

EMILIE WIND SRL

# Parco Eolico “EMILIE” sito nel Comune di Casalfiumanese (BO)

Calcolo preliminare impianti elettrici

Luglio 2023



Committente:

**EMILIE Wind srl**

**EMILIE Wind srl**

Via Sardegna, 40

00187 Roma

P.IVA/C.F. 16666851007

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico "EMILIE" sito nel Comune di Casalfiumanese (BO)**

Documento:

**Calcolo preliminare impianti elettrici**

N° Documento:

**IT-VesEMI-PGR-ELE-TR-02**

Progettista:



**Ing. Domenico Teta**



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Luglio 2023	Prima emissione	P.Concas	C.Ometto	D.Teta

## Sommario

<b>1. Premessa .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Normative di riferimento .....</b>	<b>6</b>
2.1 Norme di riferimento per la bassa tensione (BT) .....	6
2.2 Norme di riferimento per la media tensione (MT) .....	7
2.3 Unità di misura .....	8
<b>3. Calcoli elettrici .....</b>	<b>9</b>
3.1 Dimensionamento cavi.....	9
3.2 Integrale di Joule .....	10
3.3 Dimensionamento del conduttore di neutro.....	10
3.4 Dimensionamento dei conduttori di protezione .....	11
3.5 Caduta di tensione.....	12
3.6 Scelta delle protezioni .....	12
3.7 Verifica delle protezioni a cortocircuito delle condutture .....	13

## Acronimi

AT	Alta tensione
BT	Bassa tensione
MV	Medio voltaggio
RTN	Rete di trasmissione nazionale
SE	Stazione Elettrica
STMG	Soluzione Tecnica Minima Generale
WTG	Wind Turbine Generator

## 1. Premessa

La Società Emilie Wind Srl con sede in Roma alla Via Sardegna n.40 intende realizzare un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (eolico) della potenza di 40,5 MW da localizzare nel Comune di Casalfiumanese (BO) e, pertanto, ha fatto richiesta alla società Terna per il rilascio della Soluzione Tecnica Minima Generale per le modalità di connessione alla RTN.

La Società Terna ha rilasciato la STMG Cod. pratica 202201735 del 21.07.2022 indicando le opere elettriche necessarie per la connessione alla RTN che l'impianto eolico dovrà essere collegato in antenna a 36 kV sulla sezione di una nuova stazione di trasformazione 380/36 kV della RTN inserire entra – esce alla direttrice RTN "Colunga – Calenzano", previa ricostruzione a 380 kV della direttrice stessa come previsto dall'intervento 302-P del Piano di Sviluppo Terna.

Alla nuova stazione RTN 380/36 kV andrà poi ricollegata in doppia antenna a 380 kV l'attuale stazione di San Benedetto del Querceto, previo riclassamento a 380 kV previsto dall'intervento 302-P del Piano di Sviluppo Terna.

Lo scopo del presente lavoro, come richiesto da Terna, è lo studio di un progetto di pre-fattibilità per la localizzazione della nuova stazione 380/36 kV e dei raccordi in linea aerea a 380 kV alla linea in progetto "Colunga-Calenzano".

La descrizione delle opere previste si può rilevare dagli elaborati di progetto allegati alla presente relazione.

## 2. Normative di riferimento

Le opere elettriche in argomento, se non diversamente precisato nelle prescrizioni o nelle specifiche richieste saranno in ogni modo progettate, costruite e collaudate in osservanza della seguente normativa di riferimento.

### 2.1 Norme di riferimento per la bassa tensione (BT)

- CEI EN 60529 (CEI 70-1): Gradi di protezione degli involucri
- CEI 44-5: Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine
- CEI 20-22: attitudine di un determinato tipo di cavo a contenere la propagazione del fuoco in caso di incendio.
- CEI 20-37: Prove atte a verificare le caratteristiche dei gas emessi dalla combustione di cavi elettrici.
- CEI 99-4: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale.
- CEI 81-10: Protezione contro i fulmini.
- IEC 62485: Safety requirements for secondary batteries and battery installations.
- CEI EN 50172: Illuminazione di sicurezza.
- CEI EN 62271: Apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico per tensioni superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso.
- CEI 99-3: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in corrente alternata.
- CEI 61439: Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).
- CEI 20-11: Caratteristiche tecniche e specifiche e requisiti di prova delle mescole per isolanti e guaine per cavi energia e segnalamento.
- CEI 14: Trasformatori di isolamento e trasformatori di sicurezza – Prescrizioni.
- CEI 110 (CEI EN 61000): Compatibilità elettromagnetica (EMC).
- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIa Ed. (IEC 60909-0:2001-07): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60090-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 I a Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3/1 I a Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.

- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.
- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).
- CEI 23-51 IIa Ed. 2004: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.

## 2.2 Norme di riferimento per la media tensione (MT)

- 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.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1): Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- Guida CEI 99-4: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale.
- CEI 17-1 VIa Ed. 2005: Apparecchiatura ad alta tensione. Parte 100: Interruttori a corrente alternata ad alta tensione.
- 17-9/1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV.
- IEC 60502-2 IIa Ed. 2005-03: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2.
- IEC 61892-4 Ia Ed. 2007-06: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 4: Cables.

Eventuali normative non elencate, se mandatorie per la progettazione del sistema, possono essere referenziate. In caso di conflitto tra normative e leggi applicabili, il seguente ordine di priorità dovrà essere rispettato:

- Leggi e regolamenti Italiani;
- Leggi e regolamenti comunitari (EU);
- Documento in oggetto;
- Specifiche di società (ove applicabili);
- Normative internazionali.

### **2.3 Unità di misura**

Tutte le unità di misura sono e devono essere conformi al Sistema Internazionale (S.I.).



### 3. Calcoli elettrici

#### 3.1 Dimensionamento cavi

Il criterio adottato per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori dalle correnti di sovraccarico.

In base alla norma CEI 64-8/4 par. 433.2, infatti, il dispositivo di protezione deve essere coordinato con la conduttura in modo da verificare le condizioni:

$$a) I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$b) I_f \leq 1,45 I_z$$

Per la condizione *a*) è necessario dimensionare il cavo in base alla corrente nominale della protezione a monte. Dalla corrente  $I_b$ , pertanto, viene determinata la corrente nominale della protezione (seguendo i valori normalizzati) e con questa si procede alla determinazione della sezione.

Il dimensionamento dei cavi rispetta anche i seguenti casi:

- Condutture senza protezione derivate da una conduttura principale protetta contro i sovraccarichi con dispositivo idoneo ed in grado di garantire le protezioni anche delle condutture derivate;
- Conduttura che alimenta diverse derivazioni singolarmente protette contro i sovraccarichi, quando la somma delle correnti nominali dei dispositivi di protezione delle derivazioni non supera la portata  $I_z$  della conduttura principale.

L'individuazione della sezione si effettua utilizzando le tabelle di posa assegnate ai cavi. Elenchiamo alcune tabelle, indicate per il mercato italiano:

- IEC 60364-5-52 (PVC/EPR)
- IEC 60364-5-52 (Mineral)
- CEI-UNEL 35024/1
- CEI-UNEL 35024/2
- CEI-UNEL 35026
- CEI 20-91 (HEPR)

In media tensione, la gestione del calcolo si divide a seconda delle tabelle scelte:

- IEC 60502
- CEI 20-13
- CEI 20-16
- IEC 60885-3
- CEI EN 60332-1-2

La sezione viene scelta in modo che la sua portata sia superiore alla  $I_{z\ min}$ .

### 3.2 Integrale di Joule

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la formula:

$$(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$$

Dove  $(I^2 * t)$  è l'integrale di Joule per la durata del cortocircuito (in  $A^2 s$ ).

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dalla 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante.

I valori di K riportati dalla norma sono per i conduttori di fase (par. 434.3):

- |   |         |
|---|---------|
| • Cavo in rame e isolato in PVC                         | K = 115 |
| • Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G16 | K = 143 |
| • Cavo in alluminio e isolato in PVC                    | K = 74  |
| • Cavo in alluminio e isolato in G16                    | K = 92  |

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari:

- |                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| • Cavo in rame e isolato in PVC       | K = 143 |
| • Cavo in rame e isolato in gomma G16 | K = 176 |
| • Cavo in rame nudo                   | K = 228 |

Per i cortocircuiti di durata superiore ad alcuni periodi il valore di  $(I^2 * t)$  si può ottenere assumendo per  $I$  il valore efficace in ampere della corrente di cortocircuito e per  $t$  la durata, in secondi, del cortocircuito stesso; per durate brevi ( $< 0,1 s$ ), quando l'asimmetria della corrente di cortocircuito è rilevante, e per i dispositivi di protezione limitatori dell'energia passante, il valore  $(I^2 * t)$  lasciato passare deve essere indicato dal costruttore del dispositivo di protezione.

