

REGIONE SICILIANA  
Comune di Mazara del Vallo  
Provincia di Trapani

PROPONENTE:  
VRG Wind 060 S.r.l.

**VRg** wind 060

**FICHTNER**  
ITALIA



**INGEGNERIA  
PROGETTI** SRL

PROGETTO:

Integrale Ricostruzione del Parco Eolico "VRG Wind 060"  
ubicato nel Comune di Mazara del Vallo (TP)

Elaborato: L.2

Formato (A4)  
Numero foglio -  
scala -

Progetto definitivo

Elaborato:  
Relazione di calcolo sugli impianti elettrici

I progettisti

\_\_\_\_\_ Firma

\_\_\_\_\_ Firma

\_\_\_\_\_ Firma

\_\_\_\_\_ Firma

REV	DATA	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO	
0	26/03/2023	Ingegneria Progetti	Fichtner	VRG Wind 060 S.r.l.	Job: F614

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 2 di 21
---	---	---	--

## Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. SISTEMA ELETTRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. DATI IMPIANTO .....</b>	<b>9</b>
4.1 Caratteristiche generali .....	9
4.2 Trasformatori degli aerogeneratori.....	9
4.3 Cavi MT .....	9
<b>5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE RETE MT A 30 kV .....</b>	<b>10</b>
5.1 Criteri di dimensionamento e verifica .....	10
5.2 Scelta del livello di isolamento dei cavi .....	10
5.3 Calcolo della sezione minima dei conduttori a 30 kV.....	10
5.4 Verifica della portata .....	11
5.5 Risultati dei calcoli.....	12
<b>6. CONCLUSIONI .....</b>	<b>19</b>
<b>7. APPENDICE 1 – Schema unifilare dell’impianto.....</b>	<b>20</b>
<b>8. APPENDICE 2 – Caratteristiche dei cavi utilizzati.....</b>	<b>21</b>

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 3 di 21
---	---	---	--

## 1. PREMESSA

### Descrizione del Proponente

Proponente dell'iniziativa è la società VRG Wind 060 S.r.l. VRG Wind 060 S.r.l. con sede in Via Algardi 4, 20148 Milano, P.IVA n. 02219610819; interamente parte del gruppo Sorgenia Spa, uno dei maggiori operatori energetici italiani. Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4.750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400.000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita. Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico. Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca.33 MW). In quest'ultimo settore, Sorgenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%. Il Gruppo Sorgenia, tramite le sue controllate, fra le quali VRG Wind 060 S.r.l. è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

### Sintesi di Progetto Mazara VRG Wind 60

Il Progetto prevede l'integrale ricostruzione (repowering) del Parco Eolico esistente di Mazara del Vallo, ricadente nei limiti amministrativi territoriali dei comuni di Mazara del Vallo (TP) e Salemi (TP), mentre dal punto di vista catastale le opere di progetto risultano individuate all'interno dei fogli del Comune di Mazara del Vallo, e di proprietà della società VRG Wind 060 S.r.l. (il soggetto proponente).

Il parco eolico esistente è costituito da:

- un vecchio impianto costituito da n. 24 aerogeneratori da 2 MW, per una potenza nominale complessiva di 48 MW;
- un ampliamento più recente (in esercizio dal 2016) costituito da n. 6 aerogeneratori Vestas V126 da 3 MW, per una potenza nominale complessiva di 18 MW.

Il progetto di integrale ricostruzione prevede la dismissione del vecchio impianto di 24 aerogeneratori da 48 MW complessivi e l'installazione nelle stesse aree di 13 aerogeneratori di grande taglia, aventi diametro del rotore fino a 170 m, altezza al mozzo fino a 125 m e altezza totale fino a 210 m, ed una potenza nominale di 6 MW ciascuno, per una potenza totale di 78 MW.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 4 di 21
---	---	---	--

Il progetto rispetta i criteri del DL Semplificazioni<sup>1</sup>, che specifica il numero massimo di turbine, l'altezza totale dell'estremità delle pale, nonché l'estensione dell'area di sito utilizzabile perché il progetto di repowering sia considerato una modifica non sostanziale.

Il progetto prevede il massimo riutilizzo della viabilità esistente a servizio del parco eolico attualmente in esercizio, con gli opportuni adeguamenti, e la realizzazione di nuove piazzole in corrispondenza della posizione dei nuovi aerogeneratori.

Il soggetto proponente ha richiesto la modifica della connessione alla rete elettrica dell'impianto esistente, e si propone di mantenere come punto di connessione quello già esistente alla Cabina Primaria a 150 kV "Mazara 2", di e-distribuzione S.p.A., situata nel Comune di Mazara del Vallo. Si prevede pertanto il riutilizzo della Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) e della connessione in alta tensione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) esistenti, con interventi tecnici di adeguamento degli impianti alla nuova potenza del parco eolico.

La rete di cavi elettrici interrati a servizio del parco esistente sarà rinnovata, con la posa di nuovi cavidotti in media tensione a 30 kV disposti lungo la viabilità di servizio e pubblica, su tracciato -per quanto possibile - della rete esistente. I cavidotti collegheranno gli aerogeneratori alla SSEU, dove avviene la trasformazione da 30 kV a 150 kV per consentire la consegna dell'energia a 150 kV alla RTN.

Nella SSEU esistente rimarrà connesso alla rete anche l'ampliamento del parco eolico da 18MW in esercizio dal 2016.

