

EMILIE WIND SRL

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

Relazione opere elettriche

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:

Relazione opere elettriche

N° Documento:

IT-VesEMI-PGR-ELE-TR-03

Progettista:



Ing. Domenico Teta



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

Sommario

1. Premessa	5
2. Normative di riferimento	6
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
3. Descrizione del progetto elettrico	9
4. Impianto generale di terra	10
4.1 Descrizione schema rete di terra.....	12
5. Sicurezza dell'impianto	14
5.1 Protezione da sovracorrenti sul lato CA	14
5.2 Protezione dai contatti accidentali sul lato CA.....	14
5.3 Misure di protezione scariche atmosferiche	15
6. Cadute di tensione e perdite di potenza	19
7. Dimensionamento elettrico	21
7.1 Condizioni di posa	26

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 vigente.

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.
- 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.
- 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. Descrizione del progetto elettrico

Il Parco Eolico sarà costituito da n. 9 aerogeneratori elettricamente connessi tra loro secondo la modalità “entra-esce” formando due gruppi da due e da sette. Ciascun generatore eolico produrrà energia elettrica alla tensione di 720 V c.a. e all’interno di ciascuna torre sarà installato un trasformatore di macchina 720V/36kV di taglia 5300 kVA che servirà ad elevare la tensione al livello di media tensione. L’impianto eolico sarà collegato in antenna a 36 kV sulla sezione 36 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN da inserire in 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.

Le linee MT interne al parco eolico, di connessione tra gli aerogeneratori e tra questi e le cabine A e B, saranno realizzate mediante cavidotti. Si impiegheranno cavi unipolari. I cavi saranno posati all’interno di tubi protettivi totalmente interrati.

Tutte le opere elettriche in bassa e media tensione saranno realizzate secondo le prescrizioni della norma CEI 11-1, con particolare riferimento alla scelta dei componenti, della disposizione circuitale, degli schemi elettrici, della sicurezza di esercizio.

4. Impianto generale di terra

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

- Avere sufficiente resistenza meccanica e resistenza alla corrosione;
- Essere in grado di sopportare, da un punto di vista termico, le più elevate correnti di guasto prevedibili;
- Evitare danni a componenti elettrici e beni;
- 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 $\rho=2290 \Omega\text{m}$.

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

- Tensione di alimentazione della cabina di 36 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:

Tabella 1: Tensioni di contatto e di passo superiori limite

Durata del guasto Tf (s)	Tensione di contatto ammissibile UTp (V)
>> 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

Fonte: Norma CEI 0-16

$$I_f = 100 \text{ A}$$

$$t = \gg 10 \text{ s}$$

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.

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:

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

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 **IT-VesEMI-PGR-ELE-DW-04 - 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.

4.1 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 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.

5. 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.

5.1 Protezione 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.

5.2 Protezione 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 A e B 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.

5.3 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° 9 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.

5.4 Controllore centrale di impianto (CCI)

Il CCI è un apparato i cui compiti principali sono:

- Svolgere la funzione di monitoraggio dell’impianto con lo scopo di raccogliere informazioni dall’impianto e dalle unità di generazione/accumulo utili ai fini della “osservabilità” della rete (funzionalità di monitoraggio);

- Coordinare il funzionamento dei diversi elementi costituenti l'impianto, affinché l'impianto stesso operi, nel suo complesso, in maniera da soddisfare alle prescrizioni della Norma CEI 0-16, riportate al punto di connessione con la rete (nel seguito PdC), nel rispetto delle capability prescritte dalla stessa Norma per le singole unità di generazione e di accumulo (funzionalità di regolazione e comando);
- Consentire lo scambio di informazioni fra l'impianto ed il DSO (e tra l'impianto ed il TSO per il tramite del DSO cui l'impianto è sotteso) utilizzando lo standard di comunicazione IEC 61850 e reti di trasmissione dati, nonché fra l'impianto ed eventuali ulteriori attori abilitati (funzionalità di scambio dati).

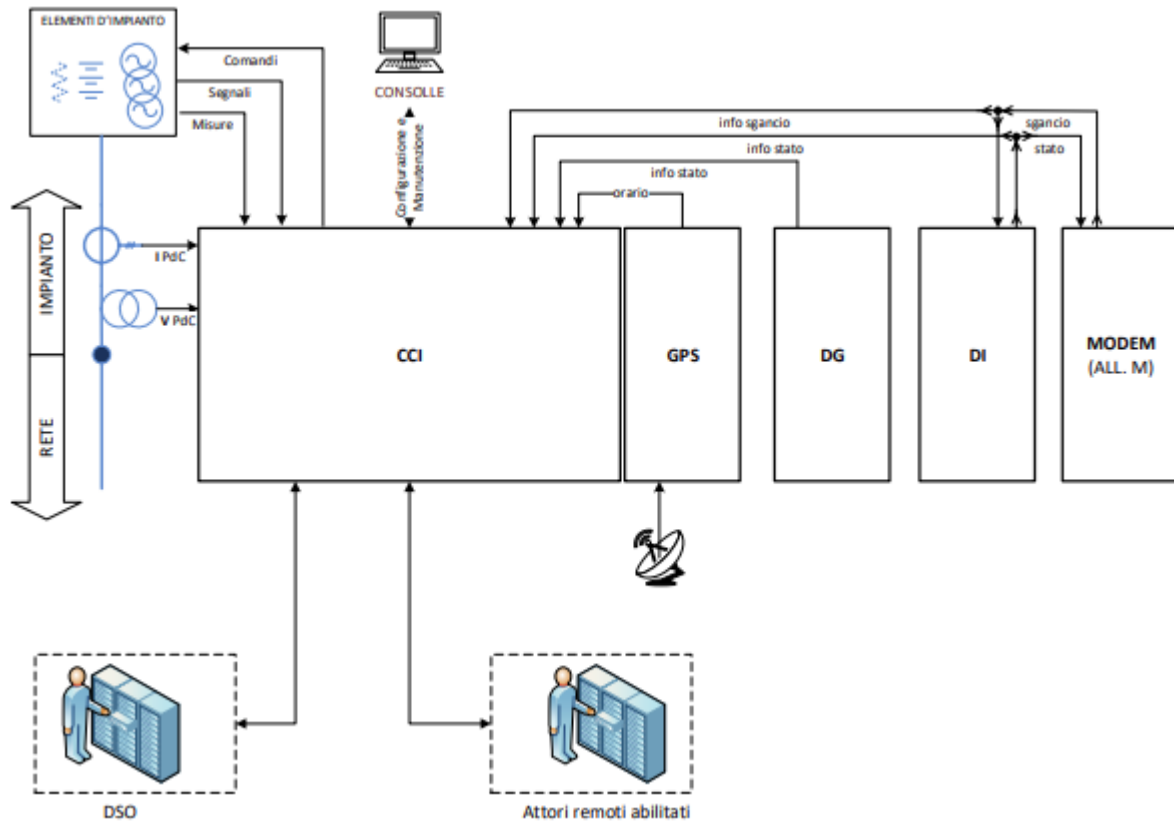
Il CCI nel suo complesso raggiunge l'obiettivo di presentare alla rete del DSO, nel PdC, l'impianto come costituito da un singolo generatore equivalente, che tiene conto delle caratteristiche dei singoli sistemi di generazione e di accumulo, nonché della rete di impianto. Non è peraltro preclusa l'osservabilità dei diversi elementi costituenti l'impianto. Inoltre il CCI costituisce anche l'unico punto di interfaccia per lo scambio di informazioni fra le unità di generazione/accumulo costituenti l'impianto ed il DSO.

Il CCI deve essere in grado di acquisire e processare tutte le informazioni necessarie per la gestione delle interfacce relative a:

- il DSO;
- gli elementi costituenti l'impianto;
- gli eventuali ulteriori Attori abilitati.

Da un punto di vista realizzativo nel CCI si possono individuare almeno le seguenti "unità funzionali":

- unità di interscambio di informazioni con il DSO e gli ulteriori Attori abilitati;
- unità di acquisizione grandezze al PdC (misure e segnali);
- unità di elaborazione;
- unità di regolazione degli elementi di impianto;
- unità di interscambio di informazioni con gli elementi di impianto;
- unità di memorizzazione (data logger).

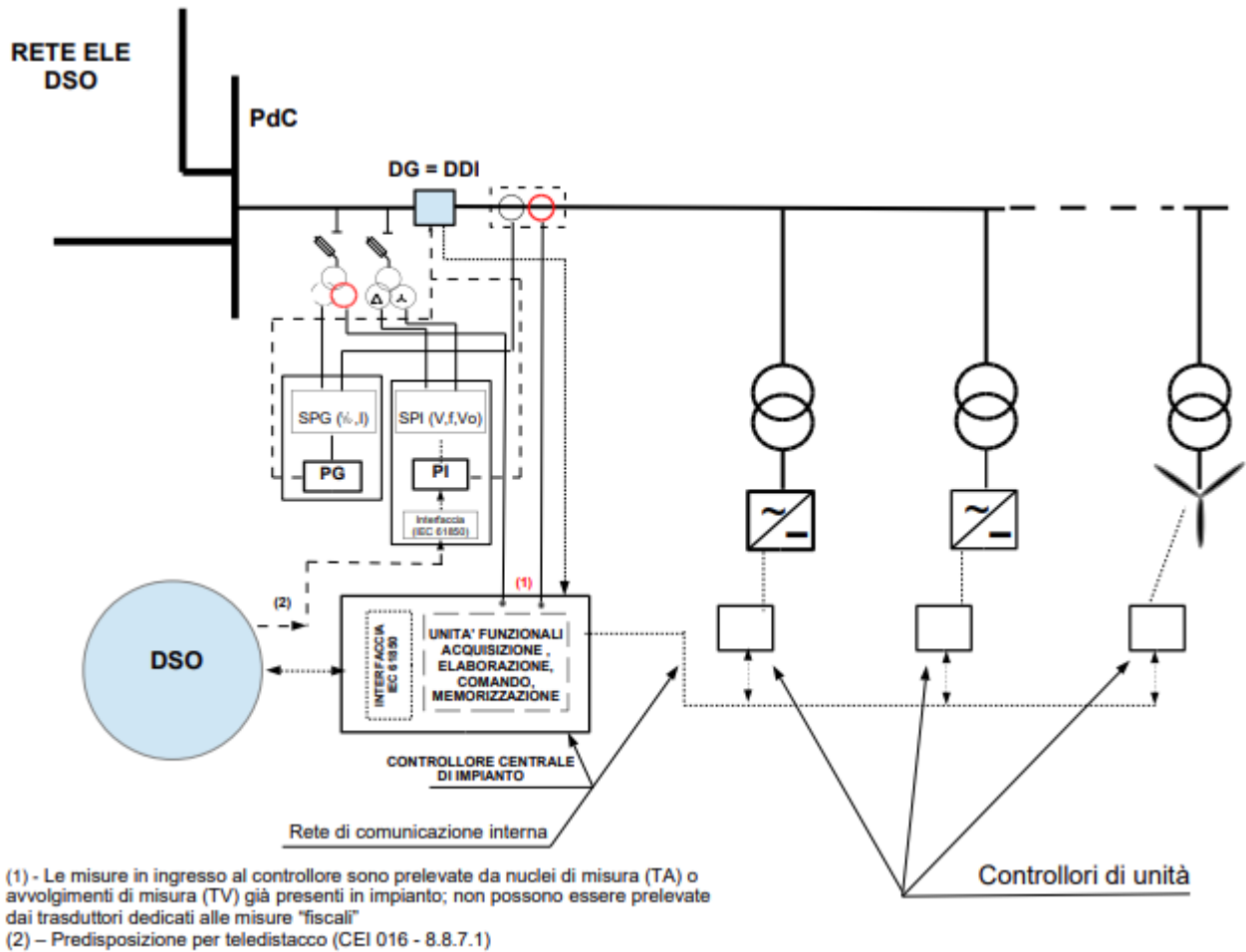
Figura 1: Schema generale del sistema CCI con relative interfacce funzionali


Fonte: Norma CEI 0-16

Le soluzioni impiantistiche possibili del CCI sono le seguenti:

- Dispositivo generale coincidente con il dispositivo di interfaccia;
- Dispositivo generale e dispositivo di interfaccia separati e posizionati in punti differenti dell'impianto.

La soluzione adottata per il campo eolico Emilie è quella in cui il DG ed il DI coincidono.

Figura 2: Schema generale della soluzione impiantistica nel caso DG = DI


Fonte: Norma CEI 0-16

6. Cadute di tensione e perdite di potenza

1) Verifica della massima caduta di tensione

Per il calcolo della caduta di tensione lungo la linea si è utilizzata la seguente formula:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_B \cdot (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$$

Dove:

ΔV : caduta di tensione [V]

L: lunghezza della linea [km]

I_B : corrente di impiego [A]

$\cos \varphi$: fattore di potenza

R_L : resistenza del cavo elettrico [Ω /km]

X_L : reattanza del cavo elettrico [Ω /km]

In valore percentuale la caduta di tensione è stata calcolata come:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_n} \cdot 100$$

V_n : Tensione nominale del sistema = 36 000 V

In base al dimensionamento eseguito emerge che il valore percentuale della caduta di tensione massima si trova sul circuito di collegamento tra la torre eolica 2bis e le sbarre del quadro MT della cabina A, è risultata pari a 4,72% e coincide con il valore massimo fissato al valore del 5.

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 ²	85	213 A	1150 m
WTG 1 – WTG 3	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm ²	170	372 A	780 m
WTG 3 – WTG 6	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm ²	255 A	372 A	2105 m
WTG 6 – Cabina A	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 240) mm ²	340	372 A	1417 m
WTG 9 – WTG 5	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1 x 70) mm ²	85	213 A	1110 m
WTG 5 – WTG 7	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm ²	170	291 A	580 m
WTG 7 – Cabina A	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm ²	170	291 A	30 m
Cabina A – Cabina B	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x 2(1x630) mm ²	595	995,2 A	4625 m
WTG 14 – WTG 11	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x70) mm ²	85	213 A	1120 m
WTG 11 – Cabina B	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x (1x120) mm ²	170	291 A	30 m
WTG 11 – SSE	ARE4H5E 20,8/36 kV	3 x 2(1x630) mm ²	765	995,2 A	18300 m

7. Dimensionamento elettrico

Nel seguito si elencano i parametri elettrici dei collegamenti elettrici:

- Cavo: 3X1X70 mm² unipolare sigla ARE4H5E 20,8/36 kV;
- Tipologia del sistema: trifase;
- Frequenza: 50 Hz;
- Tensione nominale: 36 kV;
- Tensione massima del sistema: 42 kV;
- Modalità di posa: in tubo interrato – (CEI 11.17)

Per la determinazione della portata dei cavi si è fatto riferimento alla seguente condizione operativa definita dalla norma CEI - Unel 35027:

- Profondità Posa: 1,20 m su strada (0,80 m su strada sterrata);
- Temperatura del terreno di riferimento: 20°C;
- Resistività termica del terreno: 1,5 Km/W.

La modalità di posa impiegate nel suddetto calcolo relativamente alla sezione 36 kV è quella prevista per la posa dei cavi a 36 kV, posati dentro un tubo il cui diametro esterno $\Phi=200$ mm (superiore a 1,5 volte il diametro del cavo circoscritto).

La norma CEI EN 35027 definisce i criteri per la determinazione della portata dei cavi di energia con tensione nominale da 1 kV a 30 kV.

La formula per il calcolo della portata è la seguente (CEI EN 35027):

$$I_z = I_0 \times k \qquad k = k_{tt} \times K_d \times K_p \times K_r$$

I_0 = Portata definita dalle tabelle della norma CEI EN 35027, corrispondente a specificate condizioni di posa interrata;

K = coefficiente correttivo che tiene conto dell'effettiva condizione di posa;

K_{tt} = coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da 20 °C;

K_d = coefficiente di correzione per spaziatura 250 mm piuttosto che 70 mm, valido per cavi direttamente interrati;

K_p = coefficiente di correzione per valori di profondità di posa differenti da 0,8 m;

K_r = coefficiente di correzione per valori di resistività termica del terreno differenti da 1,5 Km/W.

Per i cavidotti a 36 kV costituente l'impianto del produttore, si adottano i valori riportati nella "Tabella di sintesi calcolo elettrico"

In merito alla profondità di posa si rileva che la portata definita dalle tabelle della CEI 35027 si riferisce ad un valore di 0,8 m, assumendo come riferimento il centro del tubo. Il cavidotto 36 kV in oggetto è realizzato attraverso sezioni di scavo la cui composizione e dimensione dipende dal tipo di strada su cui è installato (vedi tavole grafiche allegate). Considerato che il diametro del tubo è 200 mm, si configurano due casi:

- Strada sterrata privata: profondità scavo
0.8 m
- Strada asfaltata pubblica: profondità
scavo -1.2 m

Il calcolo della sezione dei cavi a 36 kV dell'impianto di utenza sarà realizzato nel soddisfacimento dei seguenti punti:

- 1) Verifica della portata;
- 2) Verifica della massima caduta di tensione;
- 3) Verifica di coordinamento tra la sezione del cavo ed il corto circuito;
- 4) Verifica di coordinamento tra la sezione del cavo ed il sovraccarico.

Nella "Tabella di sintesi calcolo elettrico" sono riportati i valori delle verifiche eseguite, analizzate nei paragrafi seguenti.

1) Verifica della portata

Il valore della corrente nominale sul lato MT di ciascun aerogeneratore componente il parco eolico è:

$$I_n \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{4500000}{\sqrt{3} \cdot 36000 \cdot 0,85} = 84,90 \text{ A}$$

Si è assunto un fattore di potenza 0,85.

Pertanto per ciascun aerogeneratore si considera come valore della corrente d'impiego il valore $I_B = 85 \text{ A}$

Nella "Tabella di sintesi calcolo elettrico" sono riportati i valori di calcolo eseguito. Pertanto la verifica della portata è soddisfatta.

2) Verifica della massima caduta di tensione

Per il calcolo della caduta di tensione lungo la linea si è utilizzata la seguente formula:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_B \cdot (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$$

Dove:

ΔV : caduta di tensione [V]

L: lunghezza della linea [km]

I_B : corrente di impiego [A]

$\cos \varphi$: fattore di potenza

R_L : resistenza del cavo elettrico [Ω/km]

X_L : reattanza del cavo elettrico [Ω/km]

In valore percentuale la caduta di tensione è stata calcolata come:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_n} \cdot 100$$

V_n : Tensione nominale del sistema = 36000 V

In base al dimensionamento eseguito emerge che il valore percentuale della caduta di tensione massima delle linee MT di collegamento tra il parco eolico e le sbarre del quadro 36 kV della stazione 380/36 kV utente è contenuto al di sotto del valore massimo fissato al valore del 4%, valore limite ritenuto accettabile in relazione al servizio, come richiesto dalla norma CEI 11.17.

In "Tabella di sintesi calcolo elettrico" sono indicati i valori del suddetto calcolo.

In seguito al calcolo della caduta di tensione si procede anche alla verifica delle perdite elettriche associate al suddetto collegamento elettrico. A tale scopo si adotta la seguente relazione:

$$P_{joule} = 3 \cdot R_L \cdot I_B^2 \cdot L$$

dove:

P_{joule} : perdite joule [W];

R_L : resistenza elettrica della linea [Ω /km];

L: lunghezza della linea [km];

I_B : corrente d'impiego del tratto [A].

In valore percentuale, si ottiene:

$$P_{joule\%} = \frac{P_{joule}}{P_{trasmessa}} \cdot 100$$

Si fa riferimento alla massima potenza che l'impianto può trasferire ossia 3000 kW.

In "Tabella di sintesi calcolo elettrico" sono riportati i valori derivanti dal calcolo in oggetto.

3) Verifica di coordinamento tra la sezione del cavo ed il corto circuito

La sezione del conduttore viene scelta in maniera tale 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.

Qualora la sovracorrente sia praticamente costante e il fenomeno termico sia di breve durata (cortocircuito) in modo da potersi considerare di puro accumulo (regime adiabatico), il cavo risulta protetto se è soddisfatta la seguente relazione (integrale di Joule):

$$\int_0^{t_g} i^2 dt \leq K^2 S^2$$

- i = valore istantaneo della corrente di cortocircuito;
- $\int_0^{t_g} i^2 dt$ = energia specifica passante nel dispositivo di protezione;
- T_g = tempo d'interruzione del guasto (tempo d'apertura dei contatti + tempo d'estinzione dell'arco elettrico) = 0,25 s;
- S = Sezione del cavo;
- $K^2 S^2$ = energia ammissibile dal cavo (ipotesi sistema adiabatico).

K è una costante caratteristica del cavo. E' un valore indicato dalle Norme (CEI 11-17) ed è stabilito in funzione della temperatura massima ammissibile di funzionamento del conduttore (90°C), della temperatura massima di cortocircuito per i diversi isolanti specificati nella Norma 11-17 (250°C) e del tipo di conduttore. Per un cavo isolato in EPR/XLPE, con conduttore in alluminio K=92.

Se tale disuguaglianza è soddisfatta, in corrispondenza del passaggio di una corrente di corto circuito all'interno del cavo, è rispettata la condizione di non superamento della temperatura massima ammissibile del cavo in corto circuito. Nell'ipotesi che il fenomeno abbia una durata superiore ad un decimo di secondo è sufficientemente verificata la seguente relazione:

$$I_{CC}^2 \cdot t_g \leq K^2 S^2$$

I_{cc} = valore efficace della componente simmetrica della corrente di cortocircuito.

Ai fini cautelativi si considera la massima corrente di corto circuito che si può verificare sull'impianto 16 kA (valore di dimensionamento delle sbarre quadro a 36 kV della stazione 380/36 kV).

$$I_{cc} = 16 \text{ kA}$$

Nota il valore della corrente di corto circuito si passa alla determinazione della sezione minima:

$$S \geq \frac{I_{CC}}{K} \cdot \sqrt{t_g}$$

$$S = \frac{16000}{92} \cdot 0,5 = 86,97 \text{ mm}^2$$

Pertanto in riferimento al sistema elettrico in progetto, risulta calcolato il valore della sezione minima del cavo 30kV in alluminio isolato in EPR / XLPE protetta dal corto circuito. Essendo la sezione minima dei cavi 30 kV pari a 95 mm² è soddisfare la condizione di verifica al corto-circuito.

4) Verifica di coordinamento tra la sezione del cavo ed il sovraccarico

In merito alla condizione di verifica al sovraccarico, occorre seguire quanto prescritto all'interno della norma CEI 11.17; è necessario evitare che valori di corrente superiori alla portata del cavo possano determinare fenomeni di invecchiamento precoce dell'isolante del cavo stesso. A tale fine è

sufficiente che la corrente di taratura della soglia termica dell'interruttore magnetotermico installato a protezione del cavo in oggetto (I_r) non sia maggiore della portata del cavo stesso. Pertanto occorre regolare la soglia di intervento termico affinché risulti $I_r < I_Z$.

In conclusione le sezioni dei cavi 30 kV previste (95, 185 e 500 mm²) in alluminio risultano essere tali da soddisfare tutti i vincoli elettrici indicati ai punti precedenti 1) 2) 3) e 4).

7.1 Condizioni di posa

Le linee MT a servizio del parco eolico saranno costituite da cavi unipolari per l'interconnessione "entra-esce" all'interno dei singoli sottocampi e per il tratto di connessione finale dall'ultimo aerogeneratore del sottogruppo alla cabina (A o B).

Per quanto riguarda nello specifico le condizioni di posa, il sistema di linee interrato sarà alloggiato in tubi protettivi corrugati di diametro adeguato e posati in piano sul fondo di un'apposita trincea profonda 1,2 m e con adeguata larghezza, successivamente riempita con terreno di risulta, pistonato per evitare successivi cedimenti. La trincea dovrà essere tale da ospitare i tubi protettivi corrugati a servizio dei cavi MT e dei cavi in fibra ottica. Inoltre, è bene precisare che nei tratti in cui porzioni di cavidotto corrono parallelamente, la trincea sarà scavata in maniera tale da poter garantire la posa di tutti i tubi protettivi corrugati necessari per la realizzazione del cavidotto, così come riportato nel documento **IT-VesEMI-PGR-CIV-DW-18-Sezione cavidotti**.

All'interno dello stesso tracciato si disporrà la corda di rame nudo da 95 mmq, per la protezione di terra, direttamente interrata.

Lungo il tracciato, ad opportune distanze dipendenti anche dalle lunghezze commerciali dei cavi, si predisporranno dei pozzetti adatti ad eseguire le giunzioni necessarie fra le diverse tratte di cavi e a garantire le future ispezioni sul cavidotto.

Infine, il collegamento della linea nelle celle MT di arrivo e partenza alle sue estremità sarà realizzato mediante apposita terminazione, con idonei capicorda a compressione. Nell'esecuzione delle terminazioni all'interno delle celle dei quadri si deve realizzare il collegamento di terra degli schermi dei cavi con trecce flessibili di rame stagnato, eventualmente prolungandole e dotandole di capocorda a compressione per l'ancoraggio alla presa di terra dello scomparto.

La messa a terra dei rivestimenti metallici ha lo scopo di rendere equipotenziale le masse metalliche che ricoprono il cavo, ponendole tutte a potenziale zero; dato l'elevato valore di tensione del conduttore (36kV), il materiale isolante (dielettrico) che ricopre il conduttore stesso sarà sede di correnti di spostamento che dal conduttore fluiscono verso il rivestimento metallico; per effetto di queste correnti la massa metallica esterna (armatura) si troverà sotto tensione, ad un valore pericoloso per il corpo umano; qualora nella trincea fossero posati più cavi o coesistano cavi e altre condotte (telecomunicazioni) il fenomeno potrebbe estendersi ad altre parti metalliche presenti; pertanto la messa a terra delle masse metalliche annullerà questo fenomeno, evitando sollecitazioni dannose per l'isolante del cavo e offrendo maggiore sicurezza al personale tecnico ed elementi di altre reti.

Lo schermo dei cavi MT sarà messo a terra ad entrambe le estremità della linea, ma è vietato usare lo schermo dei cavi come conduttore di terra per altre parti dell'impianto.