### 3.3 Dimensionamento del conduttore di neutro

La norma CEI 64-8, al par. 524.2 e al par. 524.3, prevede che la sezione del conduttore di neutro, nel caso di circuiti polifasi, possa avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- Il conduttore di fase abbia una sezione maggiore di  $16 \text{ mm}^2$ ;
- La massima corrente che può percorrere il conduttore di neutro non sia superiore alla portata dello stesso

- La sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a  $16 \text{ mm}^2$ , se il conduttore è in rame, e a  $25 \text{ mm}^2$  se il conduttore è in alluminio.

Nel caso in cui si abbiano circuiti monofasi o polifasi e questi ultimi con sezione del conduttore di fase minore di  $16 \text{ mm}^2$ , se conduttore in rame, e  $25 \text{ mm}^2$ , se conduttore in alluminio, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione del conduttore di fase.

### 3.4 Dimensionamento dei conduttori di protezione

Le norme CEI 64.8 par. 543.1 prevedono due metodi di dimensionamento dei conduttori di protezione:

- Determinazione in relazione alla sezione di fase
- Determinazione mediante calcolo

Il primo criterio consiste nel determinare la sezione del conduttore di protezione seguendo vincoli analoghi a quelli introdotti per il conduttore di neutro:

$$\begin{array}{ll}
 S_f < 16 \text{ mm}^2: & S_{PE} = S_f \\
 16 \leq S_f \leq 35 \text{ mm}^2: & S_{PE} = 16 \text{ mm}^2 \\
 S_f > 35 \text{ mm}^2: & S_{PE} = S_f/2
 \end{array}$$

Il secondo criterio determina tale valore con l'integrale di Joule, ovvero la sezione del conduttore di protezione non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 * t}}{K}$$

Dove:

- $S_p$  è la sezione del conduttore di protezione ( $\text{mm}^2$ );
- $I$  è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto causato da impedenza trascurabile (A);
- $t$  è il tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);
- $K$  è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti.

La sezione di ogni conduttore di protezione che non faccia parte della condotta di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- $2,5 \text{ mm}^2$  rame o  $16 \text{ mm}^2$  alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- $4 \text{ mm}^2$  o  $16 \text{ mm}^2$  alluminio se non è prevista una protezione meccanica.

### 3.5 Caduta di tensione

Le cadute di tensione sono calcolate mediante la formula approssimata:

$$cdt(I_b) = K_{cdt} * I_b * \frac{L_C}{1000} * (R_{cavo} * \cos \varphi + X_{cavo} * \sin \varphi) * \frac{100}{V_n}$$

Dove:

- $K_{cdt} = 2$  per sistemi monofase;
- $K_{cdt} = \sqrt{3}$  per sistemi trifase.

I parametri  $R_{cavo}$  e  $X_{cavo}$ , espresse in  $\Omega/\text{km}$ , sono ricavati dalla tabella delle caratteristiche tecniche dei cavi presi in considerazione in questa fase di progetto.

La caduta di tensione ammissibile per le linee in media tensione ai nuovi quadri MT localizzati nelle due nuove cabine MT (A e B) si assume pari al 5%. Si precisa che tale valore è riferito alla turbina eolica più "lontana" nella configurazione entra-esce dei due sottocampi del parco eolico.

Tratto da - a	Cavo	Formazione	Corrente di impiego [A]	Caduta di tensione [%]	Lunghezza a tratto
WTG 2 – WTG 1	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x70) mm <sup>2</sup>	85	4,9	1150 m
WTG 1 – WTG 3	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm <sup>2</sup>	170	4,7	780 m
WTG 3 – WTG 6	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm <sup>2</sup>	255	4,6	2105 m
WTG 6 – Cabina A	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm <sup>2</sup>	340	4,1	1417 m
WTG 9 – WTG 5	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 70) mm <sup>2</sup>	85	3,8	1110 m
WTG 5 – WTG 7	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm <sup>2</sup>	170	3,6	580 m
WTG 7 – Cabina A	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm <sup>2</sup>	170	3,6	30 m
Cabina A – Cabina B	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x 2(1x630) mm <sup>2</sup>	595	3,6	4625 m
WTG 14 – WTG 11	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x70) mm <sup>2</sup>	85	3	1120 m
WTG 11 – Cabina B	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm <sup>2</sup>	170	3	30 m
WTG 11 – SSE	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x 2(1x630) mm <sup>2</sup>	765	3	18300 m

### 3.6 Scelta delle protezioni

La scelta delle protezioni viene effettuata verificando le caratteristiche elettriche nominali delle condutture ed i valori di guasto; in particolare, le grandezze che vengono verificate sono:

- Corrente nominale, secondo cui si è dimensionata la conduttura;
- Numero poli;

- Tipo di protezione;
- Tensione di impiego, pari alla tensione nominale dell'utenza;
- Potere di interruzione, il cui valore dovrà essere superiore alla massima corrente di guasto a monte dell'utenza  $I_{km\ max}$ ;
- Taratura della corrente di intervento magnetico, il cui valore massimo per garantire la protezione contro i contatti indiretti (in assenza di differenziale) deve essere minore della minima corrente di guasto alla fine della linea ( $I_{mag\ max}$ ).

