



REGIONE SICILIA

REGIONE SICILIANA

PROVINCIA DI TRAPANI

COMUNE DI MARSALA



PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56,00 MW DENOMINATO "Marsa-Allah"



PROGETTO DEFINITIVO

| COMMESSA | FASE | ELABORATO | REV. |
|----------|------|-----------|------|
| MRS | PD | E_14 | 0 |

| ELABORATO | | | | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | SCALA |
|---------------|-----------------|---------|------------|--|-------|
| Novembre 2021 | Prima emissione | GB | MD | LG | |
| DATA | DESCRIZIONE | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO | |

Richiedente

GRV WIND SICILIA 2 S.r.l.

Sede Legale: Via Durini 9, 20122 Milano

PEC: grwindsicilia2@legalmail.it

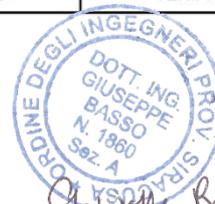
Cod. Fisc. e P.IVA 11643110965



Progettazione



Sede legale: via Sabotino, 8 - 96013 Carlentini (SR)
Uffici: via Jonica, 6 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR)
web: www.antexgroup.it



Il Tecnico



Responsabile Tecnico
Arch. Luigi Giocondo

| | | | |
|---|---|--|-------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> |  <i>Ingegneria & Innovazione</i> | |
| | 11/2021 | REV: 0 | Pag.2 |

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. Premessa..... | 3 |
| 1.1. Iniziativa | 3 |
| 1.2. Attenzione per l'ambiente | 4 |
| 2. Dati generali del progetto..... | 4 |
| 3. Scopo | 4 |
| 4. Dimensionamento dei cavi in funzione delle condizioni di posa..... | 5 |
| 5. Specifiche Tecniche Cavi in Alluminio MT - ARG7H1RNR – 18/30 kV..... | 7 |
| 6. Determinazione delle potenze/correnti di cortocircuito..... | 11 |
| 7. Dimensionamento dei cavi in funzione delle sollecitazioni termiche di cortocircuito..... | 12 |
| 8. Dimensionamento dei cavi in funzione della caduta di tensione..... | 14 |
| 9. Dimensionamento dei cavi in funzione della temperatura di funzionamento..... | 15 |
| 10. Linee MT in cavo interrato – Attraversamenti di canali | 16 |
| 11. Linee MT in cavo interrato – Distanze di rispetto da impianti e opere interferenti..... | 16 |
| 12. Dimensionamento quadri MT..... | 16 |
| 13. Rete di terra..... | 17 |
| 13.1. Dimensionamento termico del dispersore | 18 |
| 13.1.1. Tensioni di contatto e di passo | 18 |
| 13.2. Rete di terra aerogeneratori..... | 18 |
| 13.3. Rete di terra connessione aerogeneratori..... | 19 |
| 13.4. Rete di terra cabina di consegna | 19 |
| 14. Riferimenti legislativi e normativi | 20 |

| | | | |
|---|--|---|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  Ingegneria & Innovazione | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 |

1. Premessa

Per conto della società proponente, GRV Wind Sicilia 2 S.r.l, per incarico del responsabile tecnico arch. Luigi Giocondo, la società Antex Group Srl ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico nel comune di Marsala, nella provincia di Trapani.

Il progetto prevede l'installazione di n. 10 nuovi aerogeneratori nei terreni del Comune di Marsala, C.da Messinello, con potenza unitaria di 5,6 MW, per una potenza complessiva di impianto di 56 MW.

Gli aerogeneratori saranno collegati alla nuova Stazione di trasformazione Utente, posta nel Comune di Marsala, tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 30 kV.

La stazione di trasformazione utente riceverà l'energia proveniente dall'impianto eolico a 30 kV e la eleverà alla tensione di 220 kV.

Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 220 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) di smistamento a 220 kV della RTN, da inserire in entra-esce alla linea RTN 220 kV "Partanna 2". Detta stazione sarà inoltre collegata, tramite un nuovo elettrodotto a 220 kV di collegamento della RTN con la stazione 220 kV di Partanna, previo ampliamento della stessa. Lo stallo in stazione sarà condiviso con altri impianti di produzione.

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl, su mandato del Responsabile Tecnico del proponente.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali e gestionali.

Sia Antex che GRV Wind Sicilia 2 S.r.l. pongono a fondamento delle attività e delle proprie iniziative, i principi della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

Difatti, in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti e fornitori, le Aziende citate posseggono un proprio Sistema di Gestione Integrato Qualità-Sicurezza-Ambiente.

1.1. Iniziativa

Il progetto cui la presente relazione fa riferimento, riguarda la realizzazione di un impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica, che consta di n. 10 aerogeneratori, di potenza pari a 5,6 MW ciascuno, per un totale di 56 MW, delle piazzole a servizio degli stessi e delle opere elettriche utente e di connessione alla RTN.

Con la realizzazione dell'impianto, denominato "Marsa-Allah", si intende conseguire un significativo risparmio energetico, mediante il ricorso alla fonte energetica rinnovabile rappresentata dal vento, tale tecnologia nasce dall'esigenza di coniugare:

- ✓ la compatibilità con esigenze paesaggistiche e di tutela ambientale;
- ✓ nessun inquinamento acustico;
- ✓ un risparmio di combustibile fossile;
- ✓ una produzione di energia elettrica senza emissioni di sostanze inquinanti.

| | | | |
|---|--|--|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  <i>Ingegneria & Innovazione</i> | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 |

Il progetto mira a contribuire al soddisfacimento delle esigenze di "Energia Verde" e allo "Sviluppo Sostenibile" invocate dal Protocollo di Kyoto, dalla Conferenza sul clima e l'ambiente di Copenaghen 2009 e dalla Conferenza sul clima di Parigi del 2015.

1.2. Attenzione per l'ambiente

Ad oggi, la produzione di energia elettrica è per la quasi totalità proveniente da impianti termoelettrici che utilizzano combustibili sostanzialmente di origine fossile. L'Italia non possiede riserve significative di fonti fossili, ma da esse ricava circa il 90% dell'energia che consuma, con una rilevante dipendenza dall'estero.

I costi della bolletta energetica, già alti, per l'aumento della domanda internazionale rischiano di diventare insostenibili per la nostra economia con le sanzioni previste in caso di mancato rispetto degli impegni di Kyoto, Copenaghen e Parigi. La transizione verso un mix di fonti di energia e con un peso sempre maggiore di rinnovabili è, pertanto, strategica per un Paese come il nostro dove, tuttavia, le risorse idrauliche e geotermiche sono già sfruttate appieno.

Negli ultimi 10 anni grazie agli incentivi sulle fonti rinnovabili lo sviluppo delle energie verdi nel nostro paese ha subito un notevole incremento soprattutto nel fotovoltaico e nell'eolico, portando l'Italia tra i paesi più sviluppati dal punto di vista dell'innovazione energetica e ambientale. La conclusione di detti incentivi ha frenato lo sviluppo soprattutto dell'eolico, creando notevoli problemi all'economia del settore.

La società proponente GRV Wind Sicilia 2 S.r.l. con sede a Milano in via Durini n. 9 si pone come obiettivo di attuare la "grid parity" nell'eolico, grazie all'installazione di impianti di elevata potenza, nuovi aerogeneratori, che abbattano i costi fissi e rendono l'energia prodotta dell'eolico conveniente e sullo stesso livello delle energie prodotte dalle fonti fossili.

2. Dati generali del progetto

L'installazione dei 10 aerogeneratori è previsto nel Comune di Marsala, la sottostazione elettrica utente di trasformazione sarà realizzata anch'essa nel Comune di Marsala così come la stazione elettrica di connessione alla RTN denominata SE-Partanna-2 di TERNA.

Il progetto prevede l'adeguamento di tratti di strada esistenti, in particolare di strade comunali e la realizzazione di nuova viabilità a servizio degli aerogeneratori di progetto, ossia di una rete viaria interna al parco che si snoderà seguendo lo sviluppo degli esistenti tratturi non vincolati.

Tale progetto prevede, inoltre, la realizzazione di cavidotti d'interconnessione fra le macchine di progetto e di vettoriamento fino alla sottostazione elettrica utente di trasformazione, prevista nel Comune di Marsala.

Sia i cavidotti d'interconnessione (cavidotti interni) fra gli aerogeneratori che i cavidotti di vettoriamento (esterno) seguiranno un tracciato interrato, ricadente nei territori comunali di Marsala (TP).

3. Scopo

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento dei cavi in media tensione da utilizzare nell'impianto eolico "Marsa-Allah" sito nei territori del comune di Marsala (TP).

| | | | | |
|---|--|---|--------|-------|
|  | PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" |  Ingegneria & Innovazione | | |
| | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | 11/2021 | REV: 0 | Pag.5 |

4. Dimensionamento dei cavi in funzione delle condizioni di posa

La Norma CEI UNEL 35027 - "Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV - Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata", fornisce le portate in corrente dei cavi unificati MT in funzione delle condizioni di posa in terra ed in aria.

Per cavi interrati di queste categorie di tensioni viene fornita la portata in corrente di riferimento I_0 nelle seguenti condizioni:

- T_a temperatura ambiente 20 °C;
- Profondità di posa 1,0 m;
- R_t resistività termica media radiale del terreno 2,0 k*m/W;
- Connessione schermi metallici in cortocircuito e a terra ad entrambe le estremità (solid bonding).

Per condizioni diverse viene fornita poi la seguente formula correttiva:

$$I_z = I_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4$$

Dove:

- I_z portata in corrente nelle condizioni in esame;
- I_0 portata in corrente nelle condizioni di riferimento;
- K_1 fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C;
- K_2 fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano;
- K_3 fattore di correzione per profondità di interramento diverse da 0,8 m;
- K_4 fattore di correzione per resistività termica del terreno diversa da 1,5 k*m/W.

Le condizioni di posa dei cavi MT impiegati nel progetto in oggetto differiscono dalle condizioni di riferimento poiché:

- La profondità di interramento è pari a 1,0 m: $K_3 = 0,98$

Tab. IV **Fattori di correzione per differenti valori di profondità di posa**

| | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| Profondità di posa (m) | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| Fattore di correzione | 1,02 | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,94 |

- È stata considerata una resistività termica del terreno pari a 2 k*m/W (terreno secco): $K_4 = 0,90$

Tab. V **Fattori di correzione per differenti valori di resistività termica del terreno**

| Cavi unipolari | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| Resistività del terreno (K*m/W) | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 2,5 |
| Fattore di correzione | 1,08 | 1,05 | 1,00 | 0,90 | 0,82 |

- È stato considerato il caso peggiore di raggruppamento dei circuiti presenti nello stesso strato (in questo progetto) 2 circuiti nello stesso strato distanziati tra loro 25 cm: $K_2 = 0,90$

| | | | | |
|---|--|--|--------|-------|
|  | PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" |  Antex group Ingegneria & Innovazione | | |
| | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | 11/2021 | REV: 0 | Pag.6 |

Tab. III **Fattori di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano**

| Numero di cavi | DISTANZA FRA I CIRCUITI ^(a) (m) | | | |
|-------------------|--|------|------|------|
| | a contatto | 0,25 | 0,5 | 1 |
| 2 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 0,95 |
| 3 | 0,75 | 0,85 | 0,90 | 0,95 |
| 4 | 0,70 | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| 5 | 0,65 | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| 6 | 0,60 | 0,80 | 0,80 | 0,90 |

- Resta invariata la temperatura del terreno pari a 20 °C: $K_1 = 1$

Pertanto la formula diventa:

$$I_z = I_0 * 1 * 0,90 * 0,98 * 0,90 = I_0 * 0,7938$$

Si riporta di seguito la tabella delle portate in corrente dei cavi scelti alle condizioni di riferimento e alle condizioni operative impiegate nel progetto.

Valori di I_0 alle condizioni di riferimento:

| Sezione nominale [mmq] | Portata [A] (Trifoglio) | Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km] | Reattanza di fase [Ohm/km] | Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km] |
|---------------------------|----------------------------|--|-------------------------------|--|
| 120 | 281 | 0,3250 | 0,13 | 0,35 |
| 150 | 318 | 0,2650 | 0,12 | 0,29 |
| 185 | 361 | 0,2110 | 0,12 | 0,24 |
| 240 | 418 | 0,161 | 0,11 | 0,19 |
| 300 | 472 | 0,13 | 0,11 | 0,17 |
| 400 | 543 | 0,102 | 0,11 | 0,15 |
| 500 | 621 | 0,0801 | 0,1 | 0,13 |
| 630 | 706 | 0,0635 | 0,099 | 0,12 |

Valori di I_z alle condizioni operative, (applicando i coefficienti correttivi):

| Sezione nominale [mmq] | Portata [A] (Trifoglio) | Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km] | Reattanza di fase [Ohm/km] | Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km] |
|---------------------------|----------------------------|--|-------------------------------|--|
| 120 | 223,06 | 0,3250 | 0,13 | 0,35 |
| 150 | 252,43 | 0,2650 | 0,12 | 0,29 |
| 185 | 286,56 | 0,2110 | 0,12 | 0,24 |
| 240 | 331,81 | 0,1610 | 0,11 | 0,19 |
| 300 | 374,67 | 0,1300 | 0,11 | 0,17 |
| 400 | 431,03 | 0,1020 | 0,11 | 0,15 |
| 500 | 492,95 | 0,0801 | 0,1 | 0,13 |
| 630 | 560,42 | 0,0635 | 0,099 | 0,12 |

| | | | |
|---|--|--|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  <i>Ingegneria & Innovazione</i> | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 |

5. Specifiche Tecniche Cavi in Alluminio MT - ARG7H1RNR – 18/30 kV

La Norma CEI 20-13 "Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV" definisce le principali regole costruttive per i cavi isolati con gomme di qualità G5 e G7 a base di elastomeri etilenpropilenici e stabilisce le prescrizioni di prova a cui devono rispondere nel collaudo. Il paragrafo 4.1.02 "Portate di corrente" afferma che per le portate in regime permanente si deve fare riferimento alla Norma CEI 20-21 "Calcolo delle portate dei cavi elettrici in regime permanente (fattore di carico 100%)" e alle tabelle CEI-UNEL 35027 (nel nostro caso). La Norma CEI-UNEL 35027 è ricavata dalla serie di Norme CEI 20-21 (recepimento della Norma IEC 60287 - serie) ed incorpora la revisione dei valori delle portate in corrente citate nelle Norme CEI. Poiché la sezione massima dei conduttori citata in questa Norma è di 300 mm² (cavi in Cu e Al), per i valori di portata in corrente in regime permanente di cavi di dimensioni superiori rimanda alle specifiche tecniche rilasciate dai costruttori per i cavi costruiti in conformità alla CEI 20-13.

ARG7H1RNR-12/20 kV ÷ 18/30 kV

ARG7H1RNRX-12/20 kV ÷ 18/30 kV

Costruzione, requisiti elettrici,
fisici e meccanici:

CEI 20-13

IEC 60502

EN 60228

Non propagazione della fiamma: EN 60332-1-2

Non propagazione dell'incendio: CEI 20-22 III



ARG7H1RNR / Descrizione

- Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore interno: estruso
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guainetta: PVC
- Armatura: due nastri di alluminio, avvolti a coprigiunto
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

ARG7H1RNRX / Descrizione

- Cavi tripolari precordati, isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore interno: estruso
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guainetta: PVC
- Armatura: due nastri di alluminio, avvolti a coprigiunto
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

Marcatura

Pb free LA TRIVENETA CAVI ARG7H1RNR [tens. nominale] [form.] [anno] [ordine] [metrica]

Pb free LA TRIVENETA CAVI ARG7H1RNRX [tens. nominale] [form.] [anno] [ordine] [metrica] FASE 1/2/3

Caratteristiche funzionali

- Tensione nominale di esercizio
ARG7H1RNR(X) - 12/20 kV: U_o/U 12/20 kV
ARG7H1RNR(X) - 18/30 kV: U_o/U 18/30 kV
- Tensione U max:
ARG7H1RNR(X) - 12/20 kV: U_m 24 kV
ARG7H1RNR(X) - 18/30 kV: U_m 36 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C

ARG7H1RNR / Condizioni di posa

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 14 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm² di sezione del conduttore

ARG7H1RNRX / Condizioni di posa

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 10 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm² di sezione del rame

Impiego e tipo di posa

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale.

Ammissa la posa interrata anche non protetta, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

ARG7H1RNR - 18/30 kV

U₀/U: 18/30 kV

U max: 36 kV

Caratteristiche tecniche

| Formazione | Ø indicativo conduttore | Spessore medio isolante | Ø esterno max | Peso indicativo cavo | Portata di corrente A | | | |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|----------|-------------|----------|
| | | | | | in aria | | interrato* | |
| n° x mm ² | mm | mm | mm | kg/km | a trifoglio | in piano | a trifoglio | in piano |
| 1 x 50 | 8,2 | 8,0 | 36,1 | 1600 | 174 | 183 | 168 | 177 |
| 1 x 70 | 9,8 | 8,0 | 38,2 | 1795 | 218 | 229 | 207 | 218 |
| 1 x 95 | 11,45 | 8,0 | 39,7 | 1960 | 266 | 280 | 247 | 260 |
| 1 x 120 | 12,9 | 8,0 | 42,4 | 2245 | 309 | 325 | 281 | 296 |
| 1 x 150 | 14,2 | 8,0 | 43,7 | 2405 | 352 | 371 | 318 | 335 |
| 1 x 185 | 16,0 | 8,0 | 45,7 | 2625 | 406 | 427 | 361 | 380 |
| 1 x 240 | 18,4 | 8,0 | 48,3 | 2985 | 483 | 508 | 418 | 440 |
| 1 x 300 | 20,5 | 8,0 | 51,8 | 3345 | 547 | 576 | 472 | 497 |
| 1 x 400 | 23,6 | 8,0 | 55,2 | 4005 | 640 | 674 | 543 | 572 |
| 1 x 500 | 26,55 | 8,0 | 58,35 | 4440 | 740 | 779 | 621 | 654 |
| 1 x 630 | 30,1 | 8,0 | 62,8 | 5135 | 862 | 907 | 706 | 743 |

(*) I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:

- Resistività termica del terreno: 1 K-mW
- Temperatura ambiente 20°C
- profondità di posa: 0,8 m

Caratteristiche elettriche

| Formazione | Resistenza elettrica a 20°C | Resistenza apparente a 90°C e 50Hz | | Reattanza di fase | | Capacità a 50Hz |
|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|
| | | Ω/km | | Ω/Km | | |
| n° x mm ² | Ω/Km | a trifoglio | in piano | a trifoglio | in piano | μF/km |
| 1 x 50 | 0,641 | 0,822 | 0,822 | 0,15 | 0,20 | 0,15 |
| 1 x 70 | 0,443 | 0,568 | 0,568 | 0,14 | 0,20 | 0,16 |
| 1 x 95 | 0,320 | 0,411 | 0,411 | 0,13 | 0,19 | 0,18 |
| 1 x 120 | 0,253 | 0,325 | 0,325 | 0,13 | 0,18 | 0,19 |
| 1 x 150 | 0,206 | 0,265 | 0,265 | 0,12 | 0,18 | 0,20 |
| 1 x 185 | 0,164 | 0,211 | 0,211 | 0,12 | 0,12 | 0,22 |
| 1 x 240 | 0,125 | 0,161 | 0,161 | 0,11 | 0,17 | 0,24 |
| 1 x 300 | 0,100 | 0,130 | 0,129 | 0,11 | 0,17 | 0,27 |
| 1 x 400 | 0,0778 | 0,102 | 0,101 | 0,11 | 0,16 | 0,29 |
| 1 x 500 | 0,0605 | 0,0801 | 0,0794 | 0,10 | 0,16 | 0,32 |
| 1 x 630 | 0,0469 | 0,0635 | 0,0625 | 0,099 | 0,16 | 0,36 |

| | | | |
|---|---|---|--------|
|  | PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" |  Ingegneria & Innovazione | |
| | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | 11/2021 | REV: 0 |

6. Determinazione delle potenze/correnti di cortocircuito

Per calcolare la potenza di cortocircuito in un punto dell'impianto, si può fare l'ipotesi che la resistenza sia trascurabile rispetto alla reattanza, perché solitamente il rapporto reattanza/resistenza di una rete di distribuzione (fino alle sbarre) è superiore a sette. In pratica, l'impedenza si può ritenere coincidente con la reattanza:

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} = \sqrt{((X/7)^2 + X^2)} = \sqrt{[(X^2/49) + X^2]} = 1,01 * X \sim X$$

Questo consente, in questa fase preliminare, di calcolare la potenza di cortocircuito di un sistema elettrico costituito da n elementi in serie (generatori, linee, trasformatori) le cui potenza di cortocircuito siano P_1, P_2, \dots, P_n .

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (P_{cc}) vale:

$$P_{cc} = \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- U_n è la tensione nominale (concatenata);
- I_{cc} è la corrente di cortocircuito trifase.

D'altra parte, nell'ipotesi $X \sim Z$ si ha:

$$I_{cc} = E/X$$

Dove $E = U_n/\sqrt{3}$ è la tensione di fase:

$$I_{cc} = U_n/\sqrt{3} * X$$

Si ottiene dunque:

$$P_{cc} = \sqrt{3} * U_n * U_n/\sqrt{3} * X = U_n^2/X$$

La potenza di cortocircuito di un sistema a tensione U composto da n elementi in serie aventi reattanze X_1, X_2, \dots, X_n è:

$$P_{cc} = U_n^2 / (X_1 + X_2 + \dots + X_n)$$

Poiché, la reattanza X_i del generico elemento del sistema elettrico con potenza di cortocircuito P_i vale:

$$X_i = U_n^2 / P_i$$

Dunque:

$$P_{cc} = U_n^2 / (U_n^2 / P_1 + U_n^2 / P_2 + \dots + U_n^2 / P_n) = 1 / [(1/P_1) + (1/P_2) + \dots + (1/P_n)]$$

Potenza di cortocircuito della rete AT:

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (P_r) della rete AT è la potenza espressa in MVA, che si ottiene dalla corrente di cortocircuito simmetrica trifase (I_{cc}) alla tensione nominale della rete (U_n):

$$P_r = c * \sqrt{3} * U_n * I_{cc}$$

Dove:

- c coefficiente di margine indicato dalla Norma CEI per le reti AT e MT, che tiene conto del possibile aumento della tensione in rete (valore = 1,1).
- $U_n = 220$ kV
- $I_{cc} = 40$ kA

Pertanto:

$$P_r = 1,1 * \sqrt{3} * 220 * 40 = 16766,25 \text{ MVA}$$

Potenza di cortocircuito di un trasformatore:

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (P_{tr}) di un trasformatore è:

| | | | |
|---|--|---|--------|
|  | PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" |  Ingegneria & Innovazione | |
| | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | 11/2021 | REV: 0 |

$$P_{tr} = 100 * P/u_{cc}$$

Dove:

- P è la potenza nominale del trasformatore
- u_{cc} è la tensione di cortocircuito percentuale

La potenza di cortocircuito del trasformatore 220/30 kV da 66 MVA con $u_{cc} = 13,0\%$ è pari a:

$$P_{tr/40} = 100 * 66/13,0 = 507,7 \text{ MVA}$$

La potenza di cortocircuito del trasformatore 30/0,75 kV da 6,35 MVA con $u_{cc} = 8\%$ presente negli aerogeneratori vale:

$$P_{tr/6,35} = 100 * 6,35/8 = 79,375 \text{ MVA}$$

Potenza di cortocircuito di un generatore:

La potenza (apparente) di cortocircuito trifase (P_G) di un generatore è:

$$P_G = 100 * P/X_d''$$

Dove:

- P è la potenza nominale del generatore, 5,6 MVA
- X_d'' è la reattanza sub-transitoria diretta, (valore tipico pari 15%)

Quindi:

$$P_G = 100 * 5,6/15 = 37,33 \text{ MVA}$$

Potenza di cortocircuito massima alle sbarre 30kV dei QMT

La potenza di cortocircuito massima alle sbarre 30kV è data da:

$$P_{cc/A} = \{1/[(1/P_r)+(1/P_{tr/66})]\} + \{1/[(1/P_{tr/6,35})+(1/P_G)]\} * 10 = \\ = \{1/[(1/16766,25)+(1/507,7)]\} + \{1/[(1/79,375)+(1/37,33)]\} * 10 = 746,67 \text{ MVA}$$

La corrente di cortocircuito massima alle sbarre 30kV (punto A) vale:

$$I_{cc/A} = P_{cc/A} / (\sqrt{3} * U_n) = 746,67 / (\sqrt{3} * 30) = 14,37 \text{ kA}$$

Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi (e delle apparecchiature MT). Poiché i valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature MT sono: 12,5, 16, 20, 25 kA, si è scelto un valore di I_{cc} pari a 16 kA.

7. Dimensionamento dei cavi in funzione delle sollecitazioni termiche di cortocircuito

La Norma CEI 11-17 al paragrafo 2.2.02 definisce le modalità di calcolo per la scelta del conduttore in relazioni a condizioni di sovracorrente. La scelta è fatta in modo tale che la temperatura del 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.

Considerata la sovracorrente praticamente costante e il fenomeno termico sia di breve durata (cortocircuito) in modo da potersi considerare di puro accumulo (regime adiabatico), la sezione del conduttore può determinarsi mediante la seguente relazione:

$$K^2 S^2 \geq (I^2 t)$$

Dove:

- S è la sezione del conduttore in mm^2 ;

- I è la corrente di cortocircuito, pari a 14,37 kA (valore precedentemente calcolato);
- t è la durata della corrente di cortocircuito, pari a 0,5 s (coincide con il tempo di eliminazione del guasto stabilito dal progettista)
- K costante termica del cavo scelto, (K = 92).

I valori del coefficiente K sono riportati nella seguente tabella per conduttori di rame e di alluminio in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito.

Tab. 2.2.02 **Valori del coefficiente K in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito per conduttori di rame e di alluminio**

| | Temperatura iniziale θ_0 (°C) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Temperatura finale θ_{cc} (°C) | | | | | |
| | | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 250 |
| Conduttori di rame | 130 | 37 | 64 | 81 | 95 | 106 | 120 |
| | 120 | 53 | 74 | 89 | 102 | 113 | 126 |
| | 110 | 65 | 83 | 97 | 109 | 119 | 132 |
| | 100 | 76 | 92 | 105 | 116 | 125 | 138 |
| | 90 | 86 | 100 | 112 | 122 | 131 | 143 |
| | 85 | 90 | 104 | 115 | 125 | 134 | 146 |
| | 80 | 94 | 108 | 119 | 129 | 137 | 149 |
| | 75 | 99 | 111 | 122 | 132 | 140 | 151 |
| | 70 | 103 | 115 | 125 | 135 | 143 | 154 |
| | 65 | 107 | 119 | 129 | 138 | 146 | 157 |
| | 60 | 111 | 122 | 132 | 141 | 149 | 160 |
| | 50 | 118 | 129 | 139 | 147 | 155 | 165 |
| | 40 | 126 | 136 | 145 | 153 | 161 | 170 |
| 30 | 133 | 143 | 152 | 159 | 166 | 176 | |
| 20 | 141 | 150 | 158 | 165 | 172 | 181 | |
| Conduttori di alluminio | 130 | 24 | 41 | 52 | 61 | 68 | 78 |
| | 120 | 34 | 48 | 58 | 66 | 73 | 81 |
| | 110 | 42 | 54 | 63 | 70 | 77 | 85 |
| | 100 | 49 | 59 | 67 | 75 | 81 | 89 |
| | 90 | 55 | 64 | 72 | 79 | 85 | 92 |
| | 85 | 58 | 67 | 74 | 81 | 86 | 94 |
| | 80 | 61 | 69 | 77 | 83 | 88 | 96 |
| | 75 | 64 | 72 | 79 | 85 | 90 | 98 |
| | 70 | 66 | 74 | 81 | 87 | 92 | 99 |
| | 65 | 69 | 76 | 83 | 89 | 94 | 101 |
| | 60 | 72 | 79 | 85 | 91 | 96 | 103 |
| | 50 | 77 | 83 | 90 | 95 | 100 | 105 |
| | 40 | 81 | 88 | 94 | 99 | 104 | 110 |
| 30 | 86 | 92 | 98 | 103 | 107 | 114 | |
| 20 | 91 | 97 | 102 | 107 | 111 | 117 | |

Così come indicato nella Norma CEI 11-17, la temperatura iniziale del conduttore si assume uguale a quella massima ammissibile in regime permanente (massima temperatura di servizio) e la temperatura finale di cortocircuito si assume uguale a quella massima di cortocircuito per i diversi isolanti.

Nel nostro caso verranno impiegati cavi in Alluminio ARG7H1RNR – 18/30 kV con isolante in gomma HEPR di qualità G7 aventi massima temperatura di servizio pari a 90 °C e massima temperatura di cortocircuito pari a 250 °C. Pertanto con tali valori di temperatura si ricava il valore della costante termica K che è pari a 92. Risolvendo la relazione precedente per S:

$$S = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [14,37 * \sqrt{(0,5)}] / 92 = 110,4 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 120 mm².

| | | | |
|---|--|---|--------|
|  | PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" |  Ingegneria & Innovazione | |
| | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | 11/2021 | REV: 0 |

8. Dimensionamento dei cavi in funzione della caduta di tensione

Il fenomeno di abbassamento di tensione tra due punti, uno a monte e l'altro a valle, in una rete elettrica di distribuzione, viene denominato caduta di tensione. In tutti gli impianti elettrici occorre valutare che la differenza tra la tensione del punto d'origine dell'alimentazione e la tensione all'utilizzatore d'energia sia adeguatamente contenuta, nei limiti normativi e nei limiti di funzionamento delle apparecchiature utilizzatrici.

Un'eccessiva differenza tra i due valori nuoce al funzionamento ed al rendimento degli impianti, inoltre elevate differenze di tensione tra monte e valle è sinonimo di perdite sulla linea elettrica, con conseguente cattivo dimensionamento e non ottimizzazione dell'impianto di trasmissione dell'energia.

La caduta di tensione sarà contenuta mediante un corretto calcolo dimensionale delle linee. Il valore della caduta di tensione può essere determinato mediante la formula:

$$\Delta V = I * L * \sqrt{3} (R * \cos\varphi + X * \sin\varphi)$$

Dove:

- ΔV è la caduta di tensione in V;
- I è la corrente nominale della linea in A;
- R è la resistenza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in Ω/km ;
- X è la reattanza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in Ω/km ;
- L è la lunghezza della linea in km.

La caduta di tensione percentuale sarà quindi:

$$\Delta V\% = 100 * \Delta V / V$$

Dove:

- V è la tensione ad inizio linea in V.

La perdita di potenza è calcolata tramite la relazione:

$$P_{\text{loss}} = 3 * R * L * I_n^2$$

La perdita di potenza percentuale è calcolata tramite la relazione:

$$P_{\text{loss}}\% = 100 * P_{\text{loss}} / N_{\text{WTG}} * P_{\text{WTG}}$$

Dove:

- N_{WTG} è il numero di aerogeneratori considerato nella linea
- P_{WTG} è la potenza nominale del singolo aerogeneratore

Si riportano di seguito i dimensionamenti per le due linee dell'impianto

| | | | |
|----------------------------|-----------------|--------|------|
| Condizioni di esercizio MT | cos φ = | 0,900 | |
| | sen φ = | 0,436 | |
| | Vn= | 30000 | [V] |
| | Pn= | 5600 | [KW] |
| | In= | 119,75 | [A] |

| | | |
|---|--|--|
|  | PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" |  Antex group Ingegneria & Innovazione |
| | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | |

| Linea MT 1 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------|---------------|-----------------|---------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Lunghezza [m] | Sez. cavo [mmq] | C.d.t. [V] | C.d.t. [%] | Ploss [kW] | Ploss [%] | Posa |
| 1 | MRS09>>MRS10 | 119,75 | 1316 | 120 | 95,3 | 0,318 | 18,4 | 0,000 | ST - Trifoglio |
| 2 | MRS10>>MRS06 | 239,49 | 3446 | 240 | 275,7 | 0,919 | 95,5 | 0,001 | ST - Trifoglio |
| 3 | MRS06>>MRS05 | 359,24 | 2694 | 300 | 276,5 | 0,922 | 135,6 | 0,001 | ST - Trifoglio |
| 4 | MRS05>>SSEU | 478,99 | 758 | 500 | 72,7 | 0,242 | 41,8 | 0,000 | ST - Trifoglio |
| TOTALE | | | 8214 | | 720,21 | 2,40 | 291,25 | 0,002 | |

| Linea MT 2 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------|---------------|-----------------|---------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Lunghezza [m] | Sez. cavo [mmq] | C.d.t. [V] | C.d.t. [%] | Ploss [kW] | Ploss [%] | Posa |
| 1 | MRS02>>MRS01 | 119,75 | 2567 | 120 | 185,9 | 0,620 | 35,9 | 0,001 | ST - Trifoglio |
| 1 | MRS04>>MRS01 | 119,75 | 1128 | 120 | 81,7 | 0,272 | 15,8 | 0,000 | ST - Trifoglio |
| 3 | MRS01>>SSEU | 359,24 | 2859 | 300 | 293,4 | 0,978 | 143,9 | 0,001 | ST - Trifoglio |
| TOTALE | | | 6554 | | 561,02 | 1,87 | 195,55 | 0,002 | |

| Linea MT 3 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------|---------------|-----------------|---------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Lunghezza [m] | Sez. cavo [mmq] | C.d.t. [V] | C.d.t. [%] | Ploss [kW] | Ploss [%] | Posa |
| 1 | MRS03>>MRS08 | 119,75 | 3033 | 120 | 219,6 | 0,732 | 42,4 | 0,001 | ST - Trifoglio |
| 2 | MRS08>>MRS07 | 239,49 | 1283 | 240 | 102,6 | 0,342 | 35,5 | 0,000 | ST - Trifoglio |
| 3 | MRS07>>SSEU | 359,24 | 5473 | 300 | 561,7 | 1,872 | 275,5 | 0,002 | ST - Trifoglio |
| TOTALE | | | 9789 | | 884,00 | 2,95 | 353,41 | 0,003 | |

| | | | |
|----------------------------|--------|--------|------|
| Condizioni di esercizio AT | cos φ= | 0,900 | |
| | sen φ= | 0,436 | |
| | Vn= | 220000 | [V] |
| | Pn= | 56000 | [KW] |
| | In= | 163,29 | [A] |

| Raccordo AT - SSEU-Area Comune/SE Partanna-2 (Impianto di Rete per la Connessione) | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------|---------------|-----------------|-------------|--------------|------------|--------------|------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Lunghezza [m] | Sez. cavo [mmq] | C.d.t. [V] | C.d.t. [%] | Ploss [kW] | Ploss [%] | Posa |
| 10 | SSEU-Area Comune/SE RTN | 163,29 | 660 | 400 | 14,4 | 0,048 | 2,5 | 0,000 | ST - Piana |
| TOTALE | | | 660 | | 14,4 | 0,048 | 2,5 | 0,000 | |

9. Dimensionamento dei cavi in funzione della temperatura di funzionamento

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente relazione:

$$T_r = T_a + [(T_c - T_a) * (I_n / (N * I_z))^2]$$

Dove:

- T_r temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- T_a temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- T_c temperatura massima di esercizio, 90 °C;
- I_n è la corrente nominale di linea in A;
- I_z è la portata nominale di linea (corretta dai coefficienti) in A;
- N è il numero di conduttori per fase, 1.

Si riportano di seguito i valori delle temperature di regime per le due linee dell'impianto:

| | | | |
|----------------------------|--------|--------|------|
| Condizioni di esercizio MT | cos φ= | 0,900 | |
| | sen φ= | 0,436 | |
| | Vn= | 30000 | [V] |
| | Pn= | 5600 | [KW] |
| | In= | 119,75 | [A] |

| | | | | |
|---|---|---|--------|--------|
|  | PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" |  Ingegneria & Innovazione | | |
| | RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI | 11/2021 | REV: 0 | Pag.16 |

| Linea MT 1 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente) | | | | | |
|---|--------------|--------|-----------------|---------|----------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Sez. cavo [mmq] | Tr [°C] | Posa |
| 1 | MRS09>>MRS10 | 119,75 | 120 | 40,2 | ST - Trifoglio |
| 2 | MRS10>>MRS06 | 239,49 | 240 | 56,5 | ST - Trifoglio |
| 3 | MRS06>>MRS05 | 359,24 | 300 | 84,4 | ST - Trifoglio |
| 4 | MRS05>>SSEU | 478,99 | 500 | 86,1 | ST - Trifoglio |

| Linea MT 2 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente) | | | | | |
|---|--------------|--------|-----------------|---------|----------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Sez. cavo [mmq] | Tr [°C] | Posa |
| 1 | MRS02>>MRS01 | 119,75 | 120 | 40,2 | ST - Trifoglio |
| 1 | MRS04>>MRS01 | 119,75 | 120 | 40,2 | ST - Trifoglio |
| 3 | MRS01>>SSEU | 359,24 | 300 | 84,4 | ST - Trifoglio |

| Linea MT 3 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente) | | | | | |
|---|--------------|--------|-----------------|---------|----------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Sez. cavo [mmq] | Tr [°C] | Posa |
| 1 | MRS03>>MRS08 | 119,75 | 120 | 40,2 | ST - Trifoglio |
| 2 | MRS08>>MRS07 | 239,49 | 240 | 56,5 | ST - Trifoglio |
| 3 | MRS07>>SSEU | 359,24 | 300 | 84,4 | ST - Trifoglio |

| | | | |
|----------------------------|-----------------|--------|------|
| Condizioni di esercizio AT | cos φ = | 0,900 | |
| | sen φ = | 0,436 | |
| | Vn= | 220000 | [V] |
| | Pn= | 56000 | [KW] |
| | In= | 163,29 | [A] |

| Raccordo AT - SSEU-Area Comune/SE Partanna-2 (Impianto di Rete per la Connessione) | | | | | |
|--|-------------------------|--------|-----------------|---------|------------|
| N° WTG | TRATTA | In [A] | Sez. cavo [mmq] | Tr [°C] | Posa |
| 10 | SSEU-Area Comune/SE RTN | 163,29 | 400 | 25,8 | ST - Piana |

10. Linee MT in cavo interrato – Attraversamenti di canali

Qualora il tracciato delle linee MT dovessero presentare degli attraversamenti di canale, saranno eseguiti con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale e conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.

11. Linee MT in cavo interrato – Distanze di rispetto da impianti e opere interferenti

Le interferenze che si dovessero presentare lungo il tracciato delle linee MT saranno trattate con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale e conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.

12. Dimensionamento quadri MT

Come già calcolato al paragrafo 6, la corrente di cortocircuito massima alle sbarre 30kV vale:

| | | | |
|---|--|---|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  Ingegneria & Innovazione | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 |

$$I_{cc/A} = P_{cc/A} / (\sqrt{3} * U_n) = 746,67 / (\sqrt{3} * 30) = 14,37 \text{ kA}$$

Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento delle apparecchiature MT, (si fa presente che valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature MT sono: 16, 20, 25 kA).

I quadri MT saranno installati all'interno della cabina di consegna (protezione e sezionamento delle linee provenienti dalla cabina di raccolta, protezione generale della linea di collegamento al trasformatore AT/MT secondo norma CEI 0-16).

Caratteristiche elettriche principali:

- Tensione nominale 36 KV
- Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale
- 50 Hz/1 min valore efficace 50 KV
- Tensione nominale di tenuta a impulso atmosferico
- 1,2 / 50 microsec. valore di picco 170 KV
- Tensione di esercizio 30 KV
- Frequenza nominale 50 Hz
- N° fasi 3
- Corrente nominale sbarre principali 1250A
- Corrente nominale sbarre derivazione 630/1250A
- Corrente nominale ammissibile di breve durata 20 KA
- Corrente nominale di picco 50 KA
- Potere di interruzione degli interruttori alla V nominale 20 KA
- Durata nominale del corto circuito 3 sec

Nuova Cabina di Consegna Utente:

- n. 1 scomparto arrivo trasformatore di potenza MT/AT, con interruttore, TA, TV, relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-51N-27-59- 59N) e con le misure di A , V , W VAR , cosfi, frequenza;
- n. 3 scomparti di arrivo linea, con interruttore, TA, relè a microprocessore per le protezioni max. I (50-51-67N) e con le misure di A , V , W ,VAR , cosfi, frequenza;
- n. 1 cella TV (eventualmente integrata nella cella arrivo trasformatore).
- n. 1 scomparto arrivo trasformatore ausiliario BT/MT.

13. Rete di terra

Dimensionamento di massima della rete di terra

La rete di terra sarà dimensionata in accordo alla Norma CEI 11-1.

In particolare si procederà:

- al dimensionamento termico del dispersore e dei conduttori di terra in accordo all'Allegato B della Norma CEI 11-1;

| | | | |
|---|--|---|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  Ingegneria & Innovazione | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 |

- alla definizione delle caratteristiche geometriche del dispersore, in modo da garantire il rispetto delle tensioni di contatto e di passo secondo la curva di sicurezza di cui alla Fig.C-2 della Norma CEI 11-1.

13.1. Dimensionamento termico del dispersore

Il dispersore sarà realizzato con corda nuda in rame, la cui sezione può essere determinata con la seguente formula:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}}$$

Dove:

- A = sezione minima del conduttore di terra, in mm²
- I = corrente del conduttore, in A
- t = durata della corrente di guasto, in s
- K = 226 Amm-2s^{1/2} (rame)
- β = 234,5 °C
- Θ_i = temperatura iniziale in °C
- Θ_f = temperatura finale in °C

13.1.1. Tensioni di contatto e di passo

La definizione della geometria del dispersore al fine di garantire il rispetto dei limiti di tensione di contatto e di passo sarà effettuata in fase di progetto definitivo, quando saranno noti i valori di resistività del terreno, da determinare con apposita campagna di misure;

In via preliminare, sulla base degli standard normalmente adottati e di precedenti esperienze, può essere ipotizzato un dispersore orizzontale a maglia, con lato di maglia di 5 m.

In caso di terreno non omogeneo con strati superiori ad elevata resistività si potrà procedere all'installazione di dispersori verticali (picchetti) di lunghezza sufficiente a penetrare negli strati di terreno a resistività più bassa, in modo da ridurre la resistenza di terra dell'intero dispersore.

In ogni caso, qualora risultasse la presenza di zone periferiche con tensioni di contatto superiori ai limiti, si procederà all'adozione di uno o più dei cosiddetti provvedimenti "M" di cui all'Allegato D della Norma CEI 11-1.

13.2. Rete di terra aerogeneratori

Il trasformatore elevatore di tensione avrà il primario collegato a stella, con il centro stella posto a terra e collegato con lo stesso impianto di messa a terra della turbina eolica. La connessione alla rete elettrica dovrà quindi essere eseguito in configurazione TN-S.

L'impianto di messa a terra deve essere predisposto in sede di realizzazione delle fondazioni e con collegamento ai ferri

| | | | | |
|---|---|---|--------|--------|
|  | <p style="text-align: center;"> PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH" </p> <p style="text-align: center;"> RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI </p> |  Ingegneria & Innovazione | | |
| | | 11/2021 | REV: 0 | Pag.19 |

d'armatura. Esso sarà costituito da un conduttore di rame nudo da almeno 50 mm² posto orizzontalmente ad un metro di distanza dalla fondazione e ad un metro di profondità, che segue il perimetro della struttura fino a richiudersi su se stesso; esso sarà inoltre integrato con due picchetti di messa a terra in acciaio ramato della lunghezza di 6 m ciascuno e del diametro di almeno 14 mm, piantati verticalmente in posizioni diametralmente opposte rispetto alla torre. Il conduttore circolare viene collegato a due perni di fissaggio alla fondazione, sui lati opposti della torre, ed agli stessi punti si conetterà il quadro di controllo a base torre.

La disposizione dell'impianto di messa a terra ad anello chiuso attorno alla struttura limita 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 facilitano l'ottenimento di un basso valore della resistenza complessiva di terra.

13.3. Rete di terra connessione aerogeneratori

All'interno della canalizzazione per la posa dei cavi di media tensione interrata per il collegamento "entra - esci" fra gli aerogeneratori, verrà posato un ulteriore cavo di rame nudo di sezione non inferiore a 95 mmq per la connessione tra le diverse reti di terra degli aerogeneratori.

13.4. Rete di terra cabina di consegna

Per la progettazione dell'impianto di terra si deve fare riferimento ad un insieme di dati che dipendono dalle caratteristiche di alimentazione e di quelle del sito di installazione della cabina. I principali parametri di riferimento di cui si deve disporre sono:

- la corrente massima di guasto a terra (IF);
- il tempo di eliminazione del guasto (tc);
- le tensioni di contatto e di passo tollerabili (UTP, USP);
- la configurazione e le caratteristiche della rete di alimentazione in media tensione;
- il luogo in cui l'impianto di terra deve essere realizzato;
- l'area da proteggere, (forma e caratteristiche del terreno);
- eventuali vincoli in relazione alla messa a terra del neutro in bassa tensione.

Durante la progettazione, al fine di tenere conto di possibili variazioni nel tempo dei citati parametri, è opportuno scegliere gli stessi in relazione alle condizioni più sfavorevoli che si possono verificare.

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).

In base al tipo di cabina da realizzare è possibile individuare il dispersore da utilizzare e la disposizione dei conduttori del dispersore. 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.

| | | | | |
|---|--|---|--------|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  Ingegneria & Innovazione | | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 | Pag.20 |

Solitamente per le cabine si utilizzano dispersori ad anello che consentono di ottenere con maggiore facilità basse resistenze di terra. L'anello viene realizzato interrando un conduttore nudo (tondino, corda o piattina di acciaio zincato a caldo o di rame o di acciaio ramato) intorno alla fondazione della cabina ad una profondità di almeno 0,5 m. Questo tipo di dispersore può essere integrato con spandenti e picchetti per ridurre, ove necessario, la resistenza di terra. È opportuno che i picchetti siano collocati in pozzetti ispezionabili, con coperchi isolanti per evitare pericolose tensioni di passo.

I conduttori di terra si dipartono dal collettore e vanno a collegare le masse da mettere a terra. Le sezioni dei conduttori di terra non devono essere inferiori a 16 mm² se di rame, 35 mm² se d'alluminio, 50 mm² se d'acciaio. I conduttori di terra devono avere percorsi brevi ed essere posati preferibilmente nudi.

Vanno collegati all'impianto di terra i seguenti elementi metallici:

- ripari di protezione dei circuiti MT;
- la carpenteria metallica degli scomparti MT;
- il cassone del trasformatore MT/BT;
- la carcassa dei TA e TV ed un polo del circuito secondario;
- i telai dei sezionatori di terra;
- le intelaiature di supporto degli isolatori;
- i terminali e le guaine dei cavi MT provenienti dal parco eolico;
- i cavi di rame nudo per la connessione della rete di terra tra gli aerogeneratori;
- i ganci di ancoraggio delle linee aeree MT;
- gli organi di manovra manuale delle apparecchiature;
- i quadri porta sbarre BT e porta interruttori;
- gli interruttori BT;
- la cassa dei condensatori BT.

Si devono collegare all'impianto di terra anche le parti metalliche e le strutture di notevole estensione come porte, finestre, griglie di aerazione, scale, parapetti di protezione, lamiere copri cunicoli.

14. Riferimenti legislativi e normativi

Di seguito sono riportati i principali riferimenti normativi applicati nella progettazione dell'impianto o comunque di supporto:

- Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n. 79/99: "Attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 281 del 19 dicembre 2005: "Condizioni per l'erogazione del servizio di connessione alle reti elettriche con tensione nominale superiore ad 1 kV i cui gestori hanno obbligo di connessione di terzi";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 168 del 30 dicembre 2003: "Condizioni per l'erogazione del pubblico servizio di dispacciamento dell'energia elettrica sul territorio nazionale e per l'approvvigionamento delle relative risorse su base di merito economico, ai sensi degli articoli 3 e 5 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79" e relativo Allegato A modificato con ultima deliberazione n.20/06;

| | | | |
|---|--|---|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  Ingegneria & Innovazione | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 |

- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 39 del 28 febbraio 2001: "Approvazione delle regole tecniche adottate dal Gestore della rete di trasmissione nazionale ai sensi dell'articolo 3, comma 6, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 333 del 21 dicembre 2007: "Testo integrato della regolazione della qualità dei servizi di distribuzione, misura e vendita dell'energia elettrica" – TIQE;
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas n. 348 del 29 dicembre 2007: "Testo integrato delle disposizioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas per l'erogazione dei servizi di trasmissione, distribuzione e misura dell'energia elettrica per il periodo di regolazione 2008-2011 e disposizioni in materia di condizioni economiche per l'erogazione del servizio di connessione" e relativi allegati: Allegato A, di seguito TIT, Allegato B, di seguito TIC;
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 99/08 del 23 luglio 2008: "Testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica (Testo integrato delle connessioni attive – TICA)";
- Delibera Autorità per l'energia elettrica ed il gas ARG/elt 179/08 del 11 dicembre 2008: "Modifiche e integrazioni alle deliberazioni dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas ARG/elt 99/08 e n. 281/05 in materia di condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica";
- Norma CEI 0-16 "Regole Tecniche di Connessione (RTC) per Utenti attivi ed Utenti passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica";
- DLgs n. 81 del 09/04/2008 TESTO UNICO SULLA SICUREZZA per la Prevenzione degli Infortuni sul Lavoro;
- DM n. 37 del 22/01/2008 Norme per la sicurezza degli impianti;
- Dlg 791/77 "Attuazione della direttiva 73/23/CEE riguardanti le garanzie di sicurezza del materiale elettrico";
- Legge n° 186 del 01/03/68;
- DPR 462/01;
- Direttiva CEE 93/68 "Direttiva Bassa Tensione";
- Direttiva 2004/108/CE, CEI EN 50293 "Compatibilità Elettromagnetica";
- Norma CEI 64-8: "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata a 1500 V in corrente continua;
- CEI 17-44 Ed. 3a 2000 (CEI EN 60947-1) CEI 17-44;V1 2002 (CEI EN 60947-1/A1) CEI 17-44; V2 2002 (CEI EN 60947-1/A2) "Apparecchiature a bassa tensione - Parte 1: Regole generali";
- CEI 70-1 Ed. 2a 1997 (CEI EN 60529) CEI 70-1;V1 2000 (CEI EN 60529/A1) "Grado di protezione degli involucri (Codice IP)";
- CEI EN 60439-1 "Normativa dei quadri per bassa tensione";
- CEI 20-22 II, 20-35, 20-37 I, 23-48, 23-49, 23-16, 23-5;
- CEI 23-51 "Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare";
- CENELEC EUROPEAN "Norme del Comitato Elettrotecnico Europeo";
- CEI – UNEL 35011 "Sistema di codifica dei cavi";

| | | | |
|---|--|--|--------|
|  | <p>PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' DI C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56 MW DENOMINATO "MARSA-ALLAH"</p> |  <i>Ingegneria & Innovazione</i> | |
| | <p>RELAZIONE TECNICA CALCOLI PRELIMINARI DEGLI IMPIANTI</p> | 11/2021 | REV: 0 |

- CEI 214-9 "Requisiti di progettazione, installazione e manutenzione";
- Norma CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo";
- UNI 10349 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati Climatici;
- UNI 8477/1 Energia solare. Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia Valutazione dell'energia raggiante ricevuta;
- Legge 46/1990, DPR 447/91 (regolamento attuazione L.46/90)per la sicurezza elettrica;
- Per le strutture di sostegno: DM MLP 12/2/82.

L'elenco normativo è riportato soltanto a titolo di promemoria informativo; esso non è esaustivo per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, verranno comunque applicate.