I progetti del tipo in esame rispondono a finalità di interesse pubblico (riduzione dei gas ad effetto serra, risparmio di fonti fossili scarse ed importate) ed in quanto tali sono indifferibili ed urgenti, come stabilito dalla legge 1° giugno 2002, n. 120, concernente "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" e dal D.Lgs. 29 dicembre 2003, n.387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e s.m.i..

L'utilizzo di fonti rinnovabili comporta infatti beneficio a livello ambientale, in termini di tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) risparmiate e mancate emissioni di gas serra, polveri e inquinanti. Per il progetto in esame si stima una producibilità del parco eolico superiore a 240 GWh/anno, che consente di risparmiare almeno 44.800 TEP/anno (fonte ARERA: 0,187 TEP/MWh) e di evitare almeno 107.784 ton/anno di emissioni di CO<sub>2</sub> (fonte Rapporto ISPRA 2022: 449,1 gCO<sub>2</sub>/kWh).

<sup>1</sup> DL 77 del 31/05/2021 convertito con la Legge 108 del 29/07/2021, come modificato da DL 17/2022 convertito con la Legge 34/2022

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 5 di 21
---	---	---	--

### Scopo della Relazione

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

**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.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 6 di 21
---	---	---	--

**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 ( $U_m = 1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV).

**Norma CEI UNEL 35027:** Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV - Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata.

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

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 7 di 21
---	---	---	--

### 3. SISTEMA ELETTRICO

Il progetto riguarda la realizzazione di quattro nuove sezioni di un impianto eolico costituite in totale da n. 13 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno per una potenza totale di 78 MW. I nuovi aerogeneratori, sommandosi agli esistenti sei aerogeneratori (ampliamento 2016) che non verranno dismessi di potenza 18 MW, portano la potenza nominale del parco eolico a 96 MW.

Gli aerogeneratori sono divisi in quattro sottocampi, uno costituito da 4 generatori (per un totale di 24 MW) e tre costituito da 3 generatori (per un totale di 18 MW cadauno). Gli aerogeneratori saranno collegati tra di loro mediante dei cavidotti interrati a 30 kV che confluiranno alla Sottostazione Elettrica di Utenza (SSEU) 150/30 kV esistente. I cavidotti a 30 kV, posati nei tratti paralleli nello stesso scavo, seguono, per la maggior parte del tracciato, strade vicinali e comunali.

Le linee interrate a 30 kV seguiranno le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17. Le linee saranno costituite da terne di cavi unipolari (ad elica visibile) con conduttore in alluminio ed isolamento in XLPE del tipo ARE4H5E 18/30 (36) 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 Media Tensione".

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 30 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 mm<sup>2</sup> per la messa a terra dell'impianto e un tritubo che ospiterà la fibra ottica per il sistema TLC.

La figura di seguito riportata mostra lo schema a blocchi dell'impianto eolico dagli aerogeneratori fino alla Sottostazione di Utente 30/150 kV (SSEU) e successivo collegamento alla RTN. Per maggiori approfondimenti si rimanda all'elaborato G.1" Schema elettrico Unifilare" e riportato in Appendice 1, alle tavole grafiche di Progetto

per il layout dell'impianto Elaborato C.5 "Layout di progetto su carta tecnica regionale C.T.R." e per i particolari dei cavidotti a 30 kV Elaborato E.1 "Sezioni Tipo Cavidotti MT".

