



new energy Eni New Energy SpA

PROGETTO ITALIA IMPIANTO EOLICO PORTO TORRES

Eolico - Porto Torres - Area Industriale Syndial
Progetto Definitivo

RELAZIONE CALCOLO PRELIMINARE IMPIANTI ELETTRICI

CS-FS	01	18/12/2019	Emissione Finale	G.Imparato	E.Pallavicini	M. Parenti	N. Abdel Karim	A.Milanese
CS-FS	00	19/11/2019	Emissione per Commenti	G.Imparato	E.Pallavicini	M. Parenti	N. Abdel Karim	A.Milanese
Stato di Validità	Numero Revisione	Data	Descrizione	Proger Preparato	Proger Verificato	EniProgetti Controllato	EniProgetti Approvato	Eni New Energy Approvato
Indice Revisione								
Logo Committente e Denominazione Commerciale  new energy Eni New Energy SpA				Nome progetto PROGETTO ITALIA IMPIANTO EOLICO PORTO TORRES		ID Documento Committente SY2400FERU00173 Commessa N.		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale  progetti EniProgetti SpA						ID Documento Appaltatore --		
Nome d'Impianto e Oggetto PORTO TORRES (SS) Eolico - Porto Torres - Area industriale Syndial						Scala n.a.	Numero di Pagine 1 / 16	
Titolo Documento Relazione calcolo preliminare impianti elettrici								

Software: Microsoft Word

File Name: SY2400FERU00173_CSFS01_16.docx




 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 2 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2.1 Norme di riferimento per la Bassa Tensione (BT)	3
2.2 Norme di riferimento per la Media Tensione (MT)	4
2.3 Unità di misura	5
3. CALCOLI ELETTRICI	5
3.1 Dimensionamento cavi	5
3.2 Integrale di Joule	6
3.3 Dimensionamento del conduttore di neutro	7
3.4 Dimensionamento dei conduttori di protezione	7
3.5 Caduta di tensione	8
3.6 Scelta delle protezioni	8
3.7 Verifica delle protezioni a cortocircuito delle condutture	8
4. IMPIANTO EOLICO	9
4.1 Descrizione dell'impianto eolico	9
4.2 Generatore eolico	10
4.3 Convertitore di macchina	10
4.4 Trasformatore di macchina	11
4.5 Quadro MT	11
4.6 Dimensionamento elettrico	11
4.6.1 Dimensionamento dei conduttori in MT	11
5. IMPIANTO GENERALE DI TERRA	12
5.1 Dimensionamento rete di terra	12
5.2 Descrizione schema rete di terra	14
6. SICUREZZA DELL'IMPIANTO	15
6.1 Protezioni da sovracorrenti sul lato CA	15
6.2 Protezioni dai contatti accidentali sul lato CA	15
6.3 Misure di protezione scariche atmosferiche	16
7. SISTEMI DI PROTEZIONE	16
7.1 Dispositivo di Interfaccia DDI	16
7.2 Dispositivo Generale DG	16

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 3 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

1. PREMESSA

Il presente documento ha lo scopo di definire i requisiti minimi per il dimensionamento degli impianti elettrici relativi al parco eolico. L'impianto eolico che ENI New Energy S.p.A. intende realizzare, ricade all'interno del perimetro dello stabilimento industriale di Porto Torres (SS), nell'area di pertinenza Eni Rewind.

L'impianto eolico sarà connesso alla rete MT di stabilimento attraverso la sottostazione 316010, mediante l'installazione di un nuovo quadro MT all'interno della cabina esistente denominata CTE. Sfruttando, poi, la rete di distribuzione di stabilimento si effettua la connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) attraverso una sottostazione denominata 316054 a 150 kV, ove è localizzato il punto di consegna.

La presente relazione tecnica relativa agli impianti elettrici costituisce parte integrante dei documenti progettuali per la realizzazione degli impianti in oggetto.

