno, la vita viene quasi dimezzata a pari condizioni di lavoro. Dunque, i parametri principali nella valutazione della vita del sistema sono DOD, il numero di cicli al giorno, così come il tempo di riposo tra cicli.

Le combinazioni che si possono realizzare sono quindi varie e numerose e ciascuna di esse concorre ad una durata differente del sistema di accumulo. A titolo di esempio, se si realizzassero due cicli completi al giorno ma con un DOD del 50% e garantendo un sufficiente tempo di riposo tale per cui le batterie possono raffreddarsi correttamente, la degradazione del sistema sarebbe ridotta. Ne consegue che la stima di vita del sistema di accumulo è assai complessa e dipende fortemente dalle condizioni di lavoro a cui il SdA è sottoposto.

Di importanza notevole è anche l'impatto ambientale del sistema di accumulo; nello specifico è necessario prendere provvedimenti contro il fenomeno del thermal runaway e il conseguente rischio di incendio. Questo è ottenuto tramite la certificazione dell'impianto da parte del Corpo dei vigili del fuoco, con l'uso di pareti resistenti al fuoco e sistemi di ventilazione, mantenendo una corretta distanza tra i container (minimo 2,5 m) e ovviamente con l'introduzione del sistema di monitoraggio e controllo (BMS).

Per quanto riguarda l'impatto ambientale in termini di occupazione del suolo, per la soluzione scelta dal dimensionamento precedente, risulta che l'insieme di container e skid (inverter e trasformatori) prevede un'occupazione di circa 2000m².

Infine, vanno considerate le modalità di smaltimento delle batterie esauste, che deve avvenire seguendo precisi criteri per i quali è necessario separare ogni singolo componente per poter recuperare e smaltire i materiali. Ne deriva che questo processo è abbastanza costoso e deve essere svolto da aziende specializzate nel settore. La domanda sempre maggiore di batterie al Litio anche per uso automotive ha comportato e comporterà un sempre

Aren Green Srl Impianto Eolico “Duchessa”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: DUCDE_GENR00600_00
		Data: 05/04/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 12 di 12

maggior sfruttamento dei depositi, rischiando di raggiungere nei prossimi anni un limite nella possibilità di estrazione, con conseguente impatto ambientale considerevole; per questo è fondamentale poter riciclare al meglio i componenti della batteria.

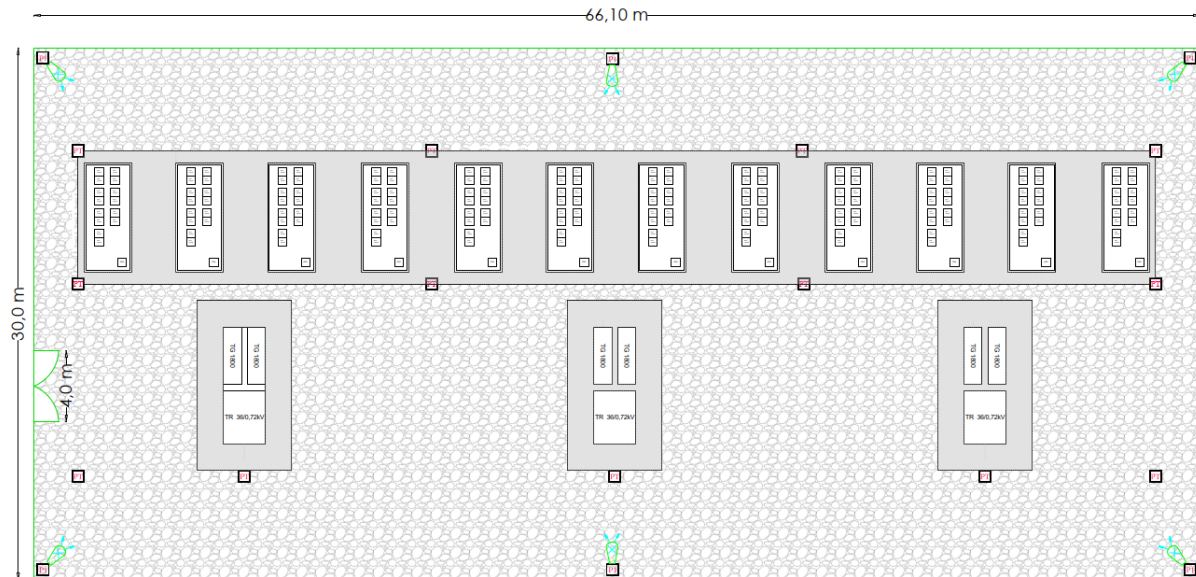


Figura 2 – Rappresentazione grafica generale Layout BESS

8.1 Connessione elettrica del sistema BESS alla rete

La connessione dell'impianto BESS alla rete elettrica AT avverrà per mezzo di una SSE di Utente avente tensione di esercizio a 36 kV. L'SSE Utente sarà collegata in antenna alla Stazione Elettrica di trasformazione (SE) della RTN 220/150/36 kV di futura realizzazione tramite un elettrodotto a 36 kV interrato distante circa 1,8 km.

9 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.