

Levant Wind S.r.l.

**Parco Eolico "Levant" sito nei comuni
di: Busetto Palizzolo, Erice e Valderice**

**RELAZIONE DI CALCOLO E
DIMENSIONAMENTO RETE AT**

Giugno 2022



Committente:

Levant Wind S.r.l.

Levant Wind S.r.l.
Via Sardegna, 40
00187 Roma
P.IVA/C.F. 1618113100

Titolo del Progetto:

Parco Eolico "Levant" sito nei Comuni di: Buseto Palizzolo, Erice e Valderice

Documento:

**RELAZIONE DI CALCOLO E
DIMENSIONAMENTO RETE AT**

N° Documento:

IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-02

Progettista:



sede legale e operativa
San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale
sede operativa
Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114
P.IVA 01465940623
Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista
Dott. Ing. Nicola FORTE



Consulente per la progettazione
Dott. Ing. Gaetano PUPELLA
Dott. Ing. Salvatore PRIOLO



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Giugno 2022	Richiesta AU	MC	PM	NF

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 3 di 15
---	---	---	--

Sommario

1.	INTRODUZIONE.....	4
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	4
3.	SISTEMA ELETTRICO	6
3.1	Struttura generale	6
3.2	Cabina di raccolta	8
4.	DATI IMPIANTO.....	10
4.1	Caratteristiche generali	10
4.2	Correnti termiche, correnti di guasto e tempi di eliminazione	10
4.3	Trasformatori degli aerogeneratori.....	10
4.4	Cavi a 36 kV.....	10
5.	DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE RETE A 36 kV	11
5.1	Criteri di dimensionamento e verifica	11
5.2	Scelta del livello di isolamento dei cavi	11
5.3	Calcolo della sezione minima dei conduttori a 36 kV.....	12
5.4	Verifica della portata	12
5.5	Risultati dei calcoli.....	13
6.	CONCLUSIONI	17
7.	APPENDICE 1 – Caratteristiche dei cavi utilizzati.....	18

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 4 di 15
---	---	---	--

1. INTRODUZIONE

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da undici aerogeneratori della potenza unitaria di 6,00 MW modello Vestas-V162, per una potenza complessiva di impianto pari a 66,00 MW. L'installazione insisterà nei comuni di Buseto Palizzolo (TP), Erice (TP) e Valderice (TP) alle località "Menta", "Carrubazza", "Timpone Tangi", con opere di connessione ricadenti sugli stessi territori comunali.

Proponente dell'iniziativa è la società LEVANT WIND s.r.l. con sede in Via Sardegna 40, 00187 Roma (RM)

Catastalmente l'area dove sono previsti gli aerogeneratori si inquadra tra i fogli nn. 280-298-300 del comune di Erice, nn. 19-20-21 del comune di Buseto Palizzolo, nn. 63-64-65-66-67-68 del comune di Valderice.

Gli aerogeneratori sono collegati tra di loro mediante un cavidotto in alta tensione interrato a 36 kV (detto "cavidotto interno"). L'energia erogata dall'impianto arriva, grazie al cavidotto interno alla Cabina Utente di raccolta sita sul territorio del comune di Erice. Dalla Cabina Utente di raccolta l'energia viene trasportata con cavo interrato a 36 kV (detto "cavidotto esterno") fino alla nuova Stazione Elettrica (SE) di trasformazione a 150/36 kV della RTN prevista sul foglio 42 del comune di Buseto Palizzolo e da inserire in doppio entra- esce alle due linee RTN 150 kV "Buseto Palizzolo - Fulgatore" e "Buseto Palizzolo – Castellammare Golfo" previa la realizzazione di opere di rete.

La presente relazione descrive i criteri di dimensionamento dei componenti e riporta i calcoli elettrici preliminari di load flow dell'impianto di progetto.