Per quanto non espressamente indicato, si rimanda alle Normative e Pubblicazioni vigenti ed alla documentazione tecnica di progetto.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le opere elettiche 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 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 4 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 23-3/1 Ia 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.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 5 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

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:

- Condotture 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:

- CEI 11-17
- CEI UNEL 35027 (1-30 kV)
- EC 60502-2 (6-30 kV)
- IEC 61892-4 off-shore (fino a 30 kV)

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 6 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

La sezione viene scelta in modo che la sua portata sia superiore alla $I_z \text{ min.}$ Gli eventuali paralleli vengono calcolati nell'ipotesi che abbiano tutti la stessa sezione, lunghezza e tipo di posa (si veda la norma 64.8 par. 433.3), considerando la portata minima come risultante della somma delle singole portate (declassate per il numero di paralleli dal coefficiente di declassamento per prossimità).

La condizione *b)* non necessita di verifica in quanto gli interruttori che rispondono alla norma CEI 23.3 hanno un rapporto tra corrente convenzionale di funzionamento I_f e corrente nominale I_n minore di 1.45 ed è costante per tutte le tarature inferiori a 125 A. Per le apparecchiature industriali, invece, le norme CEI 17.5 e IEC 947 stabiliscono che tale rapporto può variare in base alla corrente nominale, ma deve comunque rimanere minore o uguale a 1.45.

Risulta pertanto che, in base a tali normative, la condizione *b)* sarà sempre verificata.

Le condutture dimensionate con questo criterio sono, pertanto, protette contro le sovracorrenti.

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 $A^2 \text{ s}$).

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 ($< 0,1 \text{ s}$), 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.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 7 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

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 mm²;
- 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 mm², se il conduttore è in rame, e a 25 mm² 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 mm², se conduttore in rame, e 25 mm², 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:

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

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 (mm²);
- 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 conduttura di alimentazione non deve essere, in ogni caso, inferiore a:

- 2,5 mm² rame o 16 mm² alluminio se è prevista una protezione meccanica
- 4 mm² o 16 mm² alluminio se non è prevista una protezione meccanica

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 8 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

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 Ω/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 al quadro MT localizzato nella cabina CTE si assume pari al 4%. Si precisa che tale valore è riferito alla turbina eolica più "lontana" nella configurazione entra-esce dei due sottocampi del parco eolico.

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.

 Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 9 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

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.

4. IMPIANTO EOLICO

4.1 Descrizione dell'impianto eolico

L'impianto eolico in oggetto sarà di tipo on-shore (su terraferma) con una potenza nominale di 34 MW generata da n° 6 torri eoliche con generatori di taglia 5,67 MW cadauno interconnessi in "entra-esce" a gruppi di tre per un totale di due gruppi. L'interconnessione verrà realizzata tramite n° 2 linee MT in cavo con tensione di esercizio 15 kV, afferenti alla sbarra MT della cabina CTE. In particolare, all'interno della cabina elettrica CTE esistente di proprietà Versalis S.p.A., connessa alla sottostazione in alta tensione SSTT 316010 è previsto un nuovo quadro generale di media tensione a 15 kV dedicato al solo impianto eolico.

Infine, sono previste tutte le apparecchiature elettriche necessarie alla protezione delle linee interne ed all'immissione dell'energia prodotta nella rete di Stabilimento e verso il sistema RTN, nonché la realizzazione delle opere accessorie atte alla fruizione dell'impianto stesso (recinzione, accessi, viabilità interna, impianti di illuminazione, monitoraggio, antintrusione e TVCC).

L'impianto sarà in grado di alimentare dalla rete tutti i carichi rilevanti (ad es: quadri di alimentazione, illuminazione, UPS). Tutti i principali componenti dell'impianto eolico saranno predisposti per comunicare con un sistema SCADA installato all'interno della cabina CTE insieme ai sistemi RTU e UPDM che nel loro complesso renderanno possibile la eventuale gestione remota dell'impianto eolico da parte del Gestore della Rete Nazionale e/o del gestore dell'impianto, attraverso il controllo dei parametri rilevanti dell'impianto, ovvero: potenza attiva e reattiva, tensione, frequenza e fattore di potenza, performance di produzione e teledistacco. Tutti i parametri rilevanti dell'impianto eolico come ad esempio correnti e tensioni, saranno continuamente monitorati da un sistema dedicato, compatibile con tutte le altre apparecchiature e, in caso di guasto di un componente, la porzione di impianto verrà isolata automaticamente dalle protezioni e sarà segnalato su un sistema HMI sia localmente che in remoto.

Verrà installato anche un ricevitore GSM/GPRS, in ottemperanza ai requisiti dell'allegato M alla norma CEI 0-16, per assicurare la comunicazione da/e per il Gestore ai fini del rispetto delle prescrizioni relative alla partecipazione degli impianti di potenza nominale maggiore o uguale a 100 kW ai piani di difesa della Rete.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 10 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

4.2 Generatore eolico

I generatori eolici (Wind Turbine Generator – WTG) che verranno installati sono caratterizzati da una torre di sostegno tubolare alla cui estremità è collegato il rotore tripala opportunamente accoppiato al gruppo di conversione elettromeccanica ospitato dalla navicella. Si collocheranno n° 6 aerogeneratori di potenza 5,67 MW ciascuno; in seguito le principali caratteristiche tecniche:

AEROGENERATORE – 5,67 MW	
Potenza nominale	5670 kW
Tensione nominale	720 V
Frequenza	50/60 Hz
Convertitore	full scale
Velocità di taglio inferiore (cut-in)	3 m/s
Velocità di taglio superiore (cut-out)	25 m/s
Potenza sonora	104 dB
Diametro rotore	165 m
Altezza mozzo	119 m
Numero di pale	3

Tabella 1: Caratteristiche tecniche degli aerogeneratori.

Il generatore elettrico che attua la conversione elettromeccanica all'interno della turbina eolica, è un generatore sincrono trifase a magneti permanenti connesso alla rete attraverso un convertitore "full-scale". Il generatore è caratterizzato da 36 poli con la possibilità di lavorare in un range di frequenze 0-138 Hz e con tensione storica pari a 3 x 800 V alla velocità nominale. Il range di velocità operativa è individuato dall'intervallo 0-460 giri/minuto. La struttura dell'alloggiamento del generatore consente la circolazione dell'aria di raffreddamento sia all'interno dello statore che del rotore, inoltre la quota principale di calore generato dalle perdite viene rimosso da uno scambiatore di calore aria-acqua.

4.3 Convertitore di macchina

Prima di immettere l'energia elettrica in rete è necessario che le grandezze elettriche siano coerenti con i valori di esercizio della rete stessa. In particolare la frequenza in uscita dal generatore dipende dalla velocità di rotazione del rotore e dal numero di coppie polari. Per garantire la frequenza lato rete costante, occorre interporre un convertitore che gestisca il generatore e le caratteristiche dell'intera potenza elettrica generata. Il convertitore è caratterizzato da un primo stadio in cui si convertono le grandezze elettriche in uscita dal generatore che sono a frequenza variabile in grandezze continue e da un secondo stadio in cui le grandezze elettriche continue sono convertite in grandezze alternate a frequenza di rete. Oltre a gestire la frequenza, il convertitore consente di gestire i livelli di potenza attiva e reattiva desiderati (e altri parametri di connessione alla rete) adatti alla rete.

Il convertitore associato alle caratteristiche del generatore eolico suddetto è un sistema di conversione su larga scala (full-scale) con potenza nominale apparente 6200 kVA, posizionato nella navicella con tensione nominale di rete 720V. Invece, la tensione lato generatore è nominalmente di 800V, ma dipende ovviamente dalla velocità del generatore.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 11 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

4.4 Trasformatore di macchina

La torre eolica sarà dotata di un trasformatore di macchina BT/MT 720V/15 kV 7000 kVA mediante il quale viene innalzata la tensione al valore di esercizio del sistema in media tensione di 15 kV. Il tutto fa capo ad un quadro di torre, che oltre a collegare il generatore relativo alla torre dove è ubicato, ha la funzione di “entra-esce” all’interno del sottogruppo di aerogeneratori di cui fanno parte.