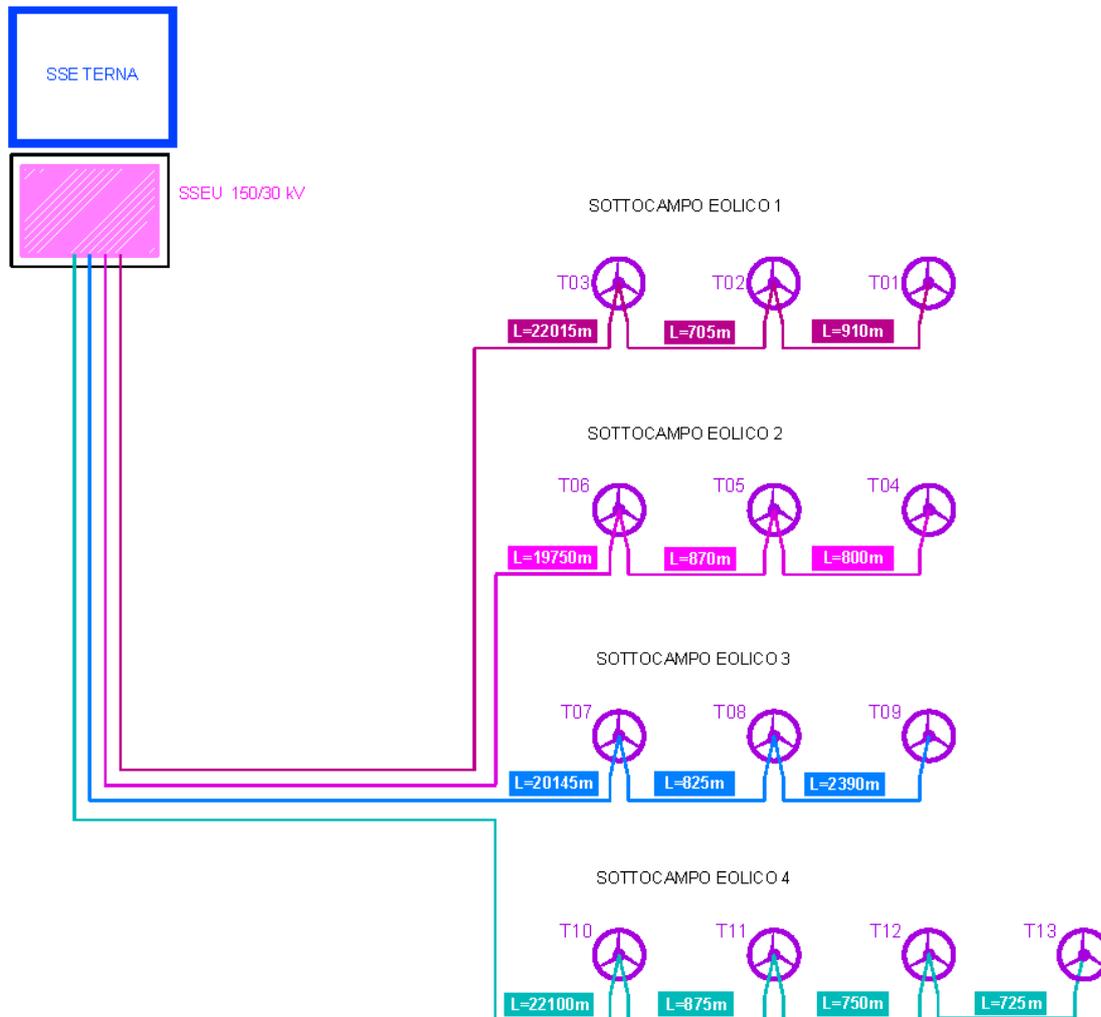


Figura 1 - Schema a blocchi dell'impianto

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 9 di 21
---	---	--	--

## 4. DATI IMPIANTO

### 4.1 Caratteristiche generali

- Sistema elettrico: 3 fasi – c.a.
- Tensione nominale del sistema: 30 kV
- Tensione massima del sistema: 36 kV
- Frequenza nominale di rete: 50Hz
- Categoria sistema elettrico della rete: II
- Tempo di eliminazione del guasto a terra a 30 kV: 1 s

### 4.2 Trasformatori degli aerogeneratori

- Potenza nominale                      7200 kVA
- Rapporto trasformazione            33/0.69 kV
- Tensione di c.to c.to                10.6 %
- Perdite nel rame nominali        113.5 kW
- Perdite nel ferro                      3.5 kW
- Collegamento                         Dyn 11
- Regolazione                            ±2x2.5 %

### 4.3 Cavi MT

- Sigla                                        ARE4H5E 18/30(36) kV
- Tensione di isolamento U<sub>o</sub>/U        18/30 kV
- Conduttore                              Alluminio
- Isolamento                              XLPE

Per la portata in condizioni standard fare riferimento alla tabella del costruttore in Appendice 2 e ai valori riportati in Tabella 1.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 10 di 21
---	---	--	---

## 5. DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE RETE MT A 30 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 30 kV e si riportano i risultati dei calcoli effettuati.

Attraverso il calcolo di load flow del sistema a 30kV 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 7%);

e assumendo:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla somma delle potenze nominali dei gruppi di generazione collegati;
- Funzionamento con fattore di potenza degli aerogeneratori pari a 0.9;
- Tensione nominale alle sbarre del trasformatore della sottostazione pari a 30 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  $U_r = 36$  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 36 kV.

### 5.3 Calcolo della sezione minima dei conduttori a 30 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:

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 11 di 21
---	---	--	---

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

dove:

- $I = 20000 \text{ A}$  è il valore che, in assenza di informazioni da parte di Terna in questa fase di progetto, è assunto cautelativamente per la massima corrente di cortocircuito del sistema a 30 kV;
- $t = 1 \text{ s}$  è il tempo di eliminazione della corrente di guasto nel sistema a 30 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  $240 \text{ mm}^2$  in alluminio.

#### 5.4 Verifica della portata

In ogni tratto di linea a 30 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:

$$I_z = I_0 * k \quad \text{con} \quad k = k_{tt} * k_p * k_r * k_g$$

dove:

- $I_0$  = portata fornita dal costruttore con resistività termica del terreno  $1,5 \text{ }^\circ\text{C m/W}$  e profondità di posa  $0,8 \text{ m}$ ;
- $k = k_{tt} * k_p * k_r$  coefficient di correzione globale della portata;
- $k_{tt} = 1$  coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento ( $20^\circ\text{C}$ );
- $k_p = 0.95$  coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento ( $0,8 \text{ m}$ );
- $k_r = 0.88$  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  $2 \text{ }^\circ\text{C m/W}$ ;
- $k_g$  è un coefficiente di riduzione della portata introdotto per tenere conto del numero di terre raggruppate lungo lo stesso percorso. Tale coefficiente non è previsto dalla norma CEI UNEL 35027 ed è

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 12 di 21
---	---	--	---

ipotizzato dal progettista sulla base dell'esperienza. Per il caso in esame si assume 0.95 per due terne, 0.9 per tre terne e 0.85 per quattro terne in parallelo.

## 5.5 Risultati dei calcoli

Nella tabella 1 sono riportate le sezioni calcolate per ogni tratta del sistema a 30 kV con aerogeneratori funzionanti con fattore di potenza pari a 0.9. Le sigle da T1 a T13 indicano gli aerogeneratori, mentre la sigla SSEU indica la Sottostazione elettrica di utente 150/30 kV.

Tabella 1. Sezioni delle tratte delle linee a 30 kV risultanti dal calcolo di load flow.

TRATTO	LINEA DI APPARTENENZA	GENERATORI COLLEGATI	LUNGHEZZA [m]	CAVO	PORTATA IN CONDIZIONI STANDARD I <sub>0</sub> [A]
SSEU-T03	1	3	22015	ARE4H5E 18/30kV 3x1x630 mm <sup>2</sup>	687
T03-T02	1	2	705	ARE4H5E 18/30kV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463
T02-T01	1	1	910	ARE4H5E 18/30KV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463
SSEU-T06	2	3	19750	ARE4H5E 18/30kV 3x1x630 mm <sup>2</sup>	687
T06-T05	2	2	870	ARE4H5E 18/30KV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463
T05-T04	2	1	800	ARE4H5E 18/30KV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463
SSEU-T07	3	3	20145	ARE4H5E 18/30kV 3x1x630 mm <sup>2</sup>	687
T07-T08	3	2	825	ARE4H5E 18/30KV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463
T08-T09	3	1	2390	ARE4H5E 18/30KV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463
SSEU-T10	4	4	22100	ARE4H5E 18/30KV 3x1x630 mm <sup>2</sup>	687
T10-T11	4	3	875	ARE4H5E 18/30KV 3x1x630 mm <sup>2</sup>	687
T11-T12	4	2	750	ARE4H5E 18/30KV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463
T12-T13	4	1	725	ARE4H5E 18/30KV 3x1x300 mm <sup>2</sup>	463

Le sezioni scelte assicurano che la tensione nella rete a 30 kV non superi in nessun nodo il limite sulla tensione nominale assunto per il progetto. La tabella 2 riporta le tensioni dei singoli nodi in valore assoluto (U [kV]) e relativo (u%) calcolate assumendo che la tensione della rete AT sia costante e pari al valore nominale (150 kV) e che i trasformatori della Sottostazione siano dotati di trasformatore di rapporto sottocarico che regoli la tensione alle sbarre MT al valore nominale. Dato che la Sottostazione elettrica di Utente 30/150 kV (SSEU) contiene due trasformatori ognuno dei quali alimenta due diverse linee a 30 kV, in tabella 2, le sigle BSSEU1 e BSSEU2 indicano rispettivamente le sbarre a 30 kV del trasformatore 1 e del trasformatore 2.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 13 di 21
---	---	---	---

Tabella 2. Tensioni ai nodi del sistema AT a 150 kV e MT a 30 kV.

Nome Nodo	Descrizione Nodo	U [kV]	u%
B150	Sbarre di Cabina Primaria a 150 kV	150	100.00%
SSEU1	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 1	29.89	99.63%
SSEU2	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 2	30.03	100.10%
T01	Nodo a 30 kV generatore 1	31.31	104.37%
T02	Nodo a 30 kV generatore 2	31.28	104.27%
T03	Nodo a 30 kV generatore 3	31.23	104.10%
T04	Nodo a 30 kV generatore 4	31.18	103.93%
T05	Nodo a 30 kV generatore 5	31.15	103.83%
T06	Nodo a 30 kV generatore 6	31.09	103.63%
T07	Nodo a 30 kV generatore 7	31.26	104.20%
T08	Nodo a 30 kV generatore 8	31.32	104.40%
T09	Nodo a 30 kV generatore 9	31.40	104.67%
T10	Nodo a 30 kV generatore 10	31.77	105.90%
T11	Nodo a 30 kV generatore 11	31.82	106.07%
T12	Nodo a 30 kV generatore 12	31.86	106.20%
T13	Nodo a 30 kV generatore 13	31.89	106.30%

Nella tabella 3 sono riportati i risultati relativi alle diverse tratte della linea a 30 kV.

Si è indicato con:

- P: potenza attiva nella tratta di linea;
- Q: potenza reattiva nella tratta di linea;
- $I_b$ : corrente di impiego della tratta di linea;
- I%: rapporto tra corrente di impiego e portata  $I_2$  nelle reali condizioni di posa – percentuale di carico nella tratta di linea;
- k: coefficiente di riduzione della portata;
- $I_2$ : portata del cavo nelle condizioni di esercizio;
- $\Delta U$ : caduta di tensione nella tratta di linea in valore assoluto;
- $\Delta u\%$ : caduta di tensione in percentuale della tensione nominale;
- $\Delta P$ : perdite nel tratto di linea.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 14 di 21

Tabella 3. Risultati del calcolo di load flow nel sistema MT a 30 kV.

