

TITOLARE DEL DOCUMENTO:

AREN Green S.r.l.

Società soggetta alla direzione e coordinamento di AREN Electric Power S.p.A.
Sede legale e amministrativa: Via dell'Arrigoni n. 308 | 47522 Cesena (FC) | Ph. +39 0547 415245
Iscritta nel Registro delle Imprese della Romagna – Forlì-Cesena e Rimini | REA 326908 | C.F./P.Iva 04032170401

**COMUNI DI ASCOLI SATRIANO, CASTELLUCCIO DEI SAURI E
DELICETO (FG)
LOCALITA' "CONCA D'ORO"**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO EOLICO "CONCA D'ORO"

REDAZIONE / PROGETTISTA:



AREN Electric Power S.p.A.
Società per Azioni con Unico Socio
Via dell'Arrigoni n. 308 - 47522 Cesena (FC)
Ph. +39 0547 415245 - Fax +39 0547 415274
Web: www.aren-ep.com

TIMBRO E FIRMA PROGETTISTA:

Ing. Samuele Ulivi Ordine degli
Ingegneri di Forlì-Cesena – matr.
2866

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI

CODICE ELABORATO:

CDOE_GENR00600_00

FORMATO:

A4

Nr. EL:

/

FASE:

**PROGETTO
DEFINITIVO**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Prima emissione	11/03/2024	A.Lazar	S.Righini	S.Ulivi
01					
02					
03					
04					

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDODE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 1 di 12

Sommario

Sommario.....	1
1 Introduzione	2
2 Riferimenti normativi	2
3 Inquadramento dell’area di intervento.....	3
4 Infrastruttura elettrica dell’impianto di produzione.....	3
5 Dimensionamento cavidotti 30 kV	3
5.1 Dati di progetto.....	3
5.2 Dimensionamento per limite termico di portata	4
5.3 Dimensionamento per caduta di tensione e perdite.....	4
6 Dimensionamento Reattanze Shunt.....	6
6.1 Reattanze Shunt compensazione cavi parco eolico.....	6
6.2 Dati di progetto.....	8
6.3 Criteri di calcolo	9
6.3.1 Criterio 1	9
6.3.2 Criterio 2.....	10
6.4 Ipotesi di calcolo	10
6.5 Dimensionamento impianto di terra Aerogeneratore.....	11
7 Conclusioni.....	11

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDODE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 2 di 12

1 Introduzione

La presente Relazione si riferisce al Progetto Definitivo di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Conca D’Oro”, e sito nei Comuni di Ascoli Satriano, Castelluccio dei Sauri e Deliceto (FG) (nel seguito: il “Progetto”).

La società proponente è Aren Green S.r.l. Unipersonale, con sede in Via dell’Arrigoni 308 – 47522 Cesena (FC), P.IVA 04032170401 (nel seguito: il “Soggetto proponente”).

Il Soggetto proponente ha intrapreso l’iniziativa imprenditoriale di realizzare un impianto di produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento del vento, composto da 8 aerogeneratori Vestas mod. V150, ciascuno della potenza di 6 MW, per una potenza di immissione complessiva dell’impianto eolico pari a 48,0 MW.

Il tracciato del cavidotto di collegamento alla SSE attraversa Comuni di Ascoli Satriano, Castelluccio dei Sauri e Deliceto (FG).

L’impianto sarà allacciato alla SSE 150 kV della società Delsis S.r.l. Tale SSE è a sua volta collegata alla SSE Terna Deliceto.

Il presente studio preliminare è stato redatto ai sensi della normativa vigente, come meglio specificato al paragrafo successivo, e ha lo scopo di descrivere le metodologie di dimensionamento delle componenti elettriche ed i risultati.

2 Riferimenti normativi

Le principali norme a cui si fa riferimento sono:

- CEI 20-66: Cavi energia con isolamento estruso e loro accessori per tensioni nominali superiori a 36 kV ($U_m = 42$ kV) fino a 150 kV ($U_m = 170$ kV);
- CEI 11-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata;
- CEI EN 61936-1 (CEI 99-2) “Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a - Parte 1: Prescrizioni comuni”;
- CEI EN 50522 (CEI 99-3) “Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.”;
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;
- CEI 11-32: Impianti di produzione di energia elettrica collegati a reti di III categoria;
- CEI 11-32;V1: Impianti di produzione eolica;
- CEI 11-35: Guida all’esecuzione delle cabine elettriche d’utente;
- CEI 17-1: Apparecchiature ad alta tensione – Interruttori a corrente alternata ad alta tensione;
- CEI 11-25: Calcolo delle correnti di corto circuito nelle reti trifasi a c.a.;
- 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;
- Codice di Rete Terna, in particolare Allegati A.3, A.69.