Inoltre, si prevede un trasformatore per i servizi ausiliari BT/BT 50 kVA 720V/400V, derivato dal primario del trasformatore elevatore.

4.5 Quadro MT

La connessione dell’impianto eolico alla RTN avviene per mezzo della rete di distribuzione di stabilimento. Il collegamento elettrico alla rete per l’immissione dell’energia prodotta avverrà a livello di MT 15 kV, su un nuovo quadro MT localizzato all’interno della cabina CTE esistente e direttamente connesso ad un nuovo trasformatore AT/MT di potenza nominale 40 MVA, che il gestore della rete Versalis S.p.A. dedicherà esclusivamente all’impianto eolico.

Il quadro generale di Media Tensione includerà il trasformatore MT/BT per l’alimentazione dei servizi ausiliari di cabina e n°6 scomparti.

Gli scomparti sono assegnati nel seguente modo:

- n°2 scomparti dedicati all’arrivo dalla wind farm delle due linee in cavo MT 15 kV;
- n°1 scomparto dedicato all’alimentazione del trasformatore MT/BT per servizi ausiliari;
- n°1 scomparto Misure ;
- n°1 scomparto dedicato al Dispositivo Generale (DG) avente la funzione di apparecchiatura di manovra e protezione la cui apertura determina la separazione del generatore dalla rete;
- n°1 scomparto per la connessione del trasformatore di messa a terra con avvolgimenti a zig-zag.

I due scomparti dedicati all’arrivo delle linee MT saranno dotati di Dispositivo di Interfaccia (DDI) in conformità alla norma CEI 0-16 in modo da consentire la disconnessione dei generatori dalla rete in caso di condizioni anomale di funzionamento della stessa. Inoltre, in un apposito locale dedicato, verranno installati i contatori di misura (M1 e M2).

4.6 Dimensionamento elettrico

Si riportano i risultati del dimensionamento in base ai quali si verifica che tutti i componenti del parco eolico siano correttamente accoppiati; in particolare, vengono definite le sezioni dei conduttori da impiegare in modo da verificare le portate degli stessi conduttori e la caduta di tensione.

4.6.1 Dimensionamento dei conduttori in MT

L’interconnessione tra le torri eoliche e il nuovo quadro, predisposto nella cabina CTE esistente, sarà effettuata mediante due cavidotti distinti in media tensione eserciti a 15 kV. Si adoperano conduttori isolati in gomma sotto guaina di PVC, adatti per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per il progetto in esame si utilizzano cavi tripolari per l’interconnessione tra gli aerogeneratori all’interno del sottocampo e cavi unipolari per il collegamento finale con la cabina CTE. In particolare i cavi tripolari saranno armati, mentre i cavi unipolari non armati. I cavi saranno posati in piano all’interno di tubi protettivi, totalmente interrati, in accordo alle prescrizioni della norma CEI 11-17 a meno di una parte del collegamento alla CTE che sarà fuori terra, all’interno di un cavedio in cemento riempito con sabbia.

In base al sistema di interconnessione entra-esce tra gli aerogeneratori, è possibile individuare i seguenti rami di connessione:

- Ramo 1: WTG 01 – WTG 02 – WTG 06 – CTE
- Ramo 2: WTG 03 – WTG 04 – WTG 05 – CTE

 new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 12 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