Tratta Nome	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	P [MW]	Q [MVA]	I <sub>b</sub> [A]	I% [%]	I <sub>o</sub> [A]	k	I <sub>z</sub> [A]	ΔU [kV]	Δu% [%]	ΔP [MW]
BSSEU1-T03	22015	630	17.36	8.61	373	76.51%	687	0.711	488	1.34	4.47%	0.473
T03-T02	705	300	11.79	4.64	244	63.08%	463	0.836	387	0.05	0.17%	0.013
T02-T01	910	300	5.9	2.33	122	31.58%	463	0.836	387	0.03	0.10%	0.004
BSSEU1-T06	19750	630	17.36	8.41	372	76.16%	687	0.711	488	1.2	4.00%	0.426
T06-T05	870	300	11.78	4.63	244	64.01%	463	0.823	381	0.06	0.20%	0.017
T05-T04	800	300	5.9	2.32	122	32.06%	463	0.823	381	0.03	0.10%	0.004
BSSEU2-T07	20145	630	17.36	8.71	374	76.69%	687	0.711	488	1.37	4.57%	0.435
T07-T08	825	300	11.8	4.87	246	63.56%	463	0.836	387	0.06	0.20%	0.016
T08-T09	2390	300	5.9	2.55	124	32.00%	463	0.836	387	0.08	0.27%	0.011
BSSEU2-T10	22100	630	22.81	10.49	484	99.13%	687	0.711	488	1.74	5.80%	0.819
T10-T11	875	630	17.7	7.03	367	63.93%	687	0.836	574	0.05	0.17%	0.018
T11-T12	750	300	11.8	4.7	245	63.24%	463	0.836	387	0.04	0.13%	0.013
T12-T13	725	300	5.9	2.34	122	31.60%	463	0.836	387	0.03	0.10%	0.003

Il calcolo delle perdite è ricavato dal calcolo di load flow e tiene conto della somma delle perdite dell'intera rete a 30 kV in cavo di nuova realizzazione e dei trasformatori di macchina nelle condizioni di progetto previste. La tabella 4 riporta il risultato del calcolo.

Tabella 4. Risultati del calcolo delle perdite.

Grandezza	Misura
Potenza nominale parco eolico	78 MW
Perdite totali	3.11 MW
Perdite percentuali	<4%

Già da questo calcolo l'impianto soddisferebbe i criteri progettuali, tuttavia si è preferito verificare la possibilità di scaricare la tratta "BSSEU2-T10. Al fine di verificare le prestazioni del parco eolico in situazioni operative più realistiche, si riportano di seguito gli stessi calcoli svolti in condizioni di esercizio secondo Allegato A.17 al codice di rete Terna e in un caso in cui si ipotizza l'installazione di eventuali reattanze di compensazione sulle sbarre MT in sottostazione:

- CASO 1: Funzionamento in sovra-eccitazione con potenza reattiva nel punto di connessione pari al 20% della potenza attiva nominale disponibile degli aerogeneratori e funzionamento in sotto-eccitazione con

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 15 di 21
---	---	---	---

potenza reattiva nel punto di connessione pari al 35% della potenza attiva nominale disponibile degli aerogeneratori;

- CASO 2: Funzionamento in sotto-eccitazione con potenza reattiva nel punto di connessione pari al 35% della potenza attiva nominale disponibile degli aerogeneratori con reattanze di compensazione.

**CASO 1 – Potenza attiva nominale e massima potenza reattiva richiesta al punto di consegna AT (Allegato A.17 al Codice di Rete Terna)**

Potenza attiva generata da ogni generatore: 6 MW

Rapporto Q/P al punto di connessione alla rete a 150 kV nel funzionamento in sovra-eccitazione: 0.2

Potenza reattiva capacitativa assorbita da ogni generatore nel funzionamento in sovra-eccitazione: -1.96 MVAR

Potenza attiva al punto di connessione alla rete a 150 kV in sovra-eccitazione: 74.52 MW

Potenza reattiva al punto di connessione alla rete a 150 kV in sovra-eccitazione: -14.99 MVAR

Massima tensione percentuale nella rete MT nel funzionamento in sovra-eccitazione: 105.74%

Carico massimo nei feeder MT in percentuale della portata nel funzionamento in sovra-eccitazione: 93.61%

Tabella 5. Tensioni ai nodi del sistema AT a 150 kV e MT a 30 kV – CASO 1 sovra-eccitazione.

Nome Nodo	Descrizione Nodo	U [kV]	u%
B150	Sbarre di Cabina Primaria a 150 kV	150	100.36%
SSEU1	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 1	30.11	99.63%
SSEU2	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 2	30.05	100.18%
T01	Nodo a 30 kV generatore 1	31.28	104.26%
T02	Nodo a 30 kV generatore 2	31.25	104.17%
T03	Nodo a 30 kV generatore 3	31.21	104.03%
T04	Nodo a 30 kV generatore 4	31.16	103.87%
T05	Nodo a 30 kV generatore 5	31.14	103.79%
T06	Nodo a 30 kV generatore 6	31.09	103.63%
T07	Nodo a 30 kV generatore 7	31.17	103.91%
T08	Nodo a 30 kV generatore 8	31.22	104.01%
T09	Nodo a 30 kV generatore 9	31.29	104.32%
T10	Nodo a 30 kV generatore 10	31.61	105.35%
T11	Nodo a 30 kV generatore 11	31.65	105.50%
T12	Nodo a 30 kV generatore 12	31.69	105.63%
T13	Nodo a 30 kV generatore 13	31.71	105.70%

Tabella 6. Risultati del calcolo di load flow nel sistema MT a 30 kV – CASO 1 sovra-eccitazione.

Tratta Nome	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	P [MW]	Q [MVA]	Ib [A]	I% [%]	I <sub>0</sub> [A]	k	I <sub>z</sub> [A]	Δu% [%]	ΔP [MW]
BSSEU1-T03	22015	630	17.22	-6.03	298	61.07%	687	0.711	488	3.85%	0.470
T03-T02	705	300	11.81	-2.86	225	58.05%	463	0.836	387	0.14%	0.013
T02-T01	910	300	5.9	-1.44	111	28.64%	463	0.836	387	0.09%	0.004
BSSEU1-T06	19750	630	17.27	-5.82	298	60.98%	687	0.711	488	3.44%	0.421
T06-T05	870	300	11.79	-2.85	222	58.26%	463	0.823	381	0.17%	0.017
T05-T04	800	300	5.9	-1.43	111	29.11%	463	0.823	381	0.08%	0.004
BSSEU2-T07	20145	630	17.26	-6.09	298	61.16%	687	0.711	488	3.55%	0.431
T07-T08	825	300	11.8	-3.08	226	58.39%	463	0.836	387	0.16%	0.016
T08-T09	2390	300	5.9	-1.66	114	29.33%	463	0.836	387	0.24%	0.011
BSSEU2-T10	22100	630	22.77	-7.02	457	93.61%	687	0.711	488	5.35%	0.817
T10-T11	875	630	17.7	-4.34	333	58.00%	687	0.836	574	0.14%	0.018
T11-T12	750	300	11.81	-2.88	222	57.29%	463	0.836	387	0.13%	0.013
T12-T13	725	300	5.9	-1.44	111	28.64%	463	0.836	387	0.07%	0.003

Potenza attiva generata da ogni generatore: 6 MW

Rapporto Q/P al punto di connessione alla rete a 150 kV nel funzionamento in sotto-eccitazione: 0.35

Potenza reattiva induttiva assorbita da ogni generatore nel funzionamento in sotto-eccitazione: 1.1 MVAR

Potenza attiva al punto di connessione alla rete a 150 kV in sotto-eccitazione: 74.38 MW

Potenza reattiva al punto di connessione alla rete a 150 kV in sotto-eccitazione: 26.78 MVAR

Massima tensione percentuale nella rete MT nel funzionamento in sotto-eccitazione: 101.85%

Carico massimo nei feeder MT in percentuale della portata nel funzionamento in sotto-eccitazione: 95.19%

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 17 di 21

Tabella 7. Tensioni ai nodi del sistema AT a 150 kV e MT a 30 kV – CASO 1 sotto-eccitazione.

Nome Nodo	Descrizione Nodo	U [kV]	u%
B150	Sbarre di Cabina Primaria a 150 kV	150	100.00%
SSEU1	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 1	29.90	99.68%
SSEU2	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 2	29.87	99.58%
T01	Nodo a 30 kV generatore 1	30.45	101.48%
T02	Nodo a 30 kV generatore 2	30.43	101.42%
T03	Nodo a 30 kV generatore 3	30.40	101.33%
T04	Nodo a 30 kV generatore 4	30.39	101.31%
T05	Nodo a 30 kV generatore 5	30.38	101.26%
T06	Nodo a 30 kV generatore 6	30.34	101.14%
T07	Nodo a 30 kV generatore 7	30.34	101.14%
T08	Nodo a 30 kV generatore 8	30.37	101.24%
T09	Nodo a 30 kV generatore 9	30.42	101.40%
T10	Nodo a 30 kV generatore 10	30.50	101.65%
T11	Nodo a 30 kV generatore 11	30.51	101.71%
T12	Nodo a 30 kV generatore 12	30.54	101.80%
T13	Nodo a 30 kV generatore 13	30.55	101.85%

Tabella 8. Risultati del calcolo di load flow nel sistema MT a 30 kV – CASO 1 sotto-eccitazione.

Tratta Nome	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	P [MW]	Q [MVA]	Ib [A]	I% [%]	Io [A]	k	Iz [A]	Δu% [%]	ΔP [MW]
BSSEU1-T03	22015	630	17.70	5.12	297	60.93%	687	0.711	488	1.65%	0.462
T03-T02	705	300	11.80	3.42	233	60.25%	463	0.836	387	0.09%	0.015
T02-T01	910	300	5.90	1.75	117	30.17%	463	0.836	387	0.06%	0.004
BSSEU1-T06	19750	630	17.70	5.13	298	61.04%	687	0.711	488	1.46%	0.414
T06-T05	870	300	11.80	3.44	230	60.37%	463	0.823	381	0.02%	0.018
T05-T04	800	300	5.90	1.75	115	30.22%	463	0.823	381	0.05%	0.004
BSSEU2-T07	20145	630	17.70	4.90	297	60.86%	687	0.711	488	1.56%	0.430
T07-T08	825	300	11.80	3.20	233	60.09%	463	0.836	387	0.10%	0.017
T08-T09	2390	300	5.92	1.65	117	30.13%	463	0.836	387	0.16%	0.012
BSSEU2-T10	22100	630	23.58	6.80	465	95.19%	687	0.711	488	2.07%	0.815
T10-T11	875	630	17.70	5.12	349	60.72%	687	0.836	574	0.06%	0.020
T11-T12	750	300	11.80	3.43	232	60.04%	463	0.836	387	0.09%	0.012
T12-T13	725	300	5.90	1.74	116	30.06%	463	0.836	387	0.05%	0.003

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 18 di 21
---	---	--	---

**CASO 2 – Potenza attiva nominale e massima potenza reattiva richiesta al punto di consegna AT (Allegato A.17 al Codice di Rete Terna), con reattanza di compensazione**

Si analizza, per questo caso, il comportamento della rete con l'installazione i due reattori di compensazione da 5 MVAR cadauno collegati alle sbarre a 30 kV dei due trasformatori.