### 3.7 Verifica delle protezioni a cortocircuito delle condutture

Secondo la norma 64-8 par.434.3 "Caratteristiche dei dispositivi di protezione contro i cortocircuiti.", le caratteristiche delle apparecchiature di protezione contro i cortocircuiti devono soddisfare due condizioni:

- Il potere di interruzione non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione (a meno di protezioni adeguate a monte);
- La caratteristica di intervento deve essere tale da impedire che la temperatura del cavo non oltrepassi, in condizioni di guasto in un punto qualsiasi, la massima consentita.

La prima condizione viene considerata in fase di scelta delle protezioni. La seconda invece può essere tradotta nella relazione:

$$(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$$

Ossia in caso di guasto l'energia specifica sopportabile dal cavo deve essere maggiore o uguale a quella lasciata passare dalla protezione.

La norma CEI al par. 533.3 "Scelta dei dispositivi di protezioni contro i cortocircuiti" prevede pertanto un confronto tra le correnti di guasto minima (a fondo linea) e massima (inizio linea) con i punti di intersezione tra le curve. Le condizioni sono pertanto:

a) Le intersezioni sono due:

- $I_{CC\ min} \geq I_{inters\ min}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_a$ );
- $I_{CC\ min} \leq I_{inters\ max}$  (quest'ultima riportata nella norma come  $I_b$ );

b) L'intersezione è unica o la protezione è costituita da un fusibile:

- $I_{CC\ min} \geq I_{inters\ min}$

c) L'intersezione è unica e la protezione comprende un magnetotermico:

- $I_{CC\ min} \leq I_{inters\ max}$

Sono pertanto verificate le relazioni in corrispondenza del guasto, calcolato, minimo e massimo. Nel caso in cui le correnti di guasto escano dai limiti di esistenza della curva della protezione, il controllo non viene eseguito.

Si riporta in seguito la lista dei cavi determinati mediante dimensionamento delle condutture, per i singoli tratti di connessione:

**Tabella 1: Caratteristiche cavi MT**

Tratto da - a	Cavo	Formazione	Corrente di impiego	Portata	Lunghezza a tratto
WTG 2 – WTG 1	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x70) mm <sup>2</sup>	85	213 A	1150 m
WTG 1 – WTG 3	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm <sup>2</sup>	170	372 A	780 m
WTG 3 – WTG 6	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm <sup>2</sup>	255 A	372 A	2105 m
WTG 6 – Cabina A	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm <sup>2</sup>	340	372 A	1417 m
WTG 9 – WTG 5	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 70) mm <sup>2</sup>	85	213 A	1110 m
WTG 5 – WTG 7	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm <sup>2</sup>	170	291 A	580 m
WTG 7 – Cabina A	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm <sup>2</sup>	170	291 A	30 m
Cabina A – Cabina B	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x 2(1x630) mm <sup>2</sup>	595	995,2 A	4625 m
WTG 14 – WTG 11	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x70) mm <sup>2</sup>	85	213 A	1120 m
WTG 11 – Cabina B	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm <sup>2</sup>	170	291 A	30 m
WTG 11 – SSE	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x 2(1x630) mm <sup>2</sup>	765	995,2 A	18300 m

La portata indicata in tabella per il singolo cavo è relativa alle condizioni di posa adottate, riportate in seguito:

- Profondità di posa 1,2 m;
- Posa in tubi protettivi;
- Temperatura ambiente 20 °C;
- Resistività termica del terreno 1,5 Km/W.

Le sezioni individuate soddisfano tutte i criteri di dimensionamento adottati, garantendo i limiti termici ed elettrici.

I cavi avranno, inoltre, le seguenti caratteristiche particolari:

- Non propagazione della fiamma (conformi agli standard IEC 60332-1 e IEC 60332-3);
- Ritardanti la fiamma (secondo IEC 60332);
- Bassa emissione di gas tossici e di gas corrosivi (secondo IEC 60754);
- Bassa emissione di fumi opachi (secondo IEC 61034);
- Resistenza speciale a stress ambientali (secondo eventuali richieste particolari indicati nelle specifiche progettuali).