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

Tratto da - a	Cavo	Formazione	Corrente di impiego	Portata	Lunghezza tratto
WTG 01 – WTG 02	RG7H1OZR – 8,7/15 kV	3 x 120 mm ²	242,5 A	315,25 A	1105 m
WTG 02 – WTG 06	RG7H1OZR – 8,7/15 kV	3 x 300 mm ²	485,5 A	518,95 A	1060 m
WTG 06 – CTE	RG7H1R – 8,7/15 kV	3 x (1 x 500) mm ²	727,5 A	761,45 A	3780 m
WTG 03 – WTG 04	RG7H1OZR – 8,7/15 kV	3 x 120 mm ²	242,5 A	315,25 A	1125 m
WTG 04 – WTG 05	RG7H1OZR – 8,7/15 kV	3 x 300 mm ²	485,5 A	518,95 A	835 m
WTG 05 - CTE	RG7H1R – 8,7/15 kV	3 x (1 x 500) mm ²	727,5 A	761,45 A	3150 m

Tabella 2: Caratteristiche cavi MT

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

- Profondità di posa 1 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.

5. IMPIANTO GENERALE DI TERRA

5.1 Dimensionamento rete di terra

Gli impianti di terra saranno progettati tenendo in considerazione i seguenti criteri:

- o Avere sufficiente resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- o Essere in grado di sopportare, da un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- o Evitare danni a componenti elettrici e beni;
- o Garantire la sicurezza delle persone contro le tensioni che si manifestano sugli impianti di terra per effetto delle correnti di guasto a terra.

Il tipo di impianto da realizzare dipende dalle caratteristiche morfologiche del terreno dell'area da proteggere, che possono influenzarne fortemente il valore di resistività (es. presenza di rocce, profondità del terreno vegetale, ecc.). Poiché la resistività può inoltre variare anche nel tempo, per il progetto è necessario effettuare più rilievi nell'area interessata per stabilire conseguentemente un valore medio di riferimento. Per terreni non omogenei è necessario scegliere un valore di resistività di riferimento prudenziale, leggermente più elevato del valore medio (almeno 1,5 volte).

Vista la collocazione geografica e l'estensione del parco eolico vi è la possibilità di avere diverse tipologie di suolo, con caratteristiche geoelettriche differenti. In forma preliminare, ai fini dei calcoli, si ipotizza un valore di resistività elettrica del terreno pari a circa $\rho=1525 \Omega\text{m}$ (valor medio per terra sabbiosa compreso tra un minimo di $50 \Omega\text{m}$ e un massimo di $3000 \Omega\text{m}$) e tenendo conto di terreno non omogeneo si assume come valore di riferimento $\rho=2290 \Omega\text{m}$.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 13 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

In seguito una tabella con valori di resistività del terreno tipici.

Tipo di terreno	Resistività del terreno ρ [Ωm]	
	Intervallo dei valori	Valor medio
Paludoso	2 - 50	30
Argilloso	2 - 200	40
Limo e sabbia argillosa, humus	20 - 260	100
Sabbia e terra sabbiosa	50 - 3.000	200 (umido)
Torba	> 1.200	200
Ghiaia umida	50 - 3.000	1.000 (umido)
Terreno pietroso e sassoso	100 - 8.000	2.000
Calcestruzzo: 1 parte cemento + 3 di sabbia	50 - 300	150
Calcestruzzo: 1 parte cemento + 5 di sabbia	100 - 8.000	400

Tabella 3: Resistività del terreno tipici per diverse tipologie

Si è considerata pertanto la condizione di allaccio alla rete di distribuzione interna avente i seguenti parametri tecnici:

- Tensione di alimentazione della cabina di 15 kV;
- Corrente di guasto monofase a terra pari a 100 A presunto;
- Tempo di intervento delle protezioni \gg 10 sec.

L'art. 9 delle Norme C.E.I. 11-1 prescrive che gli impianti di terra nelle cabine di trasformazione debbano essere dimensionati in modo tale che non si determinino in nessun punto, sia all'interno che all'esterno della cabina, tensioni di contatto e di passo superiori ai valori indicati nella tabella di seguito riportata:

Durata del guasto T_f (s)	Tensione di contatto ammissibile U_{Tp} (V)
\gg 10	75 (asintotico)
10	80
1,1	100
0,72	125
0,64	150
0,49	230
0,39	300
0,29	400
0,20	500
0,14	600
0,08	700
0,04	800

Tabella 4: Tensioni di contatto e di passo superiori limite (Norma CEI 11-1)

- $I_f = 100$ A
- $t = \gg$ 10 s

Dove I_f è il valore della corrente di guasto a terra, e t è il tempo di eliminazione del guasto.

Con tempi \gg 10 s la tensione di contatto massima ammissibile può essere considerata pari a 75 V.

 Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 14 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

Il valore di resistenza massimo dell'impianto di terra sarà quindi dato da:

$$R_t < \frac{V}{I_f}$$

Quindi:

$$R_t < \frac{75}{100} = 0,75 \Omega$$

In particolare, facendo riferimento alla formula seguente si determina il valore della sezione del dispersore orizzontale, ovvero la corda di rame nudo, che costituisce parte fondamentale dell'impianto di terra:

$$R_t = \frac{\rho}{2 \pi L} * \left[\ln\left(\frac{2L}{a}\right) + \ln\left(\frac{L}{H}\right) - 2 + \frac{2H}{L} \right]$$

Dove:

- ρ = resistività del terreno;
- L = lunghezza del dispersore orizzontale;
- H = profondità del dispersore;
- a = raggio del dispersore.

Intendendo garantire l'intera interconnessione di terra all'interno del parco (circa 11 km) ai fini dell'equipotenzialità e considerando una corda di rame con sezione 70 mm² (a = 0,00472 m) si ottiene una resistenza di terra pari proprio al valore limite $R_t = 0,75 \Omega$. A vantaggio della sicurezza si sceglie una corda con sezione 95 mm² (a = 0,00550 m) tale da garantire un valore $R_t = 0,74 \Omega$. Tale valore di resistenza (più basso di quello realmente necessario con le reali correnti di guasto a terra in gioco) è sicuramente raggiunto ed assicurato dalla geometria e dalla tipologia di dispersori utilizzati per la rete di terra in oggetto e illustrata nel documento **SY2400FEDP00169 - Rete di terra**.

Deve essere tenuto presente che il calcolo è stato condotto con valori di resistività del terreno teorici e ricavati dalla composizione del terreno e dai dati della letteratura per quel tipo di terreno; sarebbe auspicabile condurre una campagna di misure della resistività con il metodo di Wenner, in modo da avere valori di resistività reali e non teorici.

5.2 Descrizione schema rete di terra

L'impianto di messa a terra dovrà essere predisposto già in sede di realizzazione delle fondazioni in cemento armato degli aerogeneratori e con collegamento ai ferri d'armatura; quest'ultimi costituiranno dei dispersori di fatto. La rete di terra sarà costituita da un conduttore di rame nudo con sezione pari a 95 mm² posto orizzontalmente ad un metro di distanza dalla fondazione della torre e ad un metro di profondità, che segue il perimetro della struttura fino a richiudersi su se stesso. Inoltre, la rete di terra per il singolo aerogeneratore sarà integrata con due dispersori verticali in acciaio ramato della lunghezza di 6 m ciascuno e con diametro di almeno 14 mm, piantati verticalmente in posizioni diametralmente opposte rispetto alla torre. La disposizione dell'impianto di messa a terra ad anello chiuso attorno alla struttura limiterà la tensione di passo e contatto per le persone eventualmente presenti alla base della torre in caso di fulminazione diretta della struttura stessa ed, allo stesso tempo, i picchetti verticali accoppiati al medesimo impianto contribuiranno a diminuire il valore della resistenza complessiva di terra. I dispersori non devono essere facilmente deteriorabili per effetto dell'umidità o per l'azione chimica del terreno, e devono mantenere inalterate nel tempo le caratteristiche elettriche.