Potenza attiva generata da ogni generatore: 6 MW

Rapporto Q/P al punto di connessione alla rete a 150 kV nel funzionamento in sotto-eccitazione: 0.35

Potenza reattiva induttiva assorbita da ogni generatore nel funzionamento in sotto-eccitazione: 0.35 MVAR

Potenza attiva al punto di connessione alla rete a 150 kV in sotto-eccitazione: 74.4 MW

Potenza reattiva al punto di connessione alla rete a 150 kV in sotto-eccitazione: 26 MVAR

Massima tensione percentuale nella rete MT nel funzionamento in sotto-eccitazione: 102.96%

Carico massimo nei feeder MT in percentuale della portata nel funzionamento in sotto-eccitazione: 91.67%

Tabella 9. Tensioni ai nodi del sistema AT a 150 kV e MT a 30 kV – CASO 2.

Nome Nodo	Descrizione Nodo	U [kV]	u%
B150	Sbarre di Cabina Primaria a 150 kV	150	
SSEU1	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 1	29.96	99.88%
SSEU2	Sbarre di sottostazione a 30 kV – Sbarra 2	29.89	99.63%
T01	Nodo a 30 kV generatore 1	30.61	102.03%
T02	Nodo a 30 kV generatore 2	30.59	101.97%
T03	Nodo a 30 kV generatore 3	30.56	101.87%
T04	Nodo a 30 kV generatore 4	30.54	101.80%
T05	Nodo a 30 kV generatore 5	30.52	101.74%
T06	Nodo a 30 kV generatore 6	30.49	101.62%
T07	Nodo a 30 kV generatore 7	30.59	101.96%
T08	Nodo a 30 kV generatore 8	30.63	102.09%
T09	Nodo a 30 kV generatore 9	30.69	102.26%
T10	Nodo a 30 kV generatore 10	30.82	102.73%
T11	Nodo a 30 kV generatore 11	30.84	102.81%
T12	Nodo a 30 kV generatore 12	30.87	102.91%
T13	Nodo a 30 kV generatore 13	30.89	102.96%

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SUGLI IMPIANTI ELETTRICI</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Revisione Data creazione Data Revisione Pagina	L.2 01 14/07/2022 26/03/2023 19 di 21
---	---	---	---

Tabella 10. Risultati del calcolo di load flow nel sistema MT a 30 kV – CASO 2.

Tratta Nome	Lunghezza [m]	Sezione [mm <sup>2</sup> ]	P [MW]	Q [MVA]	Ib [A]	I% [%]	Io [A]	k	Iz [A]	Δu% [%]	ΔP [MW]
BSSEU1-T03	22015	630	17.7	2.55	288	58.98%	687	0.711	488	2.24%	0.458
T03-T02	705	300	11.8	1.84	226	58.31%	463	0.836	387	0.10%	0.014
T02-T01	910	300	5.9	0.96	113	29.18%	463	0.836	387	0.07%	0.004
BSSEU1-T06	19750	630	17.7	2.75	289	59.12%	687	0.711	488	1.99%	0.413
T06-T05	870	300	11.8	1.85	223	58.45%	463	0.823	381	0.12%	0.017
T05-T04	800	300	5.9	0.96	111	29.24%	463	0.823	381	0.06%	0.004
BSSEU2-T07	20145	630	17.7	2.51	287	58.82%	687	0.711	488	2.08%	0.430
T07-T08	825	300	11.8	1.62	225	58.11%	463	0.836	387	0.12%	0.016
T08-T09	2390	300	5.9	0.86	113	29.10%	463	0.836	387	0.18%	0.012
BSSEU2-T10	22100	630	23.6	3.6	447	91.67%	687	0.711	488	2.85%	0.814
T10-T11	875	630	17.7	2.73	336	58.45%	687	0.836	574	0.08%	0.019
T11-T12	750	300	11.8	1.83	228	58.79%	463	0.836	387	0.10%	0.012
T12-T13	725	300	5.9	0.95	112	28.91%	463	0.836	387	0.05%	0.003

