

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 BUSETO PALIZZOLO, ERICE E TRAPANI(TP)
LOCALITÀ “CONTRADA GAMBINO”

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI **IMPIANTO EOLICO** **“GAMBINO”**

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:

GMBDE_GENR00600_00

FORMATO:

A4

Nr. EL.:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	12/02/2024	A.Lazar	S.Righini	S. Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Green Srl Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 9

Sommarrio

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.....	3
5.2 Dimensionamento per limite termico di portata	4
5.3 Dimensionamento per caduta di tensione e perdite.....	4
6 Dimensionamento Reattanze Shunt.....	6
6.1 Reattanze Shunt rigidamente connesse al cavo di connessione Terna-Stazione Utente	6
6.2 Reattanze Shunt compensazione cavi parco eolico.....	6
6.3 Dati di progetto.....	8
6.4 Dimensionamento impianto di terra Stazione Utente	8
6.5 Dimensionamento impianto di terra Aerogeneratore.....	8
7 Conclusioni.....	9

Aren Green Srl Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 9

1 Introduzione

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Gambino”, nei comuni di Buseto Palizzolo ed Erice (TP) in località “Contrada Gambino”, costituito da n. 6 aerogeneratori di potenza unitaria 6 MW, per una potenza complessiva dell’impianto di 36 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 Buseto Palizzolo ed Erice (TP).

L’impianto sarà allacciato alla Stazione Elettrica Terna di nuova realizzazione, denominata “Buseto 2”, 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 “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 9

3 Inquadramento dell'area di intervento

Gli aerogeneratori si possono considerare, dal punto di vista della posizione, in due gruppi distinti pur essendo tutti ubicati nel comune di Buseto-Palizzolo.

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 delle *SU-CG1-CG2-CG3*, costituendo il sottocampo eolico 1 da 18 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – CG3**, circa 7480 m;
 - cavidotto di collegamento **CG3 – CG2**, circa 830 m;
 - cavidotto di collegamento **CG2 – CG1**, circa 1490 m;
- 2) Collegamento AT-36 kV delle *SU-CG6-CG5-CG4*, costituendo il sottocampo eolico 2 da 18 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – CG4**, circa 9320 m;
 - cavidotto di collegamento **CG4 – CG5**, circa 1070 m;
 - cavidotto di collegamento **CG5 – CG6**, circa 2070 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 300 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;

Aren Green Srl Impianto Eolico "Gambino"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 9

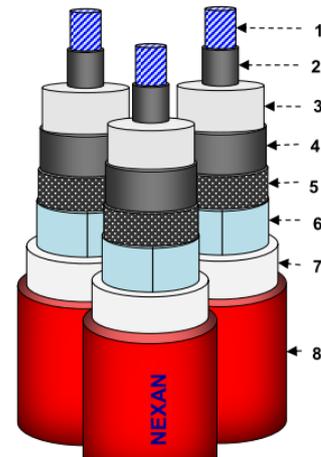
- Temperatura media ambiente: 20 °C;
- Profondità di posa: 1,2 m;
- Altezza sul livello del mare: <1000 m.

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:

Tratta	Potenza passante [MW]	Corrente passante [A]	Sezione cavo [mm ²]	Portata [A]
CG2-CG1	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
CG5-CG6	6,0	98	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
CG3-CG2	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
CG4-CG5	12,0	196	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-CG3	18,0	295	185	299 (altro 1 circuito in prossimità)
SU-CG4	18,0	295	185	299 (altro 1 circuito in prossimità)
Terna 1-SU	36,0	589	2x240	589 (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;

Aren Green Srl Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 9

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 $\cos\varphi = -1$.

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 delle *SU-CG1-CG2-CG3*, costituendo il sottocampo eolico 1 da 18 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – CG3**, 3x1x300 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CG3 – CG2**, 3x1x120 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CG2 – CG1**, 3x1x95 mm²;
- 3) Collegamento AT-36 kV delle *SU-CG6-CG5-CG4*, costituendo il sottocampo eolico 2 da 18 MW:
 - cavidotto di collegamento **SU – CG4**, 3x1x300 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CG4 – CG5**, 3x1x120 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CG5 – CG6**, 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;

Aren Green Srl Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 6 di 9

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 300 mm² lunga circa 300 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.

Ne deriva che la capacità totale delle due terne di collegamento dell'impianto alla Stazione Terna risulta essere pari a 0,15 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 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:

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

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);

Aren Green Srl Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 9

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 $U_{TP} = 220V$.

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;
- 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;

Aren Green Srl Impianto Eolico “Gambino”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: GMBDE_GENR00600_00
		Data: 12/02/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 9

Ne deriva quindi una resistenza di terra pari $1,69 \Omega$, valore inferiore al limite massimo di $2,67 \Omega$ 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.