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDOE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 3 di 12

3 Inquadramento dell’area di intervento

Gli aerogeneratori si possono ricomprendere, dal punto di vista della posizione, in un unico gruppo. Sono infatti tutti ubicati tra il Comune di Ascoli Satriano e Castelluccio dei Sauri, a 3 km dal centro abitato di quest’ultimo, con quote comprese tra i 170 e i 240 metri sul livello del mare.

L’area di studio ricade nell’alto Tavoliere delle Puglie, delimitato a Sud dal torrente Carapellotto, ad Est dal Carapelle (Promontorio del Gargano) e a Nord-Ovest dal Fiume Cervaro.

Il posizionamento degli aerogeneratori è stato effettuato tenendo conto, principalmente, delle condizioni di ventosità dell’area. In particolare, si sono raccolti dati sulla direzione, sull’intensità, sulla durata e sulla continuità del vento. Si è poi tenuto conto della natura geologica del terreno, nonché del suo andamento plano-altimetrico.

4 Infrastruttura elettrica dell’impianto di produzione

Le principali opere elettriche da realizzare e/o adeguare per il collegamento dell’impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale sono:

- il cavidotto MT di collegamento tra gli aerogeneratori e la stazione elettrica di trasformazione MT/AT;
- lo stallo in alta tensione all’interno della stazione elettrica 30/150 kV di utenza;
- i quadri di media tensione ubicati all’interno della stazione elettrica 30/150 kV di utenza;

Relativamente ai cavidotti MT in entrata dagli aerogeneratori, sono previsti due sottocampi, disposti e collegati col seguente schema e cavi:

- 1) Collegamento MT-30 kV delle *SE-CO1-CO2-CO3-CO4*, costituendo il sottocampo eolico 1 da 24 MW:
 - cavidotto di collegamento **SE – CO2**, circa 14050 m;
 - cavidotto di collegamento **CO2 – CO1**, circa 1540 m;
 - cavidotto di collegamento **CO2 – CO3**, circa 2520 m;
 - cavidotto di collegamento **CO3 – CO4**, circa 2530 m.
- 2) Collegamento MT-30 kV delle *SE-CO8-CO7-CO6-CO5*, costituendo il sottocampo eolico 2 da 24 MW:
 - cavidotto di collegamento **SE – CO8**, circa 18400 m;
 - cavidotto di collegamento **CO8 – CO7**, circa 3740 m;
 - cavidotto di collegamento **CO5 – CO6**, circa 2610 m;
 - cavidotto di collegamento **CO8 – CO5**, circa 1610 m.

Per tutti i tratti di cavidotto verrà utilizzato il cavo ARP1H5EEX 18/30 kV, interrato a 1,2 m, con le sezioni sopra indicate e posato a trifoglio.

5 Dimensionamento cavidotti 30 kV

5.1 Dati di progetto

Per il dimensionamento dei cavidotti per il trasporto dell’energia elettrica bisogna considerare vari dati di ingresso del progetto, elettrici ed ambientali, quali:

- Tensione di esercizio: 30 kV – 50 Hz;
- Sistema trifase;
- Resistività termica terreno: 1,5°Cm/W;
- Temperatura media ambiente: 20 °C;
- Profondità di posa: 1,2 m;

Aren Green Srl Impianto Eolico "Conca d'Oro"	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDOE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 4 di 12

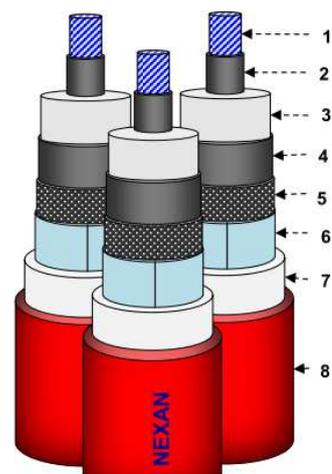
- Altezza sul livello del mare: <1000 m.