## 6. CONCLUSIONI

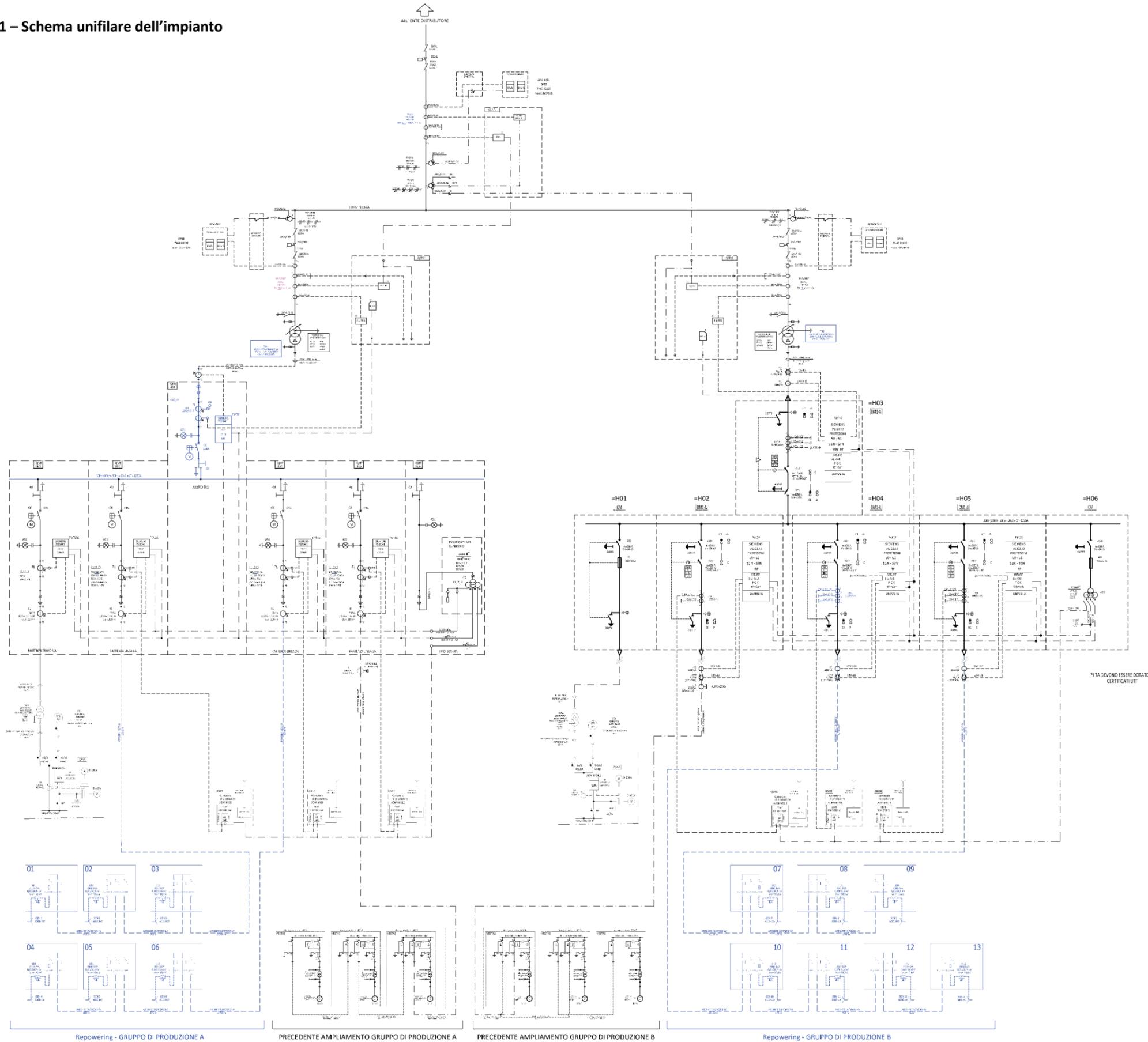
Eseguite le analisi preliminari e le successive validazioni mediante calcolo di load flow si può affermare che i parametri di progetto sono rispettati. Per quanto concerne i vincoli sulla caduta di tensione, essa risulta sempre al di sotto del limite imposto e non si riscontrano inoltre sovraccarichi dei cavi MT a 30 kV. Su quest'ultimo aspetto è utile sottolineare che nessuno dei cavi risulta sovraccarico anche tenendo conto dei coefficienti riduttivi  $k_g$  che sono stati introdotti a favore della sicurezza.

Nei periodi di piena produzione del sistema eolico le perdite dell'intero impianto risultano essere pari a 3.11 MW ovvero circa il 3.99% dell'intera potenza nominale dalle nuove turbine (78 MW).

È da sottolineare che tali risultati si riferiscono ad una condizione di funzionamento degli aerogeneratori con fattore di potenza pari a 0.9 e quindi molto gravosa. Nelle condizioni di funzionamento previsto dall'Allegato A.17 del codice di rete si ha un'ulteriore riduzione delle sovrالعlevazioni di tensione e delle correnti nei cavi.

Infine, le sezioni scelte per i cavi sono in grado di tollerare correnti di cortocircuito fino a 28.3 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 – Schema unifilare dell’impianto**



**8. APPENDICE 2 – Caratteristiche dei cavi utilizzati**

## ARE4H5E 18/30(36)kV SK1 (SHOCK PROOF 1)

Nome	Capacità nominale [μF / km]	Reattanza di fase a 50 Hz a trifoglio [Ohm/km]	Massima resistenza el. del cond. a 20°C in c.c. [Ohm/km]	Resistenza el. del cond. a 90°C in c.a. - trifoglio [Ohm/km]	Portata di corrente cavi in aria a 30°C - trifoglio [A]	Portata di corrente cavi interrati a 20° C - trifoglio [A]	Corrente di corto circuito nel conduttore 1s [kA]
ARE4H5E 18/30 kV 240 mm <sup>2</sup> SK1	0,28	0,114	0,125	0,161	501	410	22,7
ARE4H5E 18/30 kV 300 mm <sup>2</sup> SK1	0,304	0,11	0,1	0,129	574	463	28,3
ARE4H5E 18/30 kV 400 mm <sup>2</sup> SK1	0,335	0,106	0,0778	0,101	669	530	37,8
ARE4H5E 18/30 kV 500 mm <sup>2</sup> SK1	0,363	0,102	0,0605	0,08	777	604	47,2
ARE4H5E 18/30 kV 630 mm <sup>2</sup> SK1	0,396	0,098	0,0469	0,063	901	687	59,5