2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

IEC 60502-2: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m=1.2$ kV) up to 30 kV ($U_m=36$ kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m=7.2$ kV) up to 30 kV ($U_m=36$ kV) (03/2005);

CEI EN 60909 (11-25): Calcolo di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata (12/2001);

IEC 60287: Electric cables – Calculation of the current rating (12/2006);

Legge 01 marzo 1968 n.186: Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici.

Norma CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 5 di 15
---	---	---	--

Norma CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo

Norma IEC 60909: Calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti trifasi a corrente alternata.

Norma CEI EN 50110-1: Esercizio degli impianti elettrici.

Norma CEI EN 50363: Materiali isolanti, di guaina e di rivestimento per cavi di energia di bassa tensione.

Norma CEI EN 50522: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1kV in c.a.

Norma CEI EN 50541-1: Trasformatori trifase di distribuzione di tipo a secco a 50 Hz, da 100 kVA a 3150 kVA e con una tensione massima per il componente non superiore a 36 kV.

Norma CEI EN 60071: Coordinamento dell'isolamento.

Norma CEI EN 60076-1: Trasformatori di potenza –Parte 1 Generalità.

Norma CEI EN 60099-4/A2, CEI 37-2;V2: Scaricatori. Parte 4: Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche a corrente alternata.

Norma CEI EN 61082-1: Preparazione di documenti utilizzati in elettrotecnica - Parte 1: Prescrizioni generali.

Norma CEI EN 61936-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni.

Documento di armonizzazione CENELEC HD 637 S1: Power installations exceeding 1kV a.c.

Norma IEC 60204-1: Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements.

Norma IEC 60228: Conductors of insulated cables.

Norma IEC 60502: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2 \text{ kV}$) up to 30 kV ($U_m = 36 \text{ kV}$).

Terna Allegato A.3 Codice di rete - Requisiti e caratteristiche di riferimento di stazioni e linee elettriche della RTN

Terna Allegato A.17 Codice di rete - CENTRALI EOLICHE: Condizioni generali di connessione alle reti AT - Sistemi di protezione regolazione e controllo

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 6 di 15
---	---	---	--

3. SISTEMA ELETTRICO

3.1 *Struttura generale*

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da n. 11 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno per una potenza totale di 66 MW.

Gli aerogeneratori sono divisi in tre sottocampi, due dei quali costituiti da 4 generatori (per un totale di 24 MW ciascuno) e uno costituito da 3 generatori (per un totale di 18 MW). Gli aerogeneratori saranno collegati tra di loro mediante dei cavidotti interrati a 36 kV che confluiranno ad una Cabina Utente di raccolta a 36 kV dalla quale avrà origine il collegamento in cavo interrato a 36 kV dell'impianto di produzione alla Stazione Elettrica 150/36 kV di trasformazione Terna. Tale linea sarà connessa ad una singola cella 36 kV con un numero di terne in parallelo non superiore a 2. I cavidotti a 36 kV, posati nei tratti paralleli nello stesso scavo, seguono, per la maggior parte del tracciato, strade vicinali.

Le linee interrate a 36 kV seguiranno le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17. Le linee saranno costituite da terne di cavi unipolari (ad elica visibile) del tipo ARE4H5E(X) 20.8/36(42)kV, o equivalenti, posati ad una profondità di 1.20m. I percorsi interrati dei cavi saranno segnalati, in modo tale da rendere evidente la loro presenza in caso di ulteriori scavi, mediante l'utilizzo di nastri monitori posati nel terreno a non meno di 0.2 m al di sopra dei cavi, secondo quanto prescritto dalla norma CEI 11-17. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Alta Tensione".

La linea che interessa il collegamento tra il quadro a 36 kV nella Cabina Utente di raccolta ed il trasformatore dei servizi ausiliari di stazione da 50 kVA minimo seguirà la modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, e sarà costituita da una terna di cavi unipolari (ad elica visibile) ARE4H5E(X) 20.8/36(42)kV, o equivalenti, posati su passerella porta-cavi o in cunicolo areato/chiuso, ovvero modalità di posa tipo F oppure P.1/P.2 all'interno del locale utente della Stazione Elettrica 150/36 kV di trasformazione Terna..

Le terminazioni e le giunzioni per i cavi di energia saranno idonee a sopportare le sollecitazioni elettriche, termiche e meccaniche previste durante l'esercizio dei cavi in condizioni ordinarie ed anomale (sovracorrenti e sovratensioni).

La tensione di designazione U degli accessori sarà almeno uguale alla tensione nominale del sistema al quale sono destinati, ovvero 36 kV. I componenti e i manufatti adottati per la protezione meccanica supplementare saranno progettati per sopportare, in relazione alla profondità di posa, le prevedibili sollecitazioni determinate dai carichi statici, dal traffico veicolare o da attrezzi manuali di scavo, secondo quanto previsto nella norma CEI 11-17.

Lungo tutto lo scavo dei collegamenti tra gli aerogeneratori sarà posata una corda in rame nudo di sezione 50 mm² per la messa a terra dell'impianto.

La Figura 1 mostra lo schema unifilare dell'impianto eolico dagli aerogeneratori fino alla SE terna 150/36 kV RTN. Si rimanda alle tavole grafiche di progetto per il layout dell'impianto e per il tracciato e i particolari dei cavidotti a 36 kV.

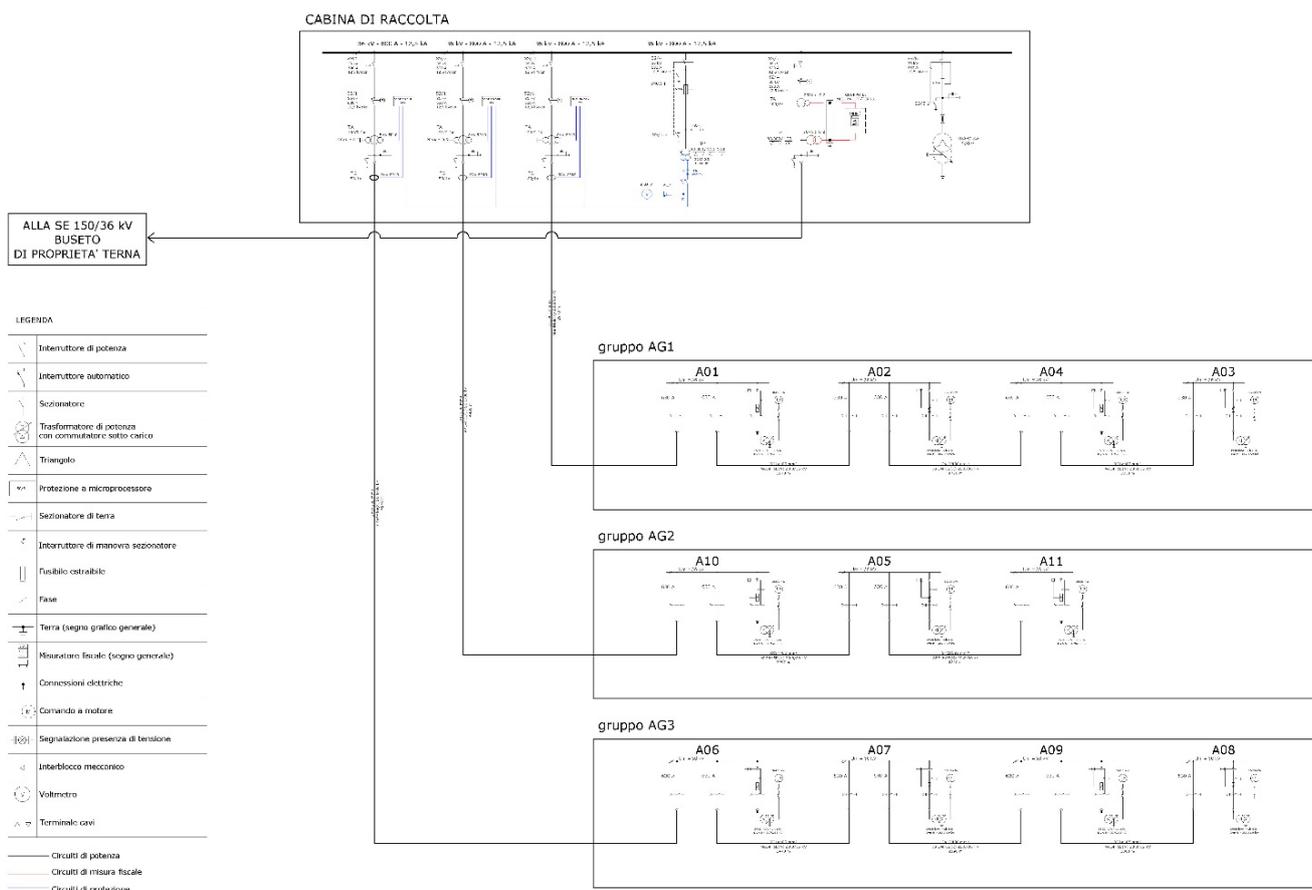


Figura 1. Schema unifilare dell'impianto.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 8 di 15
---	---	---	--

3.2 Cabina di raccolta

La cabina di raccolta si pone come interfaccia tra l'impianto eolico e la sottostazione. Essa insiste su un'area recintata di 22,20 x 12,80 m e presenta le dimensioni planimetriche di 14 x 4,10 per un'altezza fuori terra del corpo di fabbrica pari a 4,10 m e un piano interrato di 4,10 m. Essa si compone di tre ambienti adiacenti, ma non comunicanti con ingresso indipendente:

1. Locale controllo;
2. Locale quadri AT 36 kV;
3. Locale TR

Per i riferimenti grafici si rimanda all'elaborato di progetto IT-VESLVT-TEN-ELE-DW-03 "Particolare Edifici".

Secondo la soluzione di progetto la cabina è prevista a circa 2,3 km dal primo blocco di aerogeneratori (A01 – A02 – A03 – A04) mentre dista circa 2,8 km dagli altri due blocchi più a Nord (A05 – A10 – A11 e A06 – A07 – A08 – A09)

La soluzione di progetto verrà approfondita durante la fase esecutiva. Allo stato attuale della progettazione si prevede che la struttura della cabina possa essere realizzata nelle seguenti modalità:

Tipologia prefabbricata con struttura monolitica in calcestruzzo armato vibrato autoportante completa di porte di accesso, infissi e griglie di aerazione.

Tipologia gettata in opera con struttura a travi e pilastri.

In ogni caso valgono le seguenti specifiche per le opere di completamento:

Le pareti esterne di tamponamento dovranno essere costituite da pannellature modulari, di spessore non inferiore ai 20 cm, del tipo orizzontale monolitico in C.A.V., aventi la faccia interna in cemento naturale liscio. Queste dovranno essere appoggiate su apposite travi porta pannelli o sui collari dei plinti; non è ammesso l'appoggio indiretto sulla struttura fondazionale.

Le pareti interne, di separazione tra il locale TR e il locale quadri, dovranno essere realizzate in C.A.V, adeguatamente armato e di spessore non inferiore a 10 cm, dovranno essere trattate con intonaco murale plastico. Queste dovranno avere resistenza al fuoco REI 120. e dovranno estendersi per tutta l'altezza interna dell'edificio (fino a sotto copertura).

La copertura dovrà essere costituita da un solaio di tipo alveolare o solaio in polistirene espanso e dovrà essere completata con una impermeabilizzazione, costituita da guaina o pannelli sandwich coibentati.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 9 di 15
---	---	---	--

La pavimentazione nel locale quadri dovrà essere del tipo modulare sopraelevata con piano di appoggio costituito da una soletta in CLS a superficie regolare e perfettamente piana trattata superficialmente antipolvere. Il pavimento dovrà essere dimensionato per sopportare un carico concentrato di 50 kN/m² ed un carico uniformemente distribuito non inferiore a 5 kN/m².

Sul pavimento dovranno essere predisposte apposite finestre per il passaggio dei cavi in arrivo a 36 kV completo di botola di accesso al vano cavi.

Le porte esterne dovranno essere costituite da uno o più battenti mobili e avere dimensioni 1200x2500-2700 (H) mm; dovranno essere dotate di serratura di sicurezza a tre punti di chiusura, anche con maniglioni antipanico e le griglie di aerazione saranno il tipo standard di dimensioni 1200x500 (H) mm. I materiali da utilizzare sono o vetroresina stampata, o lamiera, ignifughe ed autoestinguenti.

All'interno della cabina saranno presenti i quadri a 36 kV contenenti gli interruttori di manovra/sezionatori, gli interruttori automatici di protezione e gli strumenti di misura delle linee in arrivo e in partenza.

I quadri saranno del tipo prefabbricato con le seguenti caratteristiche minime:

- Corrente nominale di barra: non inferiore a 800 A
- Corrente di corto circuito per il dimensionamento delle apparecchiature e connessioni: 20 kA
- Tempo di eliminazione del guasto a terra a 36 kV: 1 s
- Correnti termiche nominali di sbarra a 36 kV: 25 kA

Nel dettaglio, il quadro a 36 kV sarà costituito almeno dai seguenti scomparti:

- n.1 scomparto di sezionamento della linea in arrivo dalla stazione RTN con IMS motorizzato e con TA e TV per il collegamento del gruppo di misura. L'interruttore deve realizzare la separazione funzionale fra le attività interne all'impianto, di competenza dell'utente e quelle esterne ad esso;
- n. 3 scomparti protezione con interruttori automatici con relé elettronico contenente almeno le protezioni contro le sovracorrenti 50/51, contro le sovracorrenti omopolari 50N/51N e direzionali di terra 67N. Gli interruttori a 36 kV saranno a comando tripolare con potere di interruzione delle correnti di cortocircuito ≥ 25 kA e capacità di interruzione della corrente capacitiva a vuoto ≥ 50 A;
- n. 1 scomparto di protezione con IMS con fusibile per la protezione del trasformatore alimentante i servizi ausiliari di impianto;
- n. 1 scomparto misure.

Le protezioni di ogni sottocampo saranno tarate come indicato dell'allegato A.17 del codice di rete.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 10 di 15
---	---	---	---

4. DATI IMPIANTO

4.1 *Caratteristiche generali*

- Sistema elettrico: 3 fasi – c.a.
- Tensione nominale del sistema: 36 kV
- Tensione massima del sistema: 42 kV
- Frequenza nominale di rete: 50Hz
- Categoria sistema elettrico della rete: III
- Stato del neutro della rete: neutro compensato

4.2 *Correnti termiche, correnti di guasto e tempi di eliminazione*

- Corrente di corto circuito per il dimensionamento delle apparecchiature e connessioni: 20 kA
- Tempo di eliminazione del guasto a terra a 36 kV: 1 s
- Correnti termiche nominali di sbarra a 36 kV: 25 kA

4.3 *Trasformatori degli aerogeneratori*

- Potenza nominale 7500 kVA
- Rapporto trasformazione 36/0.72 kV
- Tensione di c.to c.to 10.6 %
- Perdite nel rame nominali 72.89 kW
- Perdite nel ferro 3.7 kW
- Collegamento Dyn 11
- Regolazione ±2x2.5 %

4.4 *Cavi a 36 kV*

- Sigla ARE4H5E(X) 20.8/36(42) kV
- Tensione di isolamento U₀/U 20.8/36 kV
- Conduttore Alluminio
- Isolamento XLPE

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 11 di 15
---	---	---	---

5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE RETE A 36 kV

5.1 Criteri di dimensionamento e verifica

Nel seguito si illustrano i criteri di calcolo adottati per il dimensionamento dei cavi elettrici del sistema a 36 kV e si riportano i risultati dei calcoli effettuati.

Attraverso il calcolo di load flow del sistema a 36kV sono determinate le cadute di tensione totali e dei singoli tratti, le perdite in linea e le correnti di impiego. Il calcolo di load flow è stato effettuato in modo iterativo fino alla determinazione delle sezioni di linea che soddisfano i seguenti requisiti:

- Verifica della portata nei diversi tratti della rete nelle condizioni di posa di progetto;
- Verifica delle perdite complessive delle linee (limite totale = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee per i collegamenti tra gli aerogeneratori (caduta di tensione limite imposta nel singolo tratto tra gli aerogeneratori pari a 1%);
- Verifica della caduta di tensione massima nelle linee (caduta di tensione limite imposta pari al 3%);

e assumendo:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla somma delle potenze nominali dei gruppi di generazione collegati;
- Fattore di potenza dei gruppi pari a 1;
- Tensione nominale alle sbarre del trasformatore della SE Terna 150/36 pari a 36 kV;
- Resistenza elettrica dei cavi riportata alla massima temperatura operativa (90 °C).

5.2 Scelta del livello di isolamento dei cavi

Il livello di isolamento richiesto per tutte le apparecchiature è pari a $U_r = 40,5$ kV, valore previsto dalla norma CEI EN 62271-1 e tale da rispettare la massima tensione di esercizio garantita da Terna pari a +10% della tensione nominale. I cavi scelti assicurano l'isolamento fino a 42 kV.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 12 di 15
---	---	---	---

5.3 *Calcolo della sezione minima dei conduttori a 36 kV*

In base all'art. 4.2.2 della norma CEI 11-17, la scelta della sezione minima deve essere fatta in modo che la temperatura raggiunta dal conduttore per effetto della sovracorrente non sia dannosa, come entità e durata, per l'isolamento o per gli altri materiali con cui il conduttore è in contatto o in prossimità. Ai fini della scelta della sezione del conduttore vengono prese in considerazione le condizioni che seguono:

$$I^2 t \leq K^2 S^2$$

dove:

- I = 20000 A è la massima corrente di cortocircuito del sistema a 36 kV;
- t = 1 s è il tempo di eliminazione della corrente di guasto nel sistema a 36 kV;
- K = 92 è un coefficiente determinato dalla tab. 4.2.2 della norma CEI 11-17 per cavi in alluminio isolati in XLPE.

Dalla precedente deriva una sezione minima commerciale pari a 240 mm².

5.4 *Verifica della portata*

In ogni tratto di linea a 36 kV la corrente di impiego, determinata a partire dalla potenza nominale degli aerogeneratori, deve essere inferiore o al limite uguale alla portata dei cavi.

La portata dei cavi in regime permanente I_z viene determinata in accordo alla norma CEI 11-17 e alla tabella CEI UNEL 35027, tenendo conto del declassamento dovuto alla temperatura, profondità e tipologia di posa.

In particolare, è utilizzata la formula seguente:

$$I_z = I_0 \cdot k_d \cdot k_{tt} \cdot k_p \cdot k_r$$

dove:

- I₀ = portata fornita dal costruttore con resistività termica del terreno 1,5 °C m/W e profondità di posa 0,8 m;
- k_d coefficiente di spaziatura per terne affiancate e distanziate 250 mm – 1.09 per tre terne; 1.06 per due terne;

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 13 di 15
---	---	---	---

- $k_{tt} = 1$ coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento (20°C);
- $k_p = 0.96$ coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento (0,8 m);
- $k_r = 0.88$ coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento. In assenza di informazioni specifiche sulle caratteristiche termiche del terreno, è stata considerata cautelativamente una resistività termica pari a 2 °C m/W.

5.5 Risultati dei calcoli

Nella tabella 1 sono riportate le sezioni calcolate per ogni tratta del sistema a 36 kV.

Tabella 1. Sezioni delle tratte delle linee a 36 kV risultanti dal calcolo di load flow.

TRATTO	LINEA DI APPARTENENZA	GENERATORI COLLEGATI	LUNGHEZZA [m]	CAVO
Terna-CU	-	11	1310	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 2x(3x1x630) mm ²
CU-A1	1	4	2970	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x630 mm ²
A1-A2	1	3	1270	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²
A2-A4	1	2	1770	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²
A4-A3	1	1	1030	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²
CU-A10	2	3	4430	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x630 mm ²
A10-A5	2	2	2290	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²
A5-A11	2	1	1210	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²
CU-A6	3	4	4240	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x630 mm ²
A6-A7	3	3	1470	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²
A7-A9	3	2	2190	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²
A9-A8	3	1	1080	ARE4H5E(X) 20.8/36kV 3x1x400 mm ²

Le sezioni scelte assicurano che la tensione nella rete a 36 kV non superi in nessun nodo il 101% della tensione nominale. La tabella 2 riporta le tensioni in valore assoluto e relativo ai singoli nodi.

 	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 14 di 15
--	---	---	---

Tabella 2. Tensioni ai nodi del sistema a 36 kV.

Nodo Nome	U [kV]	u% [%]
BSE	35.86	99.62
B1	35.98	99.93
B2	36.03	100.10
B3	36.11	100.31
B4	36.09	100.25
B5	36.07	100.19
B6	36.02	100.07
B7	36.09	100.26
B8	36.21	100.57
B9	36.16	100.45
B10	36.00	99.99
B11	36.09	100.24

Si è indicato con:

- U: tensione al nodo;
- u%: tensione al nodo in percentuale della tensione nominale.

Nella tabella 3 sono riportati i risultati relativi alle diverse tratte della linea a 36 kV.

Tabella 3. Risultati del calcolo di load flow nel sistema a 36 kV.

Tratta Nome	Lunghezza [m]	Sezione [mm ²]	Numero terne	P [MW]	I _b [A]	I% [%]	k	I _z [A]	ΔU [V]	Δu% [%]	Perdite [MW]
Terna-CU	1310	630	2	66	1059.7	94.07	0.895	557.0	0.12	0.33%	0.093
CU-A1	2970	630	3	24	385.4	72.67	0.845	525.5	0.05	0.14%	0.130
A1-A2	1270	400	2	18	289.0	70.73	0.845	404.7	0.08	0.22%	0.032
A2-A4	1770	400	2	12	192.7	47.15	0.845	404.7	0.06	0.17%	0.020
A4-A3	1030	400	1	6	96.3	30.37	0.845	404.7	0.07	0.19%	0.003
CU-A10	4430	630	3	18	289.0	63.09	0.845	404.7	0.16	0.44%	0.069
A10-A5	2290	400	3	12	192.7	47.18	0.845	404.7	0.07	0.19%	0.025
A5-A11	1210	400	1	6	96.3	30.39	0.845	404.7	0.05	0.14%	0.003
CU-A6	4240	630	3	24	385.4	72.53	0.845	525.5	0.07	0.19%	0.116
A6-A7	1470	400	2	18	289.0	70.58	0.845	404.7	0.14	0.39%	0.036
A7-A9	2190	400	2	12	192.7	47.06	0.845	404.7	0.02	0.06%	0.024
A9-A8	1080	400	2	6	96.3	30.31	0.845	404.7	0.12	0.33%	0.003

Si è indicato con:

- P: Potenza nella tratta di linea;
- I_b: corrente di impiego della tratta di linea;
- I%: rapporto tra corrente di impiego e portata – percentuale di carico nella tratta di linea;
- k: coefficiente di riduzione della portata;
- I_z: portata del cavo nelle condizioni di esercizio;
- ΔU: caduta di tensione nella tratta di linea;
- Δu%: caduta di tensione in percentuale della tensione nominale;

Il calcolo delle perdite è ricavato dal calcolo di load flow e tiene conto della somma delle perdite dell'intera rete a 36 kV in cavo, dei trasformatori di macchina e del trasformatore dei servizi ancillari nelle condizioni di progetto previste. La tabella 4 riporta il risultato del calcolo.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 16 di 15
---	---	---	---

Tabella 4. Risultati del calcolo delle perdite.

Potenza nominale parco eolico	66 MW
Perdite nel trasformatore dei servizi ausiliari	$0.965 \cdot 10^{-3}$ MW
Perdite nei trasformatori di macchina	0.547 MW
Perdite nelle linee	0.554 MW
Perdite totali	1.102 MW
Perdite percentuali	1.67% < 4%

 	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO RETE AT	Codice Data creazione Data ultima modifica Revisione Pagina	CAL-TR-02 03/06/2022 27/06/2022 00 17 di 15
--	---	---	---

6. CONCLUSIONI

Eseguite le analisi preliminari e le successive validazioni mediante calcolo di load flow si può affermare che i parametri di progetto sono rispettati.

Nei periodi di piena produzione del sistema eolico le perdite dell'intero impianto risultano essere pari a 1.102 MW ovvero l' 1.67% dell'intera potenza immessa (66 MW).

Per quanto concerne i vincoli sulla caduta di tensione, essa risulta sempre molto al di sotto del limite del 3% imposto.

Non si riscontrano inoltre sovraccarichi dei cavi a 36 kV.

Infine, le sezioni scelte per i cavi sono in grado di tollerare correnti di cortocircuito fino a 37.8 kA per 1 secondo nel peggiore dei casi e quindi ampiamente superiori a quelle previste nell'impianto, anche tenuto conto di un contributo dei generatori pari a 1.5 volte la corrente nominale, come indicato dalla norma IEC 60909.

7. APPENDICE 1 – Caratteristiche dei cavi utilizzati

ARE4H5E 20,8/36kV 1x...														
Type	Conductor diameter nominal	Insulation		Sheath thickness nominal	Cable		Electrical resistance		X at 50 Hz	C	Current capacity		Short circuit current	
		thickness min	diameter nominal		diameter approx	weight indicative	at 20 °C - d.c. max	at 90 °C - a.c.			in ground at 20 °C	in free air at 30 °C	conductor Tmax 250°C	screen Tmax 150°C
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	μF/km	A	A	kA x 1,0 s	kA x 0,5 s
1x185	16,0	7,4	32,6	2,2	40,7	1.450	0,1640	0,211	0,115	0,221	321	429	17,5	2,3
1x240	18,5	7,1	34,5	2,3	42,8	1.660	0,1250	0,161	0,109	0,252	372	508	22,7	2,3
1x300	20,7	6,8	36,1	2,3	44,5	1.850	0,1000	0,129	0,104	0,283	419	583	28,3	2,4
1x400	23,5	6,9	39,1	2,4	47,9	2.190	0,0778	0,101	0,101	0,308	479	680	37,8	2,6
1x500	26,5	7,0	42,6	2,5	51,7	2.630	0,0605	0,079	0,098	0,337	547	792	47,2	2,9
1x630	30,0	7,1	46,3	2,6	56,0	3.190	0,0469	0,063	0,095	0,367	622	920	59,5	3,0

Note

Laying condition: trefoil formation
 depth (m): 0,8
 soil thermal resistivity (°Cm/W): 1,5
 metallic layers connection: solid bonding (earthed at both ends)

X = phase reactance
 C = capacitance