In seconda battuta bisogna identificare la tipologia di cavo e di posa da utilizzare:

- Cavo: ARP1H5EEX 18/30 kV o equivalenti in rame o alluminio;
- Tipologia di posa: direttamente interrata.

Il cavo ARP1H5EEX dimensionato per tensioni 18/30 kV è quindi in grado di lavorare a tensioni nominali di 30 kV. Esso è costituito da:

1. Anima: conduttore a corda rotonda compatta in alluminio;
2. Semiconduttivo interno: elastomerico estruso;
3. Isolante: polietilene reticolato (XLPE);
4. Semiconduttivo esterno: elastomerico estruso;
5. Strato semiconduttivo acquabloccante;
6. Schermatura: nastri di alluminio;
7. 1° Guaina: PE estruso;
8. 2° Guaina: PE di colore rosso.



Il cavo è adatto alla posa direttamente interrata, ha il conduttore in alluminio ed è cordato ad elica.

5.2 Dimensionamento per limite termico di portata

Il primo dimensionamento dei cavi è stato effettuato sulla base del limite termico di portata degli stessi, in base alle condizioni ambientali e di posa, confrontando tali valori con la corrente nominale passante in ogni tratta di cavidotto.

Nella tabella seguente sono mostrati i valori di potenza e corrente passante per ogni tratta di cavidotto precedentemente descritta e la rispettiva scelta del cavo:

Tratta	Potenza passante [MW]	Corrente passante [A]	Sezione cavo [mm ²]	Portata [A]
CO3-CO4	6,0	118	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
CO5-CO6	6,0	118	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
CO2-CO1	6,0	118	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
CO8-CO7	6,0	118	95	208 (altro 1 circuito in prossimità)
CO2-CO3	12,0	236	120	236 (altro 1 circuito in prossimità)
CO8-CO5	12,0	236	120	236 (altro 1 circuito in prossimità)
SE-CO2	24,0	471	500	579 (altro 1 circuito in prossimità)
SE-CO8	24,0	471	500	579 (altro 1 circuito in prossimità)

5.3 Dimensionamento per caduta di tensione e perdite

Le sezioni di cavo precedentemente determinate non vanno però a considerare le cadute di tensione e le perdite che si potrebbero generare lungo i vari tratti di cavidotto.

Di norma, quando le tratte di cavi diventano importanti (nell'ordine di chilometri per cavi a tali valori di tensione), si vanno quindi a dimensionare le varie tratte non solo considerando la portata al limite termico dei cavi, ma anche

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: C000000000_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 5 di 12

la caduta di tensione nei tratti di cavo ed a fondo cavidotto tale che sia inferiore ad un certo valore percentuale; normalmente si considera sufficiente che la caduta di tensione sia inferiore al 4%. Per il tratto di linea tra la Stazione Terna e la Stazione Utente, invece, essendo il tratto relativamente corto, si prende in considerazione la portata dei cavi.

Essendo però impianti di produzione dell'energia elettrica e non utilizzatori, le correnti non sono in fase con le rispettive tensioni di fase, ma in sfasamento di 180°. Per tale motivo, a fondo linea non si avranno tensioni inferiori a quelle del punto di connessione, ma valori superiori. Ovviamente tali valori dovranno essere inferiori alle tensioni massime degli isolamenti ma si vuole comunque contenere le sovratensioni massime a fondo cavidotto nell'intorno del 4% rispetto la tensione nominale.

Caduta di tensione percentuale calcolata come:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3}I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)}{Vn} * 100$$

Dove si è posto $\cos\varphi = -1$.

Per tale dimensionamento si è utilizzato il programma di progettazione elettrica “Ampere professional” di Electro Graphics srl, il quale va a calcolare le variazioni di tensione alla temperatura di esercizio, quindi dovuta alla temperatura ambiente ed alla corrente che nominalmente attraversa i cavi.

Potrebbe sembrare comunque che progettando l'impianto ammettendo cadute di tensioni del 4% porti ad avere perdite di linea elevate. La valutazione di tali perdite però devono essere valutate in base alla curva di produzione degli aerogeneratori e quindi in base alla distribuzione dei venti. Infatti, le perdite di linea sono proporzionali, oltre alla resistenza dei cavi, al quadro della corrente passante e per questo, una stessa quantità di produzione annua di energia ottenuta con venti costanti e moderati rispetto ad una ottenuta con venti molto variabili con pochi picchi ma elevati, porteranno ad avere valori di perdite differenti (minori per la prima condizione ambientale).

$$\Delta P = 3RI^2$$

Per tutti questi motivi, dopo la prima verifica di portata dei cavi per le singole tratte e la successiva valutazione delle sovratensioni a fondo linea, si va ad effettuare una valutazione tecnico-economica dei vari tratti di cavo nella quale si effettuano i calcoli delle perdite (considerando la distribuzione dei venti) con le prime scelte minime di sezione confrontandola con una sezione di cavo maggiore. Se le perdite dei cavi con sezione maggiore assumeranno un valore minore tale per cui i guadagni sarebbero tali da compensare il maggiore investimento iniziale, si procederà con la scelta della sezione maggiore.

Ne derivano quindi i seguenti risultati:

- 3) Collegamento MT-30 kV delle *SE-CO4-CO3-CO2-CO1*, costituendo il sottocampo eolico 1 da 24 MW:
 - cavidotto di collegamento **SE – CO2**, 3x1x630 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CO2 – CO1**, 3x1x95 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CO2 – CO3**, 3x1x240 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CO3 – CO4**, 3x1x95 mm².
- 4) Collegamento MT-30 kV delle *SE-CO8-CO7-CO6-CO5*, costituendo il sottocampo eolico 2 da 24 MW:
 - cavidotto di collegamento **SE – CO8**, 3x1x630 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CO8 – CO7**, 3x1x95 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CO5 – CO6**, 3x1x240 mm²;
 - cavidotto di collegamento **CO8 – CO5**, 3x1x95 mm²;

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDODE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 6 di 12

6 Dimensionamento Reattanze Shunt

I cavi di collegamento tra la stazione Terna e la Stazione Utente e di collegamento in entra-esce tra gli aerogeneratori e la Stazione Utente possono essere considerati come capacità elettriche. Tali capacità contribuiscono alla generazione di potenza reattiva e forniscono un contributo alla corrente di guasto monofase a terra di tutta la rete a 30 kV (anche degli altri impianti).

Per tali motivi, nell’Allegato A.17 del Codice di Rete vengono prescritti i limiti per tali contributi e le metodologie per diminuirli in caso di superamento.

6.1 Reattanze Shunt compensazione cavi parco eolico

La prima prescrizione descritta nel Codice di Rete è che a potenza attiva prodotta dagli aerogeneratori pari a 0, ed in assenza di regolazione di tensione, l’impianto dovrà essere progettato in modo che siano minimizzati gli scambi di potenza reattiva, fino ad un limite massimo di 0,5 MVar. Nel caso in cui tale livello di potenza reattiva sia superato, dovrà essere prevista un sistema di compensazione costituito da reattanze shunt in modo da garantire un grado di compensazione la punto di connessione compreso fra il 110% ed il 120% della massima potenza reattiva prodotta a V_n . Reattanze shunt che saranno esercite con neutro isolato per evitare sovrapposizioni con la compensazione omopolare della Bobina di Petersen della Stazione di Terna.

La potenza reattiva prodotta dai cavi del parco eolico può essere calcolata come:

$$Q_C = 3\omega CE^2 = \omega CV^2 \text{ [MVar]}$$

Dove:

- ω : è la pulsazione della rete;
- C: capacità totale dei cavi 30 kV interni al parco eolico;
- E: tensione di fase;
- V: tensione concatenata (30 kV);

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDOE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 7 di 12

I valori di capacità per unità di lunghezza dei cavi utilizzati all’interno al parco eolico sono i seguenti:

Cavo [mm ²]	C' [μF/km]
95	0,168
120	0,185
150	0,201
185	0,221
240	0,252
300	0,283
400	0,308
500	0,337
630	0,367

Ne deriva che per l’impianto eolico, composto dai due sottocampi sopra descritti, la potenza reattiva generata dai cavi è pari a 3556 kVAr.

Tali valori di potenza reattiva renderebbero necessaria l’installazione quindi di due reattanze shunt di potenza reattiva commisurata (110-120% Q_c).

Grazie però alla Capability degli aerogeneratori (**Figura 1**) di poter assorbire 2933 kVAr di potenza reattiva (induttiva e quindi di segno opposto a quella generata dai cavi) anche a P = 0, le reattanze shunt non si rendono necessarie in quanto la compensazione della potenza reattiva generata dai cavi verrà effettuata dagli stessi aerogeneratori tramite controllo in retroazione della potenza reattiva al punto di connessione.

Infatti, avendo 8 aerogeneratori, la potenza reattiva assorbibile dagli stessi è pari a 23464 kVAr, valore molto superiore a quella generata dai cavi, la quale quindi potrà essere compensata fino ad ottenere valori inferiori al limite massimo imposto dal Codice di Rete.

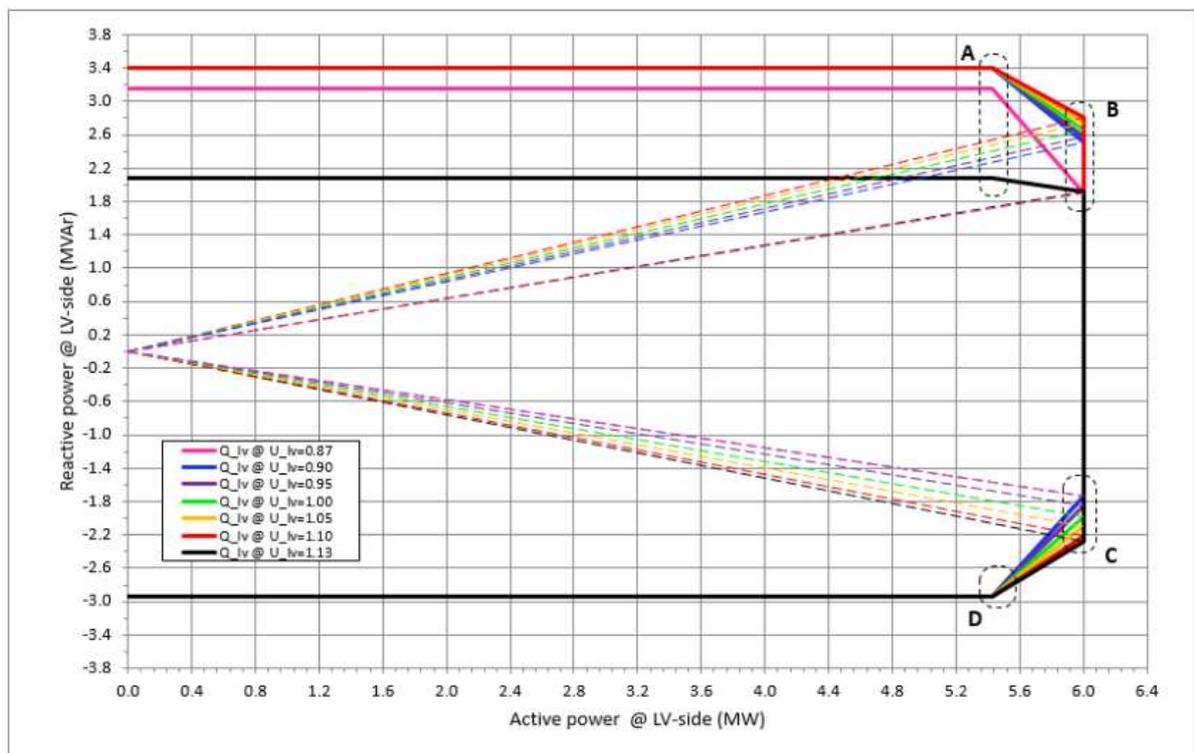


Figura 1 – Capability aerogeneratori Vestas V150 – 6 MW

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: C CODE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 8 di 12

6.2 Dati di progetto

La Stazione Elettrica e gli aerogeneratori sono tutti in aree in cui è presente terreno vegetale/argilloso, per cui, in base allo studio di dimensionamento dell’impianto di terra già esistente in SSE, si è calcolata una resistività media del terreno di $10,2 \Omega\text{m}$ (“Dimensionamento impianto di terra”, PLC System S.r.l. per conto della Sistemi Energetici S.p.A., 2015, “Progettazione esecutiva per allaccio alla RTN di una SS.ne 150/20 kV asservita a Campo Eolico”).

Il Locale Utente a servizio dell’impianto eolico “Conca d’Oro” che verrà installato all’interno della Stazione Elettrica della società Delsis S.r.l., sarà collegato alla rete primaria di terra di SSE, tramite adeguamento della stessa. La rete di terra è stata precedentemente progettata considerando i dati di partenza pari a:

- Tensione di alimentazione della fornitura AT, esercita con neutro connesso efficacemente a terra pari a 150kV.
- Corrente di corto circuito per guasto monofase $I_g=20 \text{ kA}$
- Tempo di intervento dei dispositivi di protezione per guasti verso terra $t_g = 0,45 \text{ s}$
- Massima tensione di contatto ammissibile, secondo la figura 4 della Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3), $V_{amm} = 248\text{V}$
- Area abbracciata dalla sottostazione $A_{cp} \cong 1060 \text{ m}^2$
- Perimetro totale delle aree di cui sopra $P_{tot} \cong 133 \text{ m}$
- Resistività media apparente del terreno $\rho_m = 10,2 \Omega/\text{m}$
- Lunghezza complessiva della corda di rame interrata $l \cong 450\text{m}$
- Profondità di interrimento della maglia $p= 0,7 \text{ m}$

La corrente I_{RS} effettivamente dispersa nel terreno dall’impianto di terra non corrisponde a tutta la corrente di cortocircuito a terra I_F sul sistema 150 kV, a causa dell’effetto drenante degli schermi dei cavi MT e delle funi di guardia delle linee AT eventualmente connesse all’impianto di terra ed al ritorno verso il centro stella del primario AT del trasformatore eventualmente connesso a terra. La geometria del dispersore di stazione viene comunque dimensionata, a scopo cautelativo, considerando l’intera corrente I_F .

Con tale assunzione, la corrente effettivamente dispersa dal terreno risulta essere quindi pari a 6,5 kA

Cautelativamente, il dimensionamento termico del dispersore viene eseguito con il dato nominale di guasto a terra (31,5 kA e 1 s).

Ogni massa dei sistemi AT è connessa con il dispersore con almeno 2 cime emergenti, ed essendo le cime emergenti connesse alla maglia di terra tramite delle connessioni a “T”, la corrente si suddividerà inizialmente sulle due cime emergenti e successivamente sulle 2 vie della connessione a “T”. Assumendo quindi che la corrente si suddivida nelle due cime emergenti in parti uguali, e nelle connessioni cima – maglia in ragione del 40% e 60%, la massima corrente di guasto che può interessare un conduttore della rete primaria per un guasto a terra sul sistema 150 kV è:

- $I = (I_F / 2) * 0,6 = (31,5 / 2) * 0,6 = 9,45 \text{ kA}$
- $t = 1 \text{ s}$

Il tipo di dispersore adottato è una rete magliata di conduttori di rame nudo CU-ETP uni 5649-71 collegati ad ogni incrocio mediante morsetti a compressione ed interrati a circa 0,7 m di profondità.

Essendo il tempo di eliminazione del guasto inferiore ai 5 secondi, il fenomeno di riscaldamento dei conduttori del dispersore durante il guasto può essere trattato come adiabatico; in tal caso la sezione dei conduttori può essere calcolata con la formula D-1 indicata dalla norma CEI EN 50522:

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDOE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 9 di 12

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

dove:

- A è la sezione in millimetri quadri
- I è la corrente del conduttore in ampere (valore efficace)
- t è la durata in secondi della corrente di guasto
- K è una costante che dipende dal materiale del componente percorso dalla corrente; la tab. D.1 della norma CEI EN 50522 indica i valori per i materiali più comuni assumendo una temperatura iniziale di 20°C
- β è il reciproco del coefficiente di temperatura del componente percorso dalla
- corrente a 0°C (anche questo riportato in tab. D.1 della CEI EN 50522)
- Θ_i è la temperatura iniziale in gradi Celsius
- Θ_f è la temperatura finale in gradi Celsius

La corrente di guasto raggiunge il dispersore per mezzo di due cime emergenti, le quali si connettono con la maglia interrata tramite connessioni a “T”. Supponendo che nelle connessioni a “T” la corrente si suddivida secondo una proporzione pari al 60% e 40%, considerando la corrente individuata al par. 4.1.2, utilizzando i coefficienti della tab. D-1 della CEI EN 50522 per conduttori in rame ed assumendo una temperatura finale di 400°C (valore indicato nel documento [H] appendice 1 al par. 3.1.2) si ottiene:

$$A_{MAGLIA} = \frac{9450}{226} \sqrt{\frac{1}{\ln \frac{400 + 234,5}{20 + 234,5}}} = 43,74 \text{ mm}^2$$

La sezione scelta in fase di progetto:

- Corde di 63 mm² per la maglia.

ampiamente diffusa nella costruzione delle maglie di terra nelle sottostazioni elettriche, soddisfa la relazione con sufficiente margine di sicurezza.

6.3 Criteri di calcolo

6.3.1 Criterio 1

L’efficienza dell’impianto di terra è verificata dal confronto tra la tensione di terra (U_E) e tensioni contatto ammissibili (U_{TP}), in particolare, se:

$$U_E < 2 U_{TP}$$

Oppure, se adottati provvedimenti dettagliati nell’allegato E della norma CEI EN 50522 (CEI 99-3):

$$U_E < 4 U_{TP}$$

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDOE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 10 di 12

La Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) stabilisce che l'impianto di terra è sicuramente efficiente in termini di protezione delle persone da tensioni di contatto determinate dal funzionamento degli impianti di terra per effetto delle correnti di guasto a terra.

Si fa presente che la Norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) fa riferimento in realtà alla relazione:

$$U_T < 2 U_{TP}$$

dove U_T è la tensione di contatto effettiva. Tuttavia, poiché risulta $U_E > U_T$, la condizione $U_E < U_{TP}$ è sicuramente a favore della sicurezza.

Qualora nessuna delle due condizioni sia verificata, non è detto che l'impianto non vada bene, si deve approfondire l'analisi con il **criterio 2**.

6.3.2 Criterio 2

Si verifica che sull'impianto di terra, in corrispondenza della massima corrente di guasto, non si abbiano, in nessuno dei punti accessibili interni ed esterni all'impianto tensioni di contatto e di passo che superino i valori ammissibili. Il dimensionamento può essere effettuato secondo due diversi metodi:

Valutando le tensioni pericolose nel campo di potenziale creato dal dispersore in presenza dell'uomo, verificando che esse non superino i valori ammissibili per la tensione di contatto.

Valutando le tensioni pericolose nel campo di potenziale creato dal dispersore in assenza dell'uomo, cioè a vuoto. In tal caso le norme fissano altri limiti ammissibili, denominati U_{STP} per la tensione di contatto a vuoto.

Nel primo caso, le condizioni di sicurezza si ottengono quando i valori di tensione di contatto, U_T , misurate nel caso peggiore, siano inferiori alla tensione di contatto ammissibile, U_{TP} . Nel secondo caso, invece, le condizioni di sicurezza si ottengono qualora la tensione di contatto a vuoto massima U_{ST} misurate nelle estremità della maglia di terra siano inferiore a U_{STP} .

Se il punto 2 risulta verificato, è verificata automaticamente anche il punto 1. Lo stesso discorso vale per le tensioni di passo.

Il modo di procedere sarà iterativo ovvero si considera una data geometria del dispersore con determinate sezioni minime; si valutano la tensione totale di terra, e la tensione di contatto a vuoto e i profili di tensioni su varie sezioni dell'impianto, si confrontano con quelle ammissibili utilizzando prima il criterio 1 e se non sufficiente, successivamente il criterio 2.

Se nessuno dei due criteri risulta soddisfatto si interviene nuovamente sulla geometria del dispersore (es. per dispersori rettangolari a maglie quadrate, si infittisce il numero delle maglie) e si determinano nuovamente i valori delle tensioni da confrontare con quelli limiti.

Il progetto si ritiene concluso quando dopo una serie di verifiche i valori calcolati risultano inferiori a quelli limiti.

6.4 Ipotesi di calcolo

Si elencano nel seguito tutte le ipotesi che sono state fatte per la valutazione dell'impianto di terra:

1. Per il dimensionamento termico sono stati utilizzati i valori di guasto nominali: 31,5 kA – 1 s
2. Per la determinazione della resistenza e tensione di terra e tensioni ammissibili sono stati utilizzati i valori di guasto nominali: 8 kA – 0,45 s
3. Valore di resistività del terreno: 10,2 Ω m
4. Valore delle resistenze aggiuntive: scarpa 1000 Ω - guanto 0 Ω
5. Strato superficiale del terreno (ghiaia bagnata): 8500 Ω m – 0,1 m

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDODE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 11 di 12

6. Non sono stati considerati gli effetti drenanti delle funi di guardia, degli schermi dei cavi MT, delle fondazioni in cemento armato e di eventuali collegamenti alle Sottostazioni limitrofe
7. Non è stato considerato l'effetto drenante della connessione a terra del centro stella del trasformatore AT/MT.
8. Non sono stati considerati gli effetti drenanti
9. Nella valutazione delle massime tensioni ammissibili si è introdotto il coefficiente di riflessione Cs delle IEEE St.80

6.5 Dimensionamento impianto di terra Aerogeneratore

Per l'impianto di terra dell'aerogeneratore si va a considerare il fatto che il tempo di eliminazione del guasto a terra, sarà invece pari a 0,3 s in quanto esso è il tempo di taratura di intervento delle protezioni delle linee di partenza per i sottocampi eolici (secondo la CEI 0-16).

Per tale durata del guasto la tensione di contatto ammissibile, secondo CEI EN 50522 (CEI 99-3), è pari a $U_{TP} = 400$ V, mentre la tensione di passo ammissibile U_{SP} risulta uguale a $3 \times U_{TP}$.

Si stima pertanto, una resistenza totale di terra (R_E) pari a circa 2Ω .

Si ipotizza quindi di realizzare il seguente dispersore di terra del singolo aerogeneratore:

- Anello circolare esterno alla fondazione, di corda in rame di sezione minima pari a 50 mm^2 , di raggio pari a 15 m e profondità di posa pari a 3 m;

Ne deriva quindi una resistenza di terra pari $1,69 \Omega$, valore inferiore al limite massimo di 2Ω necessario per ottenere una tensione di contatto minore di quella ammissibile per condizioni al contorno definite dal Cdr.

7 Conclusioni

I calcoli effettuati hanno determinato:

Tabella 2 – Risultati di calcolo

R_E [Ω]	U_E [V]	Limiti di tensione		Limiti di tensione a vuoto		Limiti di tensione a vuoto con strato superficiale	
		U_{TP} [V]	U_{SP} [V]	U_{STP} [V]	U_{SSP} [V]	$U_{STP+SCL}$ [V]	$U_{SSP+SCL}$ [V]
0,80	6425,36	237,19	5185,86	373,48	18814,82	2648,10	246277,48

1. Le tensioni di contatto ove sono presenti masse e/o componenti per i quali sia possibile un contatto, ed in ogni caso all'interno dell'area di stazione, sono ovunque inferiori ai valori ammissibili dalla norma CEI EN 50522. Per questo aspetto si noti che il software valuta le tensioni di contatto come differenza tra il potenziale del terreno (potenziale su cui appoggiano i piedi) ed il potenziale della maglia di terra a cui sono collegate le masse (potenziale al quale si porta la mano durante il contatto). Il grafico è quello riportato nell'ultima pagina dell'allegato e si può evincere come l'intera area di stazione sia colorata di verde ed invece nelle aree gialle non siano presenti masse.
2. Le tensioni di passo sono ovunque inferiori ai limiti tollerabili
3. La recinzione essendo in cemento non presenta problemi poiché non è una massa
4. Tutte le apparecchiature AT e le relative masse (telai, sostegni, supporti, ecc..) devono essere collegate alla rete di terra secondo quanto riportato nell'elaborato [H]

Occorre infine precisare che il calcolo sopra esposto è eseguito sulla base di un modello matematico realizzato con ipotesi semplificative e con alcune approssimazioni, anche se mediante cautelative. Tale calcolo, pertanto, non

Aren Green Srl Impianto Eolico “Conca d’Oro”	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Elaborato: CDODE_GENR00600_00
		Data: 11/03/2024
	RELAZIONE CALCOLI PRELIMINARI IMPIANTI ELETTRICI	Revisione: 00
		Pagina: 12 di 12

sostituisce la misura delle tensioni di contatto e di passo che dovranno comunque essere effettuate in fase di collaudo dell’impianto, prima della sua entrata in esercizio; qualora tale verifica evidenziasse la presenza di tensioni di contatto e passo pericolose, dovranno essere adottate le misure correttive previste dalla Norma CEI EN 50522 e della Norma CEI 11-37.

Tutti i cavi sono stati dimensionati valutando la potenza nominale di ciascun aerogeneratore, anche se accade solo raramente che l’aerogeneratore funzioni a potenza nominale. Tale criterio è stato adottato come motivo precauzionale: infatti in caso si dovesse verificare tale situazione, non si avranno né problemi di sovraccarico sui conduttori che comporterebbero quindi una diminuzione della vita utile del cavo, né cadute di tensione e perdite eccessive.