Il trasformatore di macchina, ovvero il trasformatore elevatore di tensione, avrà l'avvolgimento lato bassa tensione collegato a stella, con centro stella posto a terra e collegato con lo stesso impianto di messa a terra della turbina eolica, mentre l'avvolgimento lato media sarà a triangolo. Si precisa che il lato bassa tensione della turbina sarà gestito come TN-S, invece, dato che la connessione lato rete avverrà in media tensione la

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 15 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

messa a terra sarà in accordo con quella dell'impianto. In particolare la messa a terra sul lato MT viene garantita mediante l'impiego di un trasformatore di messa a terra con avvolgimenti a zig-zag.

Una parte fondamentale del sistema di messa a terra della singola turbina eolica è la barra principale di messa a terra, posta all'interno dell'aerogeneratore in prossimità dell'ingresso cavi. Tutti i dispersori di terra faranno capo a questa barra principale garantendo collegamenti equipotenziali.

Le reti di terra di ogni aerogeneratore verranno, poi, interconnesse tra loro mediante un conduttore di rame nudo. In particolare, all'interno della canalizzazione per la posa dei cavi di media tensione, interrata per il collegamento "entra – esce" fra gli aerogeneratori, verrà posato un ulteriore cavo di rame nudo di sezione non inferiore a 95 mm² per la connessione delle reti di terra.

Tutta la rete di terra verrà allacciata anche con quella esistente attorno all'impianto, per creare equipotenzialità tra i sistemi, in particolare l'impianto di terra del parco eolico farà capo al nodo equipotenziale della rete di terra della cabina di consegna già esistente, rappresentata dalla cabina della centrale termoelettrica CTE.

6. SICUREZZA DELL'IMPIANTO

Fra gli obiettivi del presente progetto rientra quello di garantire un adeguato livello di sicurezza, in particolare nei confronti del rischio derivante dagli effetti della corrente elettrica sul corpo umano e da quelli che potrebbero derivare da guasti o malfunzionamenti delle apparecchiature elettriche. Dovrà pertanto essere garantita la protezione dei circuiti contro i sovraccarichi e i cortocircuiti e delle persone contro i contatti diretti e indiretti o da tensioni di passo e di contatto pericolose per la vita umana.

6.1 Protezioni da sovracorrenti sul lato CA

È opportuno prevedere protezioni contro le sovracorrenti che possono scaturire sia in condizioni di circuito sano che in condizioni di circuito guasto. In merito all'impianto eolico, gli interruttori sul lato MT saranno equipaggiati con protezioni generali di massima corrente e contro i guasti a terra opportunamente dimensionati e tarati per garantire un buon livello di selettività al corto circuito.

6.2 Protezioni dai contatti accidentali sul lato CA

La protezione dai contatti diretti e indiretti o comunque da tensioni di passo e di contatto avviene in accordo alla normativa vigente e in modo dedicato al sistema elettrico interessato. I sistemi ausiliari di ogni aerogeneratore saranno alimentati da un trasformatore separato BT/BT 720V/400V la cui alimentazione al primario è fornita direttamente dal convertitore. I carichi ausiliari sono tipicamente rappresentati dal sistema di illuminazione, dal sistema di ventilazione, da motori e pompe. In questo caso il sistema di distribuzione, di tipo TN-S, garantirà forniture ai carichi ausiliari con livelli di tensione pari a 400V e 230V. Si precisa che gli ausiliari della torre eolica sono alimentati con un trasformatore BT/BT perché si ha a disposizione già un livello in bassa tensione, in uscita dal convertitore, a differenza dei servizi ausiliari di cabina CTE che sono alimentati da un trasformatore MT/BT dato che il livello di tensione disponibile è in media.

La protezione dai contatti indiretti sarà assicurata dall'installazione degli interruttori differenziali, mentre la protezione da sovracorrenti verrà garantita da interruttori magnetotermici. Il tutto è coadiuvato dalla realizzazione di una rete di terra primaria, estesa su tutti gli aerogeneratori, in grado di equipotenzializzare il terreno e ridurre la tensione totale di terra e dall'utilizzazione di relè di protezione attivi che garantiscono tempi di intervento accettabili.

 Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FERU00173	Pagina 16 / 16	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

6.3 Misure di protezione scariche atmosferiche

Gli aerogeneratori, grazie alla loro altezza ed essendo spesso la struttura più alta del territorio circostante, rappresentano un “bersaglio ideale” per le fulminazioni, quindi possono essere esposti a sovratensioni di origine atmosferica dirette ed indirette, oltre che essere soggetti a sovratensioni di manovra. La protezione dalle fulminazioni consentirà una riduzione dei rischi per le persone (principalmente personale addetto), della manutenzione per danneggiamento della struttura e dei componenti interni ed una precauzione contro le perdite economiche per mancata produzione energetica dovuta ad avaria dell’impianto.

Un sistema di protezione dai fulmini per le turbine eoliche è costituito da un cavo conduttore metallico, che ha il compito di condurre la corrente dall’apice delle pale fino a terra, nelle fondamenta utilizzando i ferri del plinto come dispersore di fatto. I punti più alti di un aerogeneratore sono le punte delle pale, le quali sono maggiormente a rischio di essere colpite dai fulmini durante i temporali. Nonostante nel corso dell’evoluzione tecnologica si sia passati da pale in materiali conduttori a pale in materiali non conduttori, sono ancora possibili danneggiamenti, anche molto pesanti, come l’esplosione di una pala a causa del riscaldamento dell’aria in essa contenuta. Nelle pale dei n° 6 aerogeneratori il sistema di protezione sarà composto da un sistema captatore di alluminio, da una linea di drenaggio e dalla rete a terra disposta attorno alla torre. Il passaggio della corrente dalla parte rotante alla navicella avviene mediante opportuni sistemi conduttori. Per quanto riguarda la fulminazione indiretta, le scariche atmosferiche possono provocare sovratensioni in grado di mettere fuori uso i componenti. Pertanto all’interno dei quadri saranno previsti idonei scaricatori di sovratensione posti a protezione delle apparecchiature.

7. SISTEMI DI PROTEZIONE

La protezione del sistema di generazione eolico nei confronti sia della rete interna che della rete di distribuzione è realizzata in conformità alla norma CEI 11-20, con riferimento a quanto contenuto nella norma CEI 0-16 e dal codice di rete del gestore locale.

L’impianto sarà equipaggiato con un sistema di protezione che si articola sui seguenti livelli:

- Dispositivi dei generatori
- Dispositivi di interfaccia
- Dispositivo di rinalzo
- Dispositivo generale

7.1 Dispositivo di Interfaccia DDI

Il dispositivo di interfaccia (DDI) determina la disconnessione dell’impianto in caso di anomalie (variazioni di frequenza e tensione oltre i parametri di qualità) rilevate nella rete di connessione, derivanti da guasti provenienti dalla rete di distribuzione stessa o dall’impianto di produzione. Tale dispositivo ha anche la funzione di impedire il funzionamento in isola dell’impianto. Il DDI sarà costituito da un interruttore in MT le cui caratteristiche sono illustrate nello schema unifilare.

Le protezioni di interfaccia (che comandano il dispositivo di interfaccia) sono costituite da relè di massima e minima frequenza, relè di massima e minima tensione omopolare conformi alle norme specifiche di settore.

7.2 Dispositivo Generale DG

Il dispositivo generale (DG) ha la funzione di salvaguardare il funzionamento della rete nei confronti dei guasti nel sistema di generazione elettrica; Il DG dovrà assicurare le funzioni di sezionamento, comando e interruzione. Inoltre, esso è dotato di sganciatore di apertura e sezionatore equipaggiato con protezione generale di massima corrente e una protezione contro i guasti a terra.

La soluzione ottimale per la protezione del collegamento verrà comunque concordata con il gestore di rete in riferimento alle caratteristiche della RTN cui l’impianto è collegato. Il dispositivo generale potrà eventualmente fungere da dispositivo di rinalzo, nel caso in cui il DDI non intervenga.