

Calcoli Preliminari degli impianti

Progetto definitivo

Impianto eolico in agro di Ginosa

Comune di Ginosa (TA)

Località Corvellara e Cipolluzzo



N. REV.	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
a	Prima emissione	Ing. Gianluca Pantile Ordine Ing. BR n. 803	Ing. Gianluca Pantile Ordine Ing. BR n. 803	Ing. Massimo Candeo Ordine Ing. BA n. 3755

IT/EOL/E-GINO/PDF/C/RS/15-a
30/09/2023
Corso Vittorio Emanuele II, 6
10128 Torino - Italia
asja.ginosa@pec.it

STM Engineering

STIM ENGINEERING S.r.l.

VIA GARRUBA, 3 - 70121 BARI

Tel. 080.5210232 - Fax 080.5234353

www.stimeng.it - segreteria@stimeng.it

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	OPERE ELETTRICHE INERENTI ALL'IMPIANTO EOLICO	6
4	VERIFICA DELLA PORTATA DELLE CONDUTTURE (IMPIANTO EOLICO)	8
5	PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI (IMPIANTO EOLICO)	9
5.1	DATI DI PROGETTO	9
5.2	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI TERRA	10
5.3	VERIFICA TERMICA E MECCANICA DEL DISPERSORE.....	11
5.4	CALCOLO E VERIFICA DELLA TENSIONE TOTALE DI TERRA U_T	11

1 PREMESSA

La Società ASJA Ginosa S.r.l. (Proponente) intende realizzare un impianto eolico della potenza nominale di 79,20 MW nel Comune di Ginosa (TA).

Con riferimento alla connessione dell'impianto eolico alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), la Proponente ha acquisito la titolarità della Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) identificata dal Codice Pratica n. 202204253 rilasciata da TERNA S.p.A. a mezzo PEC del 27/02/2023, la quale prevedeva come soluzione tecnica di connessione, il collegamento dell'impianto in antenna a 150 kV con una nuova Stazione Elettrica (S.E.) della RTN a 150 kV (nel seguito "S.E. RTN") da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "CP Castellaneta - AQP Ginosa All. - CP Laterza", previa realizzazione di un elettrodotto RTN a 150 kV tra la predetta S.E. RTN e un futuro ampliamento della Stazione Elettrica di trasformazione 380/150 kV della RTN di Castellaneta.

L'intera opera consiste dunque nell'impianto di produzione (impianto eolico), negli elettrodotti di vettoriamento in M.T. a 30 kV (tensione di esercizio dell'impianto eolico) dell'energia elettrica da esso prodotta, e negli impianti di utenza per la connessione ossia la prevista Sottostazione Elettrica Utente M.T./A.T. 30/150 kV (SSEU) ed il collegamento in antenna in A.T. a 150 kV, e di rete per la connessione ossia lo Stallo in A.T. a 150 kV che sarà assegnato nella S.E. RTN.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le principali norme a cui si è fatto in generale riferimento, come ad oggi modificate ed integrate, sono le seguenti:

- CEI 20-13: Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV;
- CEI 20-24: Giunzioni e terminazioni per cavi di energia;
- CEI 20-56: Cavi da distribuzione con isolamento estruso per tensioni nominali da 3,6/6 (7,2) kV a 20,8/36 (42) kV inclusi;
- 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 11-4: Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne;
- 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 11-35: 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., (IIa Ediz., Fasc. 6317, 2001-12);
- 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.

Per quel che concerne la SSEU in particolare, tutte le apparecchiature ed i componenti d'impianto saranno conformi alle relative Specifiche Tecniche TERNA S.p.A.. Le opere sono in ogni caso progettate e saranno costruite e collaudate in osservanza alla regola dell'arte dettata, in particolare, dalle più aggiornate:

- disposizioni nazionali derivanti da leggi, decreti e regolamenti applicabili, con eventuali aggiornamenti, con particolare attenzione a quanto previsto in materia antinfortunistica;
- disposizioni e prescrizioni delle Autorità locali, Enti ed Amministrazioni interessate;
- norme CEI, IEC, CENELEC, ISO, UNI in vigore, con particolare attenzione a quanto previsto in materia di compatibilità elettromagnetica.

Per il progetto degli elettrodotti in M.T. a 30 kV ed in A.T. di collegamento a 150 kV con la S.E. RTN, si è fatto riferimento alle seguenti principali normative, ove applicabili, come ad oggi integrate e modificate:

- CEI 11-4, "Esecuzione delle linee elettriche esterne", quinta edizione, 1998:09;
- CEI 11-60, "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne", seconda edizione, 2002-06;
- CEI 11-17, "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica – Linee in cavo", terza edizione, 2006-07;

- CEI 211-4, "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche", seconda edizione, 2008-09;
- CEI 211-6, "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana", prima edizione, 2001-01;
- CEI 103-6 "Protezione delle linee di telecomunicazione dagli effetti dell'induzione elettromagnetica provocata dalle linee elettriche vicine in caso di guasto", terza edizione, 1997:12;
- CEI 106-11, "Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6) - Parte 1: Linee elettriche aeree e in cavo", prima edizione, 2006:02;
- Norma Tecnica IEC 60287 - "Electric cables - Calculation of the current rating";
- Norma Tecnica CEI 20-21:1998-01, ed. seconda - "Calcolo delle portate dei cavi elettrici. Parte 1. In regime permanente (fattore di carico 100%)";
- Norma Tecnica IEC 60583 - "Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables";
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 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";
- Decreto del Ministero degli interni 24 novembre 1984 - "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale";
- Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 - "Attuazioni direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio" e successive modificazioni;
- Decreto legislativo aprile 2008 n. 81 - "Testo unico sulla sicurezza sul lavoro";
- Decreto Legislativo 1 agosto 2003, n. 259 - "Codice della comunicazione elettronica";
- Norma Tecnica CEI 304-1:2005-11, ed. Prima - "Interferenze elettromagnetica prodotta da linee elettriche su tubazioni metalliche. Identificazione dei rischi e limiti di interferenza";
- Ordinanza Ministeriale 20 marzo 2003, n. 3274 s.m.i.;
- Decreto legislativo n. 152 del 03 aprile 2006 - "Testo Unico sull'ambiente" e s.m.i.;

- Unificazione TERNA "Linee in cavo AT" per l'esecuzione degli elettrodotti in cavo interrato;
- UX LK401 Prescrizioni per il progetto elettrico e la progettazione del tracciato dei collegamenti in cavo, ed. 07/2010;
- UX LK411 Prescrizioni per l'esecuzione delle opere civili connesse alla posa dei cavi, ed. 02/2008.

3 OPERE ELETTRICHE INERENTI ALL'IMPIANTO EOLICO

L'impianto eolico avrà una potenza elettrica complessiva pari a 79,20 MW quale risultante dalla somma delle potenze elettriche dei n. 12 aerogeneratori (WTG) ad asse orizzontale ciascuno della potenza di 6,6 MW.

Relativamente all'impianto di produzione, come evincesi dagli Elaborati 79-a: "Schemi a blocchi distribuzione elettrica e Fibra Ottica" e 80-a: "Schema elettrico unifilare impianto eolico", sono state progettate le seguenti linee elettriche di collegamento in cavo tipo ARE4H5(AR)E 18/30 kV – alluminio, interrato, con tensione di esercizio 30 kV:

- Elettrodotto E10 (tratta WTG 10 - WTG 09 di 918 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 10 all'aerogeneratore WTG 09, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto E9 (tratta WTG 09 – CS1 di 741 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 09 alla Cabina di Sezionamento 1, Sezione: 3x1x240 mm²;
- Elettrodotto E8 (tratta WTG 08 – CS1 di 30 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 08 alla Cabina di Sezionamento 1, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto di vettoriamento V1 (tratta CS1 - SSEU di 9541 metri circa) per il collegamento dalla Cabina di Sezionamento 1 alla SSEU, Sezione 3x1x500 mm²;
- Elettrodotto E12 (tratta WTG 12 - WTG 11 di 1364 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 12 all'aerogeneratore WTG 11, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto E11 (tratta WTG 11 – CS2 di 2738 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 11 alla Cabina di Sezionamento 2, Sezione: 3x1x240 mm²;
- Elettrodotto E7 (tratta WTG 07 – CS2 di 30 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 07 alla Cabina di Sezionamento 2, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto di vettoriamento V2 (tratta CS2 - SSEU di 7538 metri circa) per il collegamento dalla Cabina di Sezionamento 2 alla SSEU, Sezione 3x1x500 mm²;

- Elettrodotto E1 (tratta WTG 01 - WTG 02 di 706 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 01 all'aerogeneratore WTG 02, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto E2 (tratta WTG 02 - CS3 di 1466 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 02 alla Cabina di Sezionamento 3, Sezione: 3x1x240 mm²;
- Elettrodotto E3 (tratta WTG 03 - CS3 di 30 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 03 alla Cabina di Sezionamento 3, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto di vettoriamento V3 (tratta CS3 - SSEU di 6303 metri circa) per il collegamento dalla Cabina di Sezionamento 3 alla SSEU, Sezione 3x1x500 mm²;
- Elettrodotto E6 (tratta WTG 06 - WTG 05 di 1385 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 06 all'aerogeneratore WTG 05, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto E5 (tratta WTG 05 - CS4 di 2007 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 05 alla Cabina di Sezionamento 4, Sezione: 3x1x240 mm²;
- Elettrodotto E4 (tratta WTG 04 - CS4 di 30 metri circa) per il collegamento dall'aerogeneratore WTG 04 alla Cabina di Sezionamento 4, Sezione: 3x1x95 mm²;
- Elettrodotto di vettoriamento V4 (tratta CS4 - SSEU di 5940 metri circa) per il collegamento dalla Cabina di Sezionamento 4 alla SSEU, Sezione 3x1x500 mm²;

Il progetto del sistema elettrico a 30 kV, adeguatamente rappresentato nell'Elaborato 108-a: "Planimetria della distribuzione elettrica", è stato elaborato con l'intento di assicurare una adeguata funzionalità e flessibilità di esercizio e di ridurre, nel contempo, le perdite dell'impianto entro valori accettabili. Il sistema di distribuzione in M.T. dell'impianto eolico e relativo sistema di vettoriamento verso la SSEU così progettato, permette di stimare una caduta di tensione massima del 2,44% ed una perdita di potenza del 1,73%.

Per le condutture in cavo in M.T. a 30 kV, salvo casi di attraversamenti/interferenze particolari, la posa direttamente interrata avverrà ad una profondità media di 1,20 metri. Individuato il cavo tipo ARE4H5(AR)E 18/30 kV - alluminio, interrato, con tensione di esercizio 30 kV, il dimensionamento dei cavi è stato operato considerando un $\cos\Phi=1$, una resistività termica del terreno pari a 2 °C m/W, non prevedendo il raggruppamento delle condutture.

Lungo gli scavi che ospitano le condutture in M.T. a 30 kV sarà prevista la posa di una corda in rame nudo da 50 mm² per il collegamento degli impianti di terra di tutti gli aerogeneratori tra loro ed alle relative Cabine di sezionamento.

4 VERIFICA DELLA PORTATA DELLE CONDUTTURE (IMPIANTO EOLICO)

A partire dal calcolo della corrente di impiego I_b , effettuato considerando un $\cos\Phi=1$, la scelta delle sezioni dei cavi per le singole tratte, è stata operata adottando i parametri forniti dal costruttore PRYSMIAN e qui di seguito riportati:

ARE4H5(AR)E AIR BAG™ COMPACT

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARE4H5(AR)E

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	peso del cavo	raggio minimo di curvatura
<i>conductor cross-section</i>	<i>conductor diameter</i>	<i>diameter over insulation</i>	<i>nominal outer diameter</i>	<i>weight</i>	<i>minimum bending radius</i>
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio p=1 °C m/W	posa interrata a trifoglio p=2 °C m/W
<i>conductor cross-section</i>	<i>open air installation trefoil</i>	<i>underground installation trefoil p=1 °C m/W</i>	<i>underground installation trefoil p=2 °C m/W</i>
(mm ²)	(A)	(A)	(A)

Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	25,5	40,7	1110	550
70	9,7	25,6	40,8	1150	550
95	11,4	26,5	41,8	1240	560
120	12,9	27,4	42,9	1350	580
150	14,0	28,1	43,6	1440	580
185	15,8	29,5	45,1	1580	600
240	18,2	31,5	47,4	1810	630
300	20,8	34,7	50,9	2120	670
400	23,8	37,9	54,6	2520	730
500	26,7	41,0	58,1	2970	770
630	30,5	45,6	63,0	3590	840

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	187	167	131
70	231	204	159
95	279	244	189
120	321	277	214
150	361	310	238
185	415	351	269
240	489	408	311
300	563	459	350
400	657	526	399
500	761	650	453
630	883	682	515

Nella tabella seguente sono state confrontate, per ogni singola linea e considerato il tipo di cavo scelto, la portata della conduttura con la corrente di impiego della conduttura stessa. Nella tabella in questione, si deve intendere con I_b la corrente di impiego della conduttura e con I_z la portata in corrente della conduttura stessa (desumibile dalla precedente tabella in funzione della sezione del cavo).

Dai dati riportati nella tabella si evince chiaramente che le condutture sono correttamente dimensionate per sopportare la relativa corrente di impiego:

In sede di progettazione esecutiva saranno eseguiti i calcoli di dettaglio di "LOAD FLOW" e delle correnti di corto circuito.

Elettrodotto	S	Ib	Iz	Verifica Ib<Iz
	[mm ²]	[A]	[A]	
10	95	127	189	ok
9	240	254	311	ok
8	95	127	189	ok
V1	500	381	453	ok
12	95	127	189	ok
11	240	254	311	ok
7	95	127	189	ok
V2	500	381	453	ok
1	95	127	189	ok
2	240	254	311	ok
3	95	127	189	ok
V3	500	381	453	ok
6	95	127	189	ok
5	240	254	311	ok
4	95	127	189	ok
V4	500	381	453	ok

5 PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI (IMPIANTO EOLICO)

5.1 DATI DI PROGETTO

Il nostro sistema M.T. con tensione nominale 30 kV con neutro isolato è caratterizzato da:

- valore della corrente di guasