




REGIONE SICILIANA
LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI TRAPANI
COMUNI DI CALATAFIMI SEGESTA E GIBELLINA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A
 $P_n = 75,4 \text{ MW}$ ($P_i = 72 \text{ MW}$), SU TERRENO SITO NEL COMUNE DI CALATAFIMI SEGESTA (TP)
 IN CATASTO AI FG. 94 P.LLE 246, 247, 368, 248, 340, 411, AL FG. 99 P.LLE 93, 92, 3, AL FG. 107 P.LLE
 7, 15, 16, 123, 209, 208, 54, 206, AL FG. 104 P.LLE 4, 49, 33, 156, 157, AL FG. 106 P.LLE 93, 86, 23, 94,
 AL FG. 107 P.LLA 44, AL FG. 105 P.LLA 128, AL FG. 115 P.LLE 192, 136, 281, 66, 208, AL FG. 117 P.LLE
 38, 28, E AL FG. 98 P.LLE 468, 463, 469, 470, 471 E ALTRE AFFERENTI ALLE OPERE DI RETE NEI
 COMUNI DI CALATAFIMI SEGESTA E GIBELLINA (TP)

Timbro e firma del progettista Capital Engineering snc Ing. Vincenzo Massaro   Capital Engineering snc Ing. Salvatore Li Vigni 	Timbri autorizzativi
--	----------------------

RELAZIONE TECNICA ELETTRICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO							
Livello prog.	ID Terna S.p.A.	Tipo Elabor.	N.ro Elabor.	Project ID	NOME FILE	DATA	SCALA
PDef	202100949	Relazione	03	CANICHIDDEUSI	CANICCHIDEUSI Rel. Tecnica Elettrica del 05 12 2022.docx	09.12.2022	-
REVISIONI							
VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE			ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
Rev.00	09.12.2022	Prima emissione			MC	MTM	VM

IL PROPONENTE <div style="text-align: center;">  <p>CANICHIDDEUSI WIND SRL</p> Sede legale: Corso di Porta Vittoria, 9 - 20122 - Milano PEC: canichiddeusiwind@mailcertificata.net P.IVA 12673200965 </div>	PROGETTO DI <div style="text-align: center;">  <p>CAPITAL ENGINEERING</p> Capital Engineering S.n.c. Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo e-mail: info@capitalengineering.it </div> SU INCARICO DI <div style="text-align: center;">  <p>Coolbine</p> Grounded Clean Ventures Coolbine S.r.L. Sede legale: Via Trinacria, 52 - 90144 - Palermo e-mail: progettazione@coolbine.it </div>
--	--

Sommario

1.	Descrizione generale dell'impianto	3
1.1	Generalità	3
1.2	Descrizione del tracciato dell'elettrodotto	4
2.	Riferimenti normativi	6
2.1.	Norme di riferimento per la Bassa tensione	6
2.2.	Norme di riferimento per la media tensione	7
2.3.	Unità di misura	8
3.	Calcoli elettrici	9
3.1.	Dimensionamento dei 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 della protezione a cortocircuito delle condutture	12
4.	Descrizione Impianto "Canichiddeusi"	14
4.1.	Aerogeneratore e cabina a base torre	14
4.2.	Cabina di Parallelo e Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV	14
4.3.	Descrizione cavidotti 30 kV e cavidotto 36kV	18
4.4.	Caratteristiche del conduttore di energia	21
5.	Impianto generale di terra	22
5.1.	Conduttori di terra	22
5.2.	Conduttori equipotenziali	22
5.3.	Dimensionamento impianto di terra	23
5.4.	Sistema di protezione dalle sovratensioni	23

6.	Sistema di monitoraggio	24
7.	Interferenze del cavidotto MT	24
8.	Valutazione preliminare impatto elettromagnetico	25
8.1.	Premessa	25
8.2.	Normativa di riferimento	26
8.3.	Analisi computazionale	27
8.4.	Risultati valutazione elettromagnetica e calcolo DPA	29

1. Descrizione generale dell'impianto

1.1 Generalità

L'impianto eolico denominato "CANICHIDDEUSI" oggetto del presente progetto definitivo, proposto dalla società Canichiddeusi Wind S.r.L. si sviluppa nei Comuni di Calatafimi-Segesta (TP) e Gibellina (TP) ed è caratterizzato da una potenza in immissione di 72 MW e da una potenza nominale di 75,4 MW.

L'impianto eolico è costituito da tredici aerogeneratori, uno dei quali avente potenza nominale di 3400 kW (anche denominati CAN A) e dodici aventi potenza nominale di 6000 kW (anche denominati CAN B). Ogni aerogeneratore comprende un generatore asincrono trifase da 3400 kW o 6000kW, un convertitore da 4400 kW o 6550 kW e un trasformatore da 4000 kVA (30/0,65 kV) o 7300 kV (30/0,8 kV). Ogni aerogeneratore è dotato di tutte le apparecchiature e circuiti di potenza nonché di comando, protezione, misura e supervisione.

Gli aerogeneratori saranno interconnessi tramite un sistema di cavidotti MT interrati a 30 kV alla nuova Cabina di Parallelo. Dalla cabina di Parallelo, tramite un cavidotto MT interrato a 30 kV, saranno successivamente connessi alla nuova Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV e, da questa, tramite cavidotto interrato a 36 kV da inserire in antenna alla nuova stazione elettrica (SE) 220/36kV della RTN, da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 220kV "Partinico – Partanna".

Quindi, gli aerogeneratori saranno connessi fra loro e alle "Cabina di Parallelo" e "Cabina di trasformazione Utente 30kV/36kV" tramite un sistema di cavidotti MT a 30 kV. La posizione di queste due cabine risulta dagli elaborati progettuali, in particolare saranno posate entrambe in un'area denominata "Area Cabine di Trasformazione Utente".

In corrispondenza della "Cabina di trasformazione Utente 30kV/36kV" la tensione verrà innalzata da 30kV a 36kV. Da questa, tramite cavidotto interrato a 36kV, l'impianto è poi connesso alla Stazione Elettrica della RTN di nuova realizzazione.

L'impianto elettrico in oggetto comprende sistemi di categoria 0, I, II e III ed è esercito alla frequenza di 50Hz. Si distinguono le seguenti parti:

- il sistema BT a 650 V (Aerogeneratore tipo CAN A) o 800V (Aerogeneratore tipo CAN B), esercito con neutro a terra (montante aerogeneratore);
- il sistema BT a 400 V, per le alimentazioni protette;
- il sistema MT a 30 kV, esercito con neutro isolato;
- il sistema AT a 36 kV, esercito con neutro isolato.

L'impianto è, pertanto, composto dalle seguenti strutture:

- n° 1 aerogeneratore da 3400 kW (tipo CAN A) con annesse, all'interno o nella cabina a base torre, tutte le apparecchiature di macchina;
- n°12 aerogeneratori da 6000 kW (tipo CAN B) con annesse, all'interno o nella cabina a base torre, tutte le apparecchiature di macchina;

- un sistema di cavi MT a 30 kV interrati per il collegamento interno fra gli aerogeneratori, fra questi e la “Cabina di Parallelo” e fra la “Cabina di Parallelo” e la “Cabina di Trasformazione Utente 30kV/36kV”;
- n°1 Cabina di Parallelo, posta nell’”Area Cabine di Trasformazione Utente”;
- n°1 Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV, posta nell’”Area Cabine di Trasformazione Utente”;
- impianto di utenza a cura del proponente costituito dal cavidotto 36 kV di vettoriamento dell’energia prodotta dagli aerogeneratori alla RTN dalla cabina di trasformazione utente 30 kV/36 kV alla nuova SE della RTN da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 220kV “Partinico – Partanna”;
- Gruppi di Misura (GdM) dell’energia prodotta e dell’energia immessa e prelevata dalla rete, a loro volta costituiti dagli Apparecchi di Misura (AdM) e dai trasduttori di tensione (TV) e di corrente (TA). Particolare rilievo assumono a tal proposito il punto di installazione degli AdM, il punto e le modalità di prelievo di tensione e corrente dei relativi TA e TV, la classe di precisione dei singoli componenti del GdM;
- Apparecchiature elettriche di protezione e controllo BT, MT, ed altri impianti e sistemi che rendono possibile il sicuro funzionamento dell’intera installazione e le comunicazioni al suo interno e verso il mondo esterno, in gran parte installati all’interno della Cabina di Parallelo e della Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV;
- Apparecchiature di protezione e controllo dell’intera rete MT.

1.2 Descrizione del tracciato dell’elettrodotta

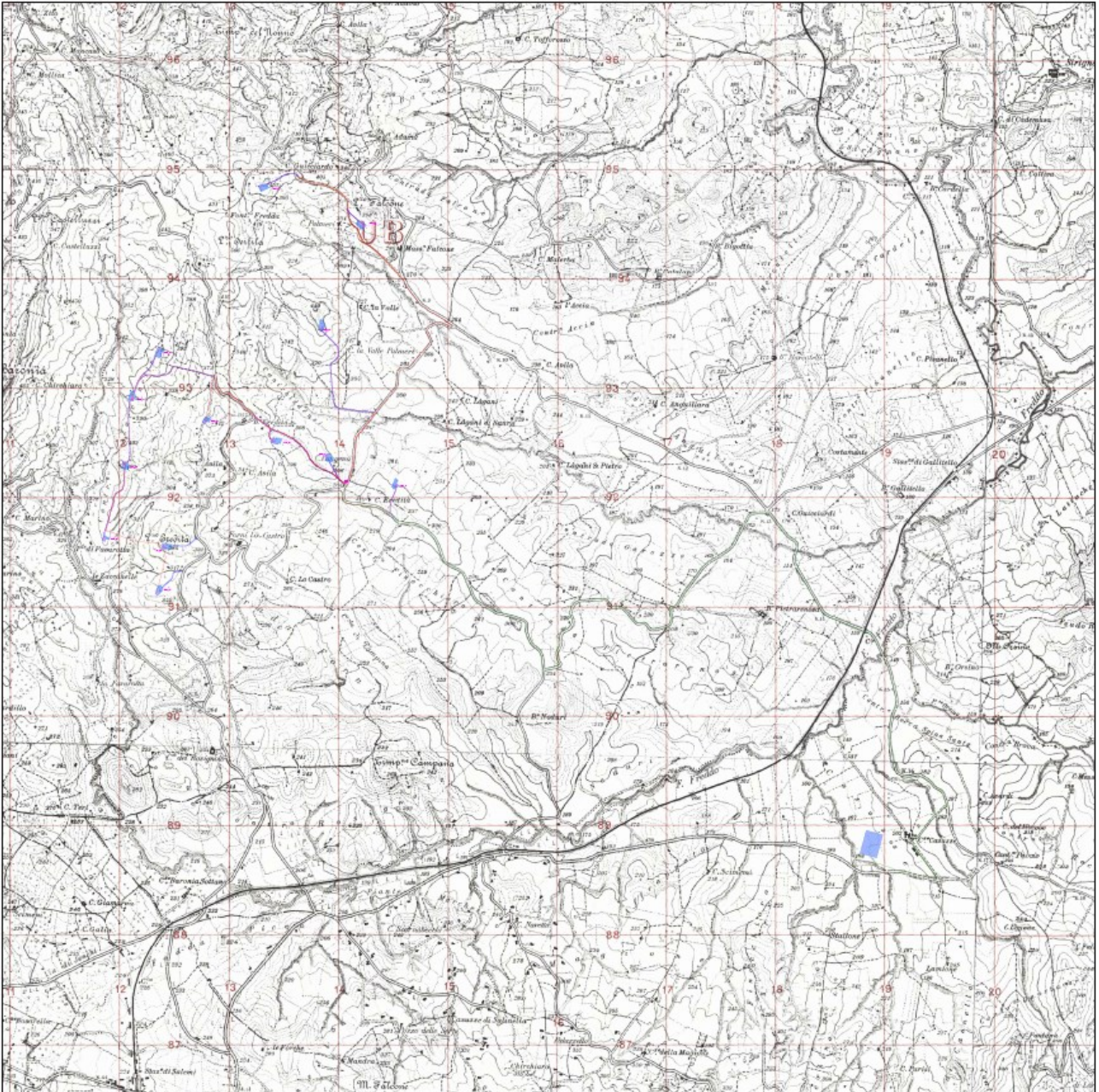
Il tracciato dei cavidotti interrati a 30 kV e a 36kV è stato studiato in armonia con quanto dettato dall’art.121 del T.U. 11/12/1933 n° 1775, comparando le esigenze della pubblica utilità delle opere con gli interessi sia pubblici che privati coinvolti.

Esso utilizza maggiormente corridoi già impegnati dalla viabilità stradale principale e secondaria esistente, con posa del cavidotto il più possibile al margine della sede stradale. I cavidotti interrati sono stati progettati in modo tale da recare minor sacrificio possibile alle proprietà interessate, avendo cura di vagliare le situazioni esistenti sui fondi da asservire rispetto anche alle condizioni dei terreni limitrofi.

Il tracciato dei cavidotti interni a 30kV, si estende per circa 13,5 km, invece il cavidotto a 36kV di collegamento tra la “Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV” e la Stazione Elettrica della RTN di nuova realizzazione si estende per circa 11,5 km.

In ottemperanza alle procedure poste in essere, è stata sottoposta al gestore Terna S.p.A. formale istanza di allacciamento dell’impianto in oggetto alla RTN al fine di valutarne la fattibilità tecnica. In data 07/03/2022 con Codice Pratica 202100949 è stata ottenuta da Terna S.p.A. la seguente Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG), di cui si riporta di seguito un estratto.

La soluzione tecnica minima generale per Voi elaborata prevede che la Vs. centrale venga collegata in antenna a 36 kV con la nuova stazione elettrica (SE) a 220/36 kV della RTN, da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 220kV "Partinico-Partanna".











-  Viabilità esistente da migliorare
-  Viabilità di accesso all'impianto
-  Aerogeneratore
-  Piazzola definitiva Aerogeneratore
-  Cavidotto MT 30 kV
-  Cavidotto 36 kV
-  Area cabina di trasformazione utente 30kV/36kV
-  Stazione Elettrica RTN

Fig.1 – Corografia IGM con indicazione cavidotti e elettrodotto MT

Dunque, per la connessione dell'impianto eolico "Canichiddeusi" alla Rete di Trasmissione Nazionale ("RTN") è stata inoltrata istanza all'Ente Gestore (Terna spa). L'ipotesi di soluzione prevede che l'impianto sia collegato in antenna a 36 kV alla Stazione Elettrica della RTN di nuova realizzazione da collegare in entra-esci alla linea 220kV "Partinico-Partanna".

2. Riferimenti normativi

Nella redazione del presente progetto sono state e dovranno essere osservate anche in fase di esecuzione dei lavori di installazione, le disposizioni di legge vigenti in materia e le norme tecniche del CEI. In particolare, si richiamano le seguenti Norme e disposizioni di legge:

2.1. Norme di riferimento per la Bassa tensione

- CEI 0-12: 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 di I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 Ila 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 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- 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.
- 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.
- NF C 15-100 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento dei cavi secondo norme francesi.
- UNE 20460 Calcolo di impianti elettrici in bassa tensione e relative tabelle di portata e declassamento (UNE 20460-5-523) dei cavi secondo regolamento spagnolo.

2.2. Norme di riferimento per la media tensione

- 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 la 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
- Sicurezza del lavoro: DPR 547/55, DPR 164/56, DPR 303/56, L. 46/90 ed attuativi, D.Lgs 626/94 con modifiche ed attuativi, D.Lgs 81/08 con modifiche ed attuativi. DPCM 8 luglio 2003: “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti”.
- DL 9 aprile 2008 n° 81 “Testo unico sulla sicurezza sul lavoro”

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 dei cavi

Il criterio seguito per il dimensionamento dei cavi è tale da poter garantire la protezione dei conduttori alle 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:

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

$$b) \quad I_f \leq 1.45 \cdot I_z$$

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 la protezione 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
- 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 (1-30kV)
- EC 60502-2 (6-30kV)
- IEC 61892-4 off-shore (fino a 30kV)

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:

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

La costante K viene data dalla norma 64-8/4 (par. 434.3), per i conduttori di fase e neutro e, dal paragrafo 64-8/5 (par. 543.1), per i conduttori di protezione in funzione al materiale conduttore e al materiale isolante. Per i cavi ad isolamento minerale le norme attualmente sono allo studio, i paragrafi sopraccitati riportano però nella parte commento dei valori prudenziali.

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 G K = 135
- Cavo in rame e isolato in gomma etilenpropilenica G5-G7 K = 143
- Cavo in alluminio e isolato in PVC K = 74
- Cavo in alluminio e isolato in G, G5-G7 K = 92

I valori di K per i conduttori di protezione unipolari (par. 543.1) tab. 54B:

- Cavo in rame e isolato in PVC K = 143
- Cavo in rame e isolato in gomma G K = 166
- Cavo in rame e isolato in gomma G5-G7 K = 176
- Cavo in rame nudo K = 228

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 mm^2 , se il conduttore è in rame, e a 25 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 mm^2 , se conduttore in rame, e 25 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:

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

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:

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

dove:

- S_p è la sezione del conduttore di protezione (mm^2);
- I è il valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di 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.

In entrambi i casi si deve tener conto, per quanto riguarda la sezione minima, del paragrafo 543.1.3. Esso afferma che 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 mm^2 alluminio se è prevista una protezione meccanica;
- 4 mm^2 o 16 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:

$$\Delta V(I_b) = k_v \cdot I_b \cdot \frac{L_c}{1000} \cdot (r_{cavo} \cdot \cos \varphi + x_{cavo} \cdot \sin \varphi)$$

con:

- $k_v = 2$ per sistemi monofase;
- $k_v = 1,73$ per sistemi trifase.

I parametri R_{cavo} e X_{cavo} sono ricavati dalla tabella UNEL in funzione del tipo di cavo (unipolare/multipolare) ed alla sezione dei conduttori; di tali parametri il primo è riferito a 70°C per i cavi con isolamento PVC, a 90°C per i cavi con isolamento EPR; mentre il secondo è riferito a 50 Hz, ferme restando le unità di misura in Ω/km .

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 lkm 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.

3.7. Verifica della protezione 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 a 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:

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

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);
 - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$ (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:
 - $I_{cc\ max} \leq I_{inters\ max}$

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. Descrizione Impianto “Canichiddeusi”

L’impianto eolico denominato “Canichiddeusi”, come già spiegato in precedenza, sarà composto da 13 aerogeneratori, di cui 12 di potenza nominale pari a 6MVA (anche detti CAN B) e uno di potenza nominale pari a 3,4MVA (anche detto CAN A) per una potenza nominale complessiva di 75,4MVA e potenza in immissione di 72MVA.

4.1. Aerogeneratore e cabina a base torre

In ogni aerogeneratore, l’energia prodotta dal generatore in corrente alternata sarà convertita dal convertitore CA/CA, posto in ciascuna navicella, che ne adatterà le caratteristiche di frequenza e tensione per la connessione al trasformatore elevatore e successivamente alla RTN.

In particolare, per gli aerogeneratori di tipo CAN B, i convertitori avranno potenza pari a 6550kVA e convertiranno l’energia prodotta dai generatori asincroni trifase, portandola alla frequenza di 50Hz e alla tensione di 800V. Invece, per l’aerogeneratore di tipo CAN A, il convertitore avrà una potenza nominale pari a 4400kVA e convertirà l’energia prodotta dal generatore asincrono trifase portandola alla frequenza di 50Hz e alla tensione di 650V.

Dal convertitore CA/CA, l’energia verrà convogliata al trasformatore MT/BT innalzatore, posto in ciascuna navicella, che innalzerà la tensione dal livello di uscita del rispettivo convertitore CA/CA al livello di 30kV.

Più nel dettaglio, per gli aerogeneratori di tipo CAN B, i trasformatori avranno una potenza pari a 7300kVA e un rapporto tra tensione secondaria e primaria pari a 0,8/30 kV. Invece, per l’aerogeneratore di tipo CAN A, il trasformatore avrà una potenza pari a 4000kVA e un rapporto tra tensione secondaria e primaria pari a 0,65/30kV.

A base torre di ogni aerogeneratore, è prevista una cabina elettrica MT contenente:

- il quadro di protezione MT in cui saranno installati uno o più dispositivi di protezione di linea in funzione del tipo di collegamento del singolo aerogeneratore con gli altri aerogeneratori e con la cabina di parallelo;
- il trasformatore MT/BT per i servizi ausiliari;
- il quadro BT di protezione dei circuiti dei servizi ausiliari di cabina.
- le apparecchiature relative al sistema di monitoraggio e SCADA del corrispondente aerogeneratore.

4.2. Cabina di Parallelo e Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV

Dunque, l’energia prodotta da ogni aerogeneratore, trasformata dal convertitore CA/CA e dal trasformatore innalzatore e convogliata alla cabina a base torre, verrà convogliata alla Cabina di Parallelo, transitando eventualmente da uno o più quadri MT di protezione degli altri aerogeneratori posti nelle cabine MT a base torre.

Per una maggiore comprensione dell’interconnessione tra gli aerogeneratori e fra questi e la cabina di Parallelo si faccia riferimento alla seguente fig.2 in cui si riporta lo schema a blocchi di tali collegamenti, alla fig.3 in cui è riportato lo schema sinottico di collegamento degli aerogeneratori o agli elaborati di progetto “Tav.03 Inquadramento su Ortofoto” e “Tav. 15 “Schema elettrico unifilare”.

A questo punto, l'energia prodotta da ogni singolo aerogeneratore, transitando eventualmente da una o più cabine a base torre degli altri aerogeneratori, verrà convogliata alla Cabina di Parallelo. La Cabina di Parallelo assolve alla funzione di raccolta dell'energia prodotta dall'interno impianto eolico, la quale verrà successivamente sarà convogliata alla Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV.

Nella Cabina di Parallelo sarà installato:

- il quadro MT di parallelo degli aerogeneratori contenente gli scomparti con i dispositivi di protezione delle linee in arrivo dagli aerogeneratori e della linea in partenza verso la Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV;
- il trasformatore MT/BT per i servizi ausiliari;
- il quadro BT di protezione dei circuiti dei servizi ausiliari, per l'alimentazione dei servizi ausiliari della stessa Cabina di Parallelo e della Cabina di Trasformazione Utente 30/36 kV.

L'energia così trasformata e raccolta nella Cabina di Parallelo verrà convogliata nella Cabina di Trasformazione Utente 30/36 kV nella quale subirà un'ulteriore e ultima trasformazione.

Infatti, tramite due trasformatori innalzatori a giorno, di potenza pari a 50000kVA ciascuno la tensione dell'energia prodotta dall'intero impianto eolico, verrà innalzata da 30kV a 36kV, tensione di collegamento con la RTN.

Dalla Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV, tramite un cavidotto a 36kV interrato, l'energia verrà consegnata alla RTN tramite il collegamento in antenna alla SE di nuova realizzazione della RTN.

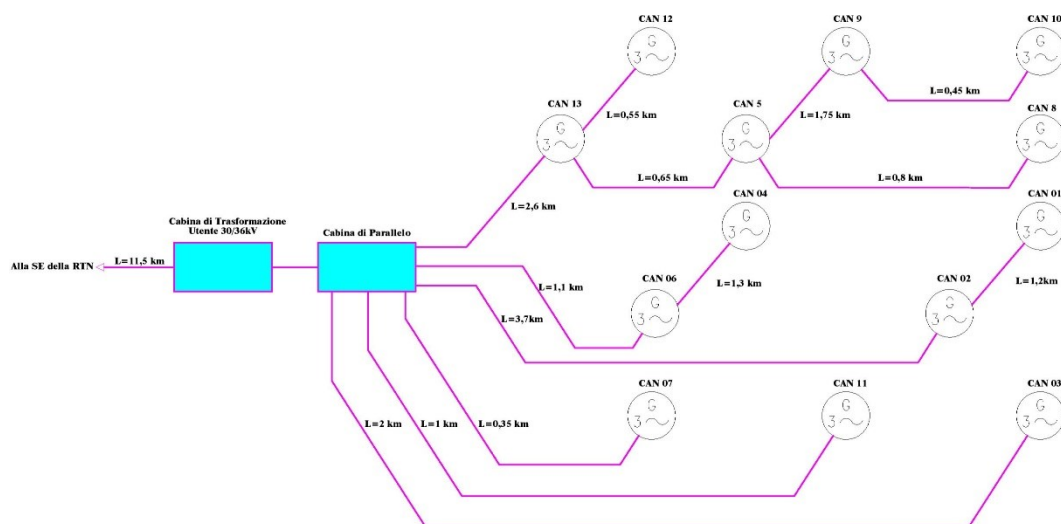


Figura 2 – Diagramma a blocchi dei collegamenti

Quindi, gli aerogeneratori sono collegati tra loro e alla Cabina di Parallelo mediante un sistema di cavidotti MT trifase interrati (cavi tripolari MT - 30 kV), in configurazione singola o in configurazione entra-esci a gruppi di due, tre o sei aerogeneratori.

Dagli aerogeneratori CAN 02, CAN 03, CAN 06, CAN 07, CAN 11 e CAN 13 i cavidotti MT interrati proseguono fino alla Cabina di Parallelo ubicata nell'area denominata "Area Cabine di Trasformazione".

Quindi, le linee provenienti da questi 6 aerogeneratori vengono connesse all'interno del quadro della Cabina di Parallelo, dal quale riparte il cavidotto MT (linee trifasi interrate, in cavo MT - 30 kV), che collega l'impianto alla sezione di trasformazione 30kV/36kV, posta anch'essa all'interno dell'area denominata "Area Cabine di Trasformazione" destinata alla Cabina di Parallelo e alla Cabina di Trasformazione Utente 30kV/36kV.

Dalla sezione di trasformazione 30kV/36kV parte un cavo a 36kV (linea trifase interrata, in cavo 36 kV), che arriva alla Stazione Elettrica della RTN di nuova realizzazione per la consegna in AT.

La Cabina di Parallelo e la Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV saranno posate all'interno di un'area recintata di circa 50m x 50m. Nella Cabina di Parallelo saranno posizionate le sezioni MT e BT, mentre il trasformatore 30kV/36kV sarà posizionato all'interno della Cabina di Trasformazione utente 30kV/36kV.

Nella seguente figura 3, si riporta lo schema sinottico rappresentativo delle interconnessioni tra gli aerogeneratori, tra questi e le cabine di parallelo e di trasformazione utente.

Per maggiori approfondimenti fare riferimento alla "Tav. 15 - Schema elettrico unifilare" e "Tav. 25 - Particolare cabina elettrica utente".

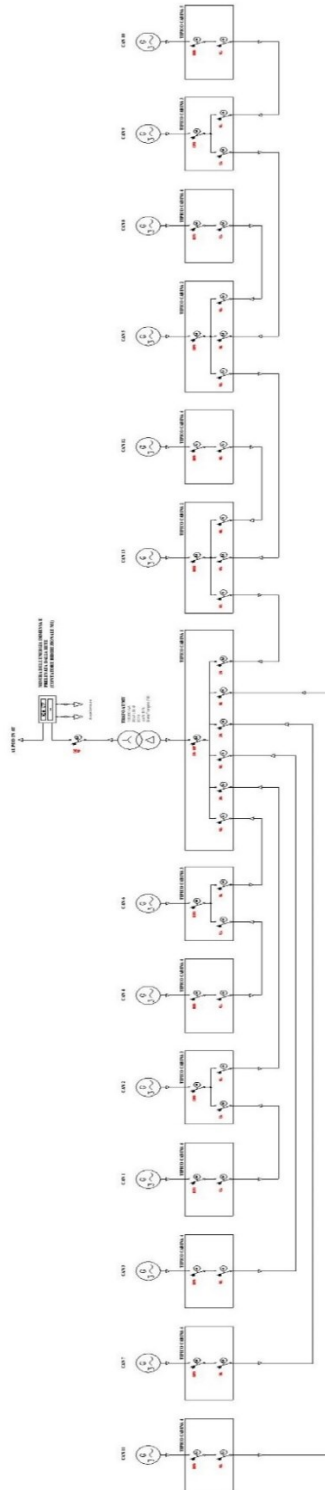


Figura 3 - Schema Sinottico di collegamento CAN

4.3. Descrizione cavidotti 30 kV e cavidotto 36kV

I cavi provenienti dalla navicella di ogni aerogeneratore, che trasportano l'energia elettrica prodotta in BT a 650 V o 800V dai generatori asincroni trifase, saranno collegati per mezzo di convertitori CA/CA a trasformatori BT/MT, che eleveranno il valore della tensione a 30 kV. I trasformatori sono posizionati all'interno delle navicelle o a base torre, non comportando dunque alcun ulteriore ingombro.

In ogni aerogeneratore, l'energia prodotta sarà quindi adattata, con i suddetti convertitori CA/CA e con i suddetti trasformatori elevatori, alle caratteristiche di frequenza 50Hz e di tensione 30kV. Da ciascun trasformatore, l'energia elettrica sarà convogliata verso la cabina posta a base torre di ciascun aerogeneratore. Da questa, in funzione del layout elettrico, l'energia verrà condotta alla Cabina di Parallelo e alla Cabina di Trasformazione Utente 30kV/36kV, passando, eventualmente, da una o più cabine a base torre degli altri aerogeneratori.

Le interconnessioni delle cabine a base torre e di queste con la Cabina di Parallelo verranno realizzate con dei cavi di sezione adatta alla potenza trasportata, ed aventi caratteristiche di isolamento funzionali alla tensione di trasmissione (18/30kV).

I cavi utilizzati saranno del tipo con conduttori a corda rotonda compatta di alluminio, con isolamento in mescola di polietilene reticolato di colore naturale rispondente alle Norme CE 20-11, provvisti di strati semiconduttivi interni ed esterni in mescola estrusa all'isolante primario, lo schermo metallico sarà costituito da fili di rame rosso a contospirale, la guaina esterna è costituita da una mescola termoplastica in PVC di qualità Rz/ST2 di colore rosso. I suddetti cavi saranno interrati ad una profondità di circa 1,5 metri e la posa sarà effettuata realizzando una trincea a sezione costante di circa 70 centimetri di larghezza, ponendo sul fondo dello scavo, opportunamente livellato, un letto di sabbia fine o di terreno scavato se dalle buone caratteristiche geomeccaniche.

Sul fondo dello scavo sarà posato il conduttore di protezione costituito da una corda di rame stagnata avente una sezione di 95 mmq o in alluminio di sezione equivalente, tale conduttore sarà interamente ricoperto dalla terra compattata.

Al di sopra di tale strato si poseranno quindi i conduttori a media tensione con posa a trifoglio, il cui verso di avvolgimento sarà invertito ogni 500 metri circa in modo da compensare le reattanze di linea. I cavi saranno poi ricoperti da uno strato di circa 15/20 centimetri di terra vagliata e compattata. Al di sopra di tale strato saranno posate per tutta la lunghezza dello scavo, ed in corrispondenza dei cavi, delle beole in CLS rosso, aventi la funzione di protezione da eventuali colpi di piccone o altro attrezzo da scavo, in caso di dissotterramenti futuri, nonché quella di indicare la posizione dei cavi stessi. Dopo la posa delle beole, si procederà al reitro dello scavo con la terra proveniente dallo scavo stesso debitamente compattata, fino ad una quota inferiore di 15 centimetri al piano campagna. A tale quota si poserà quindi, una rete di plastica rossa o altro mezzo indicativo simile (nastri plastificati rossi, etc) atto a segnalare la presenza dei cavi sottostanti.

In caso di percorso totalmente su terreno vegetale, lo scavo sarà completato con il rinterro di altro terreno vegetale, proveniente dallo scavo stesso, fino alla quota del piano campagna. In caso di attraversamenti stradali o di percorsi

lungo una strada, la trincea di posa verrà realizzata secondo le indicazioni dei diversi Enti Gestori (Amm.ne Comunale e/o Provinciale). Tutto il percorso dei cavi sarà opportunamente segnalato con l'infissione periodica (ogni 50 metri circa) di cartelli metallici indicanti l'esistenza dei cavi in MT sottostanti. Tali cartelli potranno essere, eventualmente, sostituiti da mattoni collocati a filo superiore dello scavo e riportanti le indicazioni relative ai cavi sottostanti (Profondità di posa, Tensione di esercizio). Ogni cinquecento metri, o a distanza diversa, dipendente dalle lunghezze commerciali dei cavi, si predisporranno delle camere cavi, costituite da pozzetti di ispezione 80cmx80cm, adatte ad eseguire le giunzioni necessarie fra le diverse tratte di cavi.

Si riporta un riepilogo delle indicazioni. In sintesi, il sistema di linee interrato a servizio del parco, che per la quasi totalità del suo sviluppo segue il percorso delle piste di accesso, è realizzato con le seguenti modalità:

- scavo a sezione ristretta obbligata (trincea) con dimensioni di circa 70 x 150 cm di altezza;
- letto di sabbia di circa 10 cm, per la posa delle linee MT;
- tubazioni in PVC, idonee per il contenimento di cavi MT 30 kV, diametro 240/300 mm;
- cavi tripolari MT 30 kV, collocati all'interno delle tubazioni protettive di contenimento;
- rinfilo e copertura delle tubazioni PVC (contenenti i cavi MT) con sabbia, per almeno 10 cm;
- corda nuda in rame, per la protezione di terra, e tubazioni PVC per il contenimento dei cavi di segnale e della fibra ottica, posati direttamente sulla sabbia, all'interno dello scavo;
- riempimento per almeno 20 cm con sabbia;
- nastro in PVC di segnalazione;
- rinterro con n materiale proveniente dallo scavo o con materiale inerte.

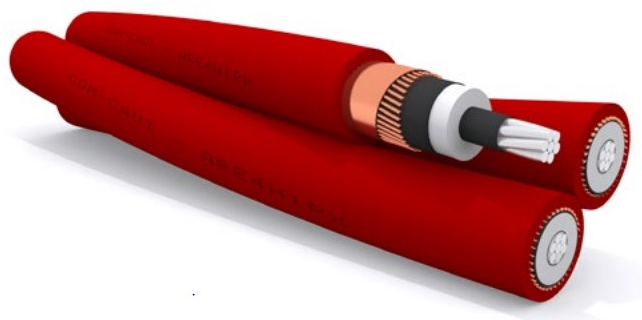
Qui di seguito vengono riportati i dati di calcolo delle linee di collegamento interne all'impianto:

Areogeneratore						
P_n	V_n	$\cos\phi_{wind}$	I_n	S_n	Q_n	
kW	kV	rit	A	kVA	kvar	
3.600	0,75	0,97	2.857	3.711	902	CAN A
6.000	0,80	0,97	4.464	6.186	1.504	CAN B

Convertitore					
S_n	$V_{n_generator}$	V_{n_grid}	$\cos\phi_{wind}$	I_n	
kVA	kV	kV	rit	A	
4.400	0,75	0,65	1	3.908	CAN A
6.550	0,80	0,72	1	5.252	CAN B

Trasformatore								
S_n	$\cos\phi_l$	P_{Fen}	P_{Cun}	V_{1n}	I_{1n}	V_{20}	I_{20}	
kVA	rit	kW	kW	kV	A	V	A	
4.000	0,20	5,8	29,3	30	77,0	0,65	3.553	CAN A
7.300	0,20	3,3	62,3	30	140,5	0,72	5.854	CAN B

4.4. Caratteristiche del conduttore di energia



CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U_0/U : : 12/20 kV - 18/30 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di posa: 0°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C

CARATTERISTICHE PARTICOLARI:

Cavi media tensione non propaganti la fiamma. Adatti per impianti eolici.

CONDIZIONI DI IMPIEGO:

Adatti per installazioni in canale interrato; tubo interrato; interrato diretto; aria libera; interrato con protezione.

COSTRUZIONE DEL CAVO / CABLE CONSTRUCTION

	CONDUTTORE Materiale: Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio	CONDUCTOR Material: stranded wire aluminium
	SEMICONDUZIONE INTERNO Materiale: Miscela estrusa Colore: Nero	INNER SEMICONDUCTIVE Material: extruded compound Colour: Black
	ISOLANTE Materiale: Miscela di polietilene reticolato Colore: Naturale	INSULATION Material: polyethylene compound Colour: Natural
	SEMICONDUZIONE ESTERNO Materiale: Miscela estrusa Colore: Nero	OUTER SEMICONDUCTIVE Material: extruded compound Colour: Black
	SCERMO Tipo: Fili di rame rosso e controspirale Materiale: Rame rosso (R max 3 Ω/km)	SCREEN Type: Copper wire Colour: Copper (R max 3 Ω/km)
	GUAINA ESTERNA Materiale: PVC di qualità RZ/ST2 Colore: Rosso	OUTER SHEATH Material: PVC compound, RZ quality Colour: grey

ARE4H1RX - Elica visibile - 18/30 kV

18/30 kV Caratteristiche elettriche - electrical characteristics

Formazione Size	Capacità nominale Nominal capacity	Corrente capacitiva nominale a tensione U_0 Nominal capacitive current at voltage U_0	Reattanza di fase a 50 HZ Reactance phase 50HZ	Resistenza massima in CC del conduttore a 20°C Conductor max electrical resist. CC at 20°C	Resistenza massima in CC dello schermo a 20°C Screen max electrical resist. CC at 20°C	Resistenza massima in CA del conduttore a 90°C Conductor max electrical resist. CA at 20°C	Portata di corrente Current rating		Corrente di corto circuito del conduttore Short circuit current conductor (I _{sc})
							A	Interrato a 20° C Underground at 20° C	
n° x mm ²	mm	A/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	In aria a 30° C in air at 30° C	Rt=1m°C/W	kA
35	0.13	0.74	0.153	0.868	3.0	1.115	160	156	3.2
50	0.13	0.83	0.149	0.641	3.0	0.825	198	181	4.6
70	0.15	0.92	0.140	0.443	3.0	0.570	243	222	6.5
95	0.16	1.01	0.132	0.320	3.0	0.412	289	263	8.8
120	0.18	1.10	0.127	0.253	3.0	0.328	334	296	11.1
150	0.19	1.16	0.123	0.206	3.0	0.268	373	337	13.8
185	0.21	1.22	0.119	0.164	3.0	0.213	426	371	17.0
240	0.22	1.37	0.115	0.125	3.0	0.163	494	419	22.1
300	0.24	1.49	0.111	0.100	3.0	0.132	555	469	27.6
400	0.27	1.64	0.107	0.0778	3.0	0.103	630	526	36.8
500	0.29	1.79	0.103	0.0605	3.0	0.081	714	581	46.0
630	0.32	1.96	0.100	0.0469	3.0	0.064	793	625	58.0
3x1x35	0.13	0.74	0.153	0.868	3.0	1.115	160	156	3.2
3x1x50	0.13	0.83	0.149	0.641	3.0	0.825	198	181	4.6
3x1x70	0.15	0.92	0.140	0.443	3.0	0.570	243	222	6.5
3x1x95	0.16	1.01	0.132	0.320	3.0	0.412	289	263	8.8
3x1x120	0.18	1.10	0.127	0.253	3.0	0.328	334	296	11.1
3x1x150	0.19	1.16	0.123	0.206	3.0	0.268	373	337	13.8
3x1x185	0.21	1.22	0.119	0.164	3.0	0.213	426	371	17.0
3x1x240	0.22	1.37	0.115	0.125	3.0	0.163	494	419	22.1
3x1x300	0.24	1.49	0.111	0.100	3.0	0.132	555	469	27.6

Per i cavi con isolamento in G7 le portate di corrente sono da ritenersi più basse di 4-6 A.
For cables with insulation G7 current rating are to be considered more low 4-6 A.

5. Impianto generale di terra

L'impianto di terra da realizzare deve soddisfare le disposizioni imposte dalla normativa CEI vigente in materia. In particolare, si ricorda che l'impianto di terra è costituito dall'intero sistema di conduttori, giunzioni, dispensori al fine di assicurare alla corrente di guasto un ritorno verso terra, attraverso un percorso a bassa impedenza.

5.1. Conduttori di terra

I conduttori di terra dovranno essere realizzati con conduttori in rame isolato aventi sezioni minime, come di seguito riportato, e dovranno garantire la resistenza meccanica e alla corrosione dei conduttori di terra:

- Collegamento piastrelle di derivazione 95mmq (n°2 punti di connessione);
- Collegamento quadri elettrici 95mmq (n°2 conduttori derivati dalla sbarra di terra);
- Macchinario elettrico 16 mmq;
- Apparecchiature mobili 16mmq;
- Quadri e/Oo centralini luce 16mmq;
- Rack, cancelli, recinzioni ,incastellature metalliche 50mmq (punti di attacco ogni 20cm);
- Ponticelli di continuità (protezione scariche atmosferiche) 70mmq;
- Paline per illuminazione 16mmq;
- Trasformatori MT/BT 185mmq (n°3 punti di connessione);
- Power center 120mmq (n°3 punti di connessione);
- Quadri di media tensione 70mmq (n°2 punti di connessione);
- Altri quadri di bassa tensione e inverter 70mmq (n°2 punti di connessione)

Inoltre per il collegamento a terra dei componenti interni all'aerogeneratore e alla realizzazione dell'impianto di terra degli stessi si farà riferimenti alle specifiche tecniche fornite dal costruttore delle macchine redatte in accordo con la normativa vigente. In particolare, L'impianto di terra sarà costituito, conformemente alle prescrizioni del Cap. 9 della Norma CEI 11-1 ed alle prescrizioni della guida 11-37, da una maglia di terra realizzata con conduttori nudi in rame elettrolitico di sezione di 95 mmq per collegare l'impianto di terra della cabina con gli impianti di terra degli aerogeneratori.

5.2. Conduttori equipotenziali

Dai collettori alle apparecchiature dovranno essere realizzati i collegamenti equipotenziali, con conduttori tipo N07G9-K, aventi sezione non inferiore a quelle riportate di seguito:

- Trasformatori MT/BT 185mmq (n°2 punti di connessione al centro stella e n°1 punto di connessione alla struttura);

- Quadri MT 70mmq;
- Altri eventuali quadri BT 70mmq.

Lo schermo dei cavi a MT deve essere messo a terra ad entrambe le estremità della linea. È vietato usare lo schermo dei cavi come conduttore di terra per altre parti dell'impianto. Ai sensi della CEI 11-27 gli schermi dei cavi MT saranno sempre collegati a terra alle estremità e possibilmente nella mezzeria del tratto più lungo collegandoli alla corda di terra presente nello scavo.

5.3. Dimensionamento impianto di terra

L'impianto di terra è stato dimensionato sulla base dei seguenti input (si considera il trasformatore di potenza più alta):

- corrente di cortocircuito fase-terra al secondario del trasformatore: 45,4 kA;
- corrente di cortocircuito fase-terra al primario del trasformatore: 1,6 kA.

Assumendo che, sulla base della taratura delle protezioni MT, con tali valori di corrente interviene la protezione di massima corrente (prima soglia ritardata di 0,4 s), la sezione minima del conduttore di terra (messa a terra del neutro e del trasformatore, pari a 185 mm²) sarà data dalla relazione:

- $S = I_k \times \text{radq}(t) / K = 121,3 \text{ mm}^2$ (con $K= 228$, conduttori in rame nudo)

Per quanto riguarda i conduttori di protezione, considerando, a favore di sicurezza, che nel quadro di parallelo BT sia presente la stessa corrente di cortocircuito ai morsetti del trasformatore, la sezione minima del conduttore di protezione (scelta pari a 70 mm²) del quadro è data da:

- $S = I_k \times \text{radq}(t) / K = 42,9 \text{ mm}^2$, con t pari a 0,05 s (essendo l'intervento dell'interruttore generale senza ritardo intenzionale).

5.4. Sistema di protezione dalle sovratensioni

Al fine di proteggere l'impianto e le apparecchiature elettriche ed elettroniche ad esso collegate contro le sovratensioni di origine atmosferica (fulminazione indiretta) [pur essendo l'impianto autoprotetto] e le sovratensioni transitorie di manovra, è prevista l'installazione di appositi scaricatori di sovratensione ('SPD'). Il criterio di scelta degli SPD è basato su una protezione a più livelli che comprende una protezione primaria, una protezione di secondo livello tale da limitare la tensione residua a 2,5 kV / 1,5 kV ed una protezione fine (diretta) per gli apparati che tollerano tensioni massime inferiori a 1,5 kV. In dettaglio si avrà:

- protezione linee MT mediante celle dotate di scaricatore sulle linee entranti;

- protezione dei circuiti di potenza BT (ingresso linea dei quadri generali) mediante limitatori ad alta energia di scarica (Corrente nominale 100 kA con fronte d'onda 10/350 μ s);
- protezione dei circuiti di potenza quadri di secondo livello mediante limitatori che avranno il compito di limitare le sovratensioni a 2,5 kV / 1,5 kV (corrente nominale 20 kA con forma d'onda 8/20 μ s).
- SPD in corrispondenza degli SB;
- SPD per la specifica protezione di: apparati linee dati, apparati sensibili, linee dati, linee di segnale.

6. Sistema di monitoraggio

Una rete di fibre ottiche consentirà di monitorare il funzionamento dell'impianto eolico, sia dalla Cabina di Parallelo, sia da una postazione remota di monitoraggio e controllo che provvede normalmente alla risoluzione di oltre l'80% delle problematiche che si possono presentare nella ordinaria gestione del sito, riducendosi così sostanzialmente la necessità di interventi manutentivi e straordinari da realizzarsi in situ. Il sistema di monitoraggio e controllo a distanza (Remote Monitoring and Control – RM&C), permette di rilevare, in pochi secondi, un messaggio di avviso o di errore da parte dell'impianto. Il servizio di RM&C è attivo 24 h su 24 h per 365 giorni all'anno ed è in grado di provvedere alla risoluzione dei problemi, direttamente online quando possibile, oppure mediante interventi diretti sull'impianto da parte di tecnici.

7. Interferenze del cavidotto MT

I cavi aventi la stessa tensione nominale, possono essere posati alla stessa profondità utilizzando tubazioni distinte, ad una distanza di circa 3 volte il loro diametro. Tali prescrizioni valgono anche per incroci di cavi aventi uguale o diversa tensione nominale.

Nei parallelismi con cavi di telecomunicazione, i cavi di energia devono, di norma, essere posati alla maggior e possibile distanza, e quando vengono posati lungo la stessa strada si devono dislocare possibilmente ai lati opposti di questa. Ove, per giustificate esigenze tecniche, non sia possibile attuare quanto sopra, è ammesso posare i cavi in vicinanza, purché sia mantenuta fra i due cavi una distanza minima non inferiore a 0.30 m. Qualora detta distanza non possa essere rispettata, è necessario applicare sui cavi uno dei seguenti dispositivi di protezione:

- Cassetta metallica zincata a caldo;
- Tubazioni in acciaio zincato a caldo;
- Tubazione in materiale plastico conforme alle norme CEI.

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posto alla profondità maggiore quando la differenza di quota tra i due cavi è uguale o superiore a 0.15 m.

Le prescrizioni di cui sopra non si applicano quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la parte interessata, in appositi manufatti (tubazione, cunicoli ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi. Nel caso che i cavi siano posati nello stesso manufatto, non è

prescritta nessuna distanza minima da rispettare, purché sia evitata la possibilità di contatti meccanici diretti e siano dislocati in tubazioni diverse.

Negli incroci la distanza fra i due cavi non deve essere inferiore a 0,30 metri ed inoltre il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, mediante un dispositivo di protezione identico a quello previsto per i parallelismi. Tali dispositivi devono essere disposti simmetricamente rispetto all'altro cavo.

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non possa essere rispettato il distanziamento minimo di cui sopra, anche sul cavo sottostante deve essere applicata una protezione analogo a quella prescritta per il cavo situato superiormente.

Non è necessario osservare le prescrizioni sopraindicate quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti (tubazioni, cunicoli, ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione, senza necessità di effettuare scavi.

La distanza in proiezione orizzontale fra i cavi di energia e le tubazioni metalliche interrate, adibite al trasporto e alla distribuzione dei fluidi (acquedotti, oleodotti e simili), posate parallelamente ai cavi medesimi non deve essere inferiore a 0.30 metri.

Si può tuttavia derogare dalla prescrizione suddetta previo accordo fra gli esercenti quando la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate è superiore a 0.5 metri.

Tale differenza è compresa fra 0.30 e 0.50 metri, ma si interpongono fra le due strutture elementi separatori non metallici nei tratti in cui la tubazione non è contenuta in un manufatto di protezione non metallico.

Non devono mai essere disposti nello stesso manufatto di protezione cavi di energia e tubazioni convoglianti fluidi infiammabili; per le tubazioni adibite ad altro uso tale tipo di posa è invece consentito, previo accordo fra i soggetti interessati, purché il cavo di energia e la tubazione non siano posti a diretto contatto fra loro. Le superfici esterne di cavi di energia interrati non devono distare meno di 1 m dalle superfici esterne di serbatoi contenenti liquidi o gas infiammabili.

8. Valutazione preliminare impatto elettromagnetico

8.1. Premessa

Si premette che il progetto, nella localizzazione dell'impianto ha tenuto conto degli aspetti territoriali ed ambientali esistenti, discostandosi da aeree sottoposte a vincoli ambientali, archeologici, paesaggistici, etc.

In prossimità dell'impianto infatti non esistono aree di gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere.

L'impatto elettromagnetico dell'impianto eolico e delle infrastrutture collegate, è associato ai campi magnetici emessi dalle cabine, dagli elettrodotti interrati e aerei che collegano l'impianto eolico alla rete elettrica MT esistente.

E' possibile anticipare fin d'ora che l'uso di linee elettriche con cavo cordato a elica mitiga notevolmente le problematiche relative alle emissioni di campi magnetici. Ciò è dovuto alla compensazione delle componenti vettoriali

associate alle tre fasi della linea, per effetto della reciproca vicinanza dei cavi (che essendo isolati, possono essere accostati l'uno all'altro).

L'analisi di impatto elettromagnetico è stata effettuata utilizzando modelli di simulazione analitici che permettono una stima accurata dei valori di campo magnetico presenti nel caso reale.

Le valutazioni sono state effettuate utilizzando un principio cautelativo, ovvero assumendo le ipotesi peggiorative dal punto di vista delle emissioni da parte degli elettrodotti e cavidotti.

Nel documento sono illustrate le soluzioni da adottare per garantire il soddisfacimento dell'obiettivo di qualità per il valore di induzione magnetica lungo tutto il percorso delle linee elettriche.

Per minimizzare l'emissione da parte delle linee interrato e aeree, le tre fasi potranno essere disposte a 'trifoglio' ed avvolte ad elica. Tale configurazione permette di ridurre il valore del campo magnetico emesso rispetto alla configurazione a linee parallele. Tuttavia, non avendo a disposizione dati certi relativamente al passo dell'elica (parametro geometrico fondamentale per il calcolo del campo magnetico), si è preferito effettuare le valutazioni numeriche assumendo l'ipotesi di linee parallele. Questa ipotesi è chiaramente peggiorativa rispetto alla condizione reale e quindi cautelativi ai fini della sicurezza delle persone.

Per quanto riguarda il campo elettrico, la normativa definisce un limite di esposizione di 5 kV/m, ma non fa menzione di valori di attenzione o obiettivi di qualità per linee di media tensione. Ciò è dovuto al fatto che il campo elettrico (che è proporzionale alla tensione di esercizio) emesso da linee a media tensione (MT) è notevolmente inferiore a quello delle linee ad alta tensione (AT).

Inoltre, le linee a media tensione prevedono la schermatura dei conduttori, soluzione tecnica che introduce un'ulteriore riduzione del campo elettrico emesso, oltre alla parziale mitigazione del campo magnetico per correnti indotte sullo schermo stesso. Di conseguenza, il campo elettrico non è stato preso in considerazione, mentre per il campo magnetico si ha un ulteriore elemento favorevole alla sicurezza.

8.2. Normativa di riferimento

Le normative di riferimento applicate sono le seguenti:

- Legge 36/01
- D.P.C.M. 08/07/03
- D.M. 29/07/08

Per l'impianto in esame si applicano le prescrizioni di cui all'art. 4 del D.P.C.M. 08/04/03 che fissa per il valore dell'induzione magnetica l'obiettivo di qualità di 3 μ T in corrispondenza di aree di gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenza non inferiori a quattro ore giornaliere.

Per quanto concerne il campo elettrico il valore è fissato in 5 kV/m dall'art. 3 del D.P.C.M. 08/07/03.

8.3. Analisi computazionale

La linea elettrica durante il suo normale funzionamento genera un campo elettrico e un campo magnetico. Il primo è proporzionale alla tensione della linea stessa, mentre il secondo è proporzionale all'intensità della corrente che vi circola. Entrambi decrescono molto rapidamente con la distanza come mostrato dai grafici seguenti.

Tuttavia, nel caso di cavi interrati, la presenza dello schermo e la relativa vicinanza dei conduttori delle tre fasi elettriche rende di fatto il campo elettrico nullo ovunque. Pertanto, il rispetto della normativa vigente in corrispondenza dei recettori sensibili è sempre garantito indipendentemente dalla distanza degli stessi dall'elettrodotto.

Per quanto riguarda, invece, il campo magnetico si rileva che la maggiore vicinanza dei conduttori delle tre fasi tra di loro, rispetto alla soluzione aerea, rende il campo trascurabile già a pochi metri dall'asse dell'elettrodotto.

La linea di connessione genera, con andamento radiale rispetto ai cavi, dei campi elettromagnetici dovuti al passaggio della corrente e ad essa proporzionali. In aria, l'andamento di tale campo in funzione dalla distanza dal cavo è proporzionale all'inverso del quadrato della distanza, ossia esso diminuisce fortemente la sua intensità con l'allontanarsi dalla sorgente. La presenza di rivestimenti di isolamento e schermature metalliche ne limitano ulteriormente l'intensità. Il campo elettrico prodotto da un sistema polifase risulta associato alle cariche in gioco, e quindi alle tensioni, e quindi si presenta non appena la linea è posta in tensione, indipendentemente dal fatto che essa trasporti o meno potenza.

Il campo magnetico B è, invece, associato alla corrente trasportata dalla linea. Esso scompare quando la linea è solo "in tensione" ma non trasporta energia.

I campi elettromagnetici, in base alla loro frequenza, possono essere suddivisi in:

- onde ionizzanti (IR): onde ad alta frequenza, capaci di modificare la struttura molecolare rompendone i legami atomici (l'esempio più ricorrente è quello dei raggi X) e perciò cancerogene;
- onde non ionizzanti (NIR): su cui sono tuttora in corso numerosi studi tesi a verificare gli effetti sull'uomo. Questo tipo di onde comprende, tra le varie frequenze, le microonde, le radiofrequenze ed i campi a frequenza estremamente bassa (ELF - Extremely Low Frequency da 0 a 10 kHz). Fra questi campi a bassa frequenza (ELF) è compresa anche l'energia elettrica che è trasmessa a frequenza di 50 Hz.

Le grandezze che determinano l'intensità e la distribuzione del campo magnetico nello spazio circostante una linea interrata sono fondamentalmente:

1. intensità delle correnti di linea;
2. distanza dai conduttori;
3. isolanti, schermature e profondità di interrimento del cavo;
4. disposizione e distanza tra conduttori

Per mitigare il campo magnetico generato da una linea elettrica è necessario agire su una o più delle grandezze sopra elencate, dal momento che la schermatura mediante materiali ad alta permeabilità e/o conducibilità non è strada percorribile.

Riportando l'espressione della legge di Biot-Savart troncata al primo termine della serie per terne trifasi con conduttori disposti a triangolo (analogo discorso può essere condotto per linee unifilari, bifilari e trifase con conduttori in piano) appare evidente quale sia l'influenza dei diversi fattori elencati sopra:

$$B_{(\mu T)} = 0,1 \times \sqrt{6} \times \frac{I}{D} \times \frac{S}{D}$$

Dove:

- I è l'intensità di corrente in [A];
- D è la distanza dalla sorgente di campo magnetico in [m].

Il campo magnetico è direttamente proporzionale all'intensità di corrente e inversamente proporzionale alla distanza dalla sorgente.

Il quarto fattore, entra in gioco perché il sistema di trasmissione è di tipo trifase, cioè composto da una terna di correnti di uguale intensità ma sfasate nel tempo. Dal momento che il campo magnetico, in ogni punto dello spazio circostante, è il risultato della composizione vettoriale dei contributi delle singole correnti alternate, ne deriva un effetto di mutua compensazione di tali contributi tanto maggiore quanto più vicine tra loro sono le sorgenti, fino ad avere una compensazione totale se le tre correnti fossero perfettamente concentriche.

Per le linee aeree, la distanza minima tra i conduttori è limitata alla necessaria distanza tra le fasi e dipende dalla tensione di esercizio, mentre per le linee in cavo tale distanza può essere dell'ordine di 20-30 cm con un abbattimento sostanziale del campo magnetico già a poca distanza.

Come avviene ormai sempre più di frequente, le linee di Media Tensione non vengono più realizzate mediante linea aerea, ma vengono interrate consentendo così di ridurre drasticamente l'effetto dovuto ai campi elettromagnetici attenuati dal terreno che agisce da "schermatura naturale", abbassando l'intensità di tali emissioni a valori addirittura inferiori ai più comuni elettrodomestici di uso quotidiano. Il calcolo è stato effettuato in aderenza alla Norma CEI 211-4.

Si elencano qui di seguito i calcoli effettuati, considerando che per la DPA si è utilizzata la formula riportata nel D.M. 29.05.08, mentre per il calcolo di B, R' e R₀ le formule previste nella guida CEI:

- $DPA = \sqrt{I} * 0,40942 * x^{0,5241}$ con x diametro esterno dei cavi, I la corrente transitante e DPA la distanza di prima approssimazione, che si determina soltanto con la portata dei cavi (valore massimo di I).
- $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$
- $B = 0,1 * \sqrt{6} * \frac{S * I}{R^2}$
- $R' = 0,286 * \sqrt{S * I}$ [m]
- $R_0 = \sqrt{0,082 * S * I - d^2}$ [m]

Secondo le leggi fisiche dell'elettromagnetismo, l'induzione magnetica B, il campo magnetico H e la corrente I, sono collegate tra loro dalle seguenti espressioni:

$$B = \mu \cdot H ; I = H \cdot \frac{L}{N}$$

essendo

- B = induzione magnetica [Tesla]
- μ = permeabilità magnetica [Henry/spire²·m]
- H = campo magnetico [Amperespire/m]
- I = Corrente [A]
- L = lunghezza della spira [m]
- N = numero di conduttori

Essendo inoltre in presenza di materiali diamagnetici o paramagnetici, si può ipotizzare che la permeabilità magnetica $\mu \cong \mu_0$ permeabilità del vuoto e pertanto la si può ritenere nota e costante.

In questa ipotesi le superiori equazioni permettono di scrivere che: $I = kB$ dove k è una costante e pertanto si può ipotizzare lineare la curva di $B = f(I)$

In funzione dei valori di induzione magnetica ipotizzati e delle correnti ipotizzate, si possono calcolare, in prima approssimazione, i valori sul campo dell'induzione: in funzione della massima corrente prevista nei cavi.

8.4. Risultati valutazione elettromagnetica e calcolo DPA

Per l'impianto sono state individuate cinque tipologie di possibili sorgenti emmissive, per le quali sono state calcolate le DPA e valutati i campi elettrici e magnetici generati:

- Aerogeneratori, di tipo CAN A e di tipo CAN B (con riferimento ai trasformatori innalzatori posti nelle navicelle);
- Cavidotti MT omogenei di connessione per i collegamenti interni tra gli aerogeneratori, tra gli aerogeneratori e la Cabina di Parallelo e tra questa e la Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV;
- Trasformatori MT/BT per i servizi ausiliari, posti nella cabina a base torre di ciascun aerogeneratore e nella Cabina di Parallelo;
- Trasformatore 30/36kV, posto in Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV;
- Cavidotto 36kV di collegamento tra la Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV e lo stallo a 36kV della Stazione Elettrica 220kV della Rete di Trasmissione Nazionale di nuova realizzazione.

Di seguito si riportano i risultati delle calcolazioni:

- Per i trasformatori innalzatori MT/BT posti nelle navicelle degli aerogeneratori si sono ottenute delle distanze di prima approssimazione (DPA) pari a 6 m per gli aerogeneratori di tipo CAN A e 6,5m per gli aerogeneratori di tipo CAN B.

- Per i trasformatori MT/BT dei servizi ausiliari contenuti nelle cabine a base torre di ciascuna aerogeneratore e nella Cabina di Parallelo si è ottenuto come distanza di prima approssimazione un valore di 0,5m a partire dalle pareti della cabina.
- Per le linee elettriche, sia interrate che aeree, considerando che questi saranno di tipo a elica visibile, per le loro particolarità costruttive, ossia ridotta distanza tra le fasi e per la loro continua trasposizione dovuta alla cordatura, il campo di induzione magnetica prodotto risulta notevolmente inferiore a quello prodotto da cavi analoghi posati in piano o a trifoglio. Inoltre, in virtù delle metodologie di calcolo approvate dal D.M. 29/05/2008, si fa esplicito riferimento al caso in questione come un caso per il quale non è richiesto alcun calcolo delle fasce di rispetto. Si precisa, inoltre, che il valore dell'induzione elettromagnetica è comunque sempre $\ll 3\mu T$, che è l'obiettivo di qualità, in qualsiasi zona dell'impianto.

Ad ogni modo sono stati svolti i calcoli per ogni singolo tratto di cavidotto MT interrato ottenendo delle DPA che variano da un minimo di 2 metri per le connessioni tra gli aerogeneratori ad un massimo di 4 metri per cavidotto di collegamento tra la Cabina di Parallelo e la Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV.

- Per i due trasformatori 30/36kV posti nell'area Cabine di Trasformazione Utente 30/36kV, i calcoli sono stati condotti riferimento alla "Linea Guida per l'applicazione del § 5.1.3 dell'Allegato al DM 29.05.08: Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche, ottenendo una distanza di prima approssimazione pari a 7m.
- Per il cavidotto 36kV di collegamento tra la Cabina di Trasformazione Utente 30/36kV e la SE della RTN di nuova realizzazione è stata ottenuta una DPA pari a 2,5m.

In conclusione, dalle verifiche eseguite si può affermare che l'impianto eolico sito nei comuni di Calatafimi Segesta (TP) e Gibellina (TP) è stato dimensionato in modo da essere conforme ai contenuti di cui all'art. 4 del D.P.C.M del 08/07/03 (G.U. n.200 del 29/08/2003) e del D.M. 29/05/08 ed è stato progettato nel pieno rispetto dei contenuti di cui all'art.6 del richiamato decreto.

Pertanto ai sensi dell'art. 5.1.3 del D.M. 29/05/08, l'analisi del campo magnetico si esaurisce a questo livello essendo anche certi che il campo elettrico è sempre $\ll 5 \text{ kV/m}$ così come fissato dall'art. 3 del D.P.C.M. 08/07/03.

Per maggiori dettagli circa la valutazione delle emissioni elettromagnetiche e delle DPA si faccia riferimento agli elaborati di progetto "Rel.16 Relazione Campi Elettromagnetici" e "Tav.27 DPA su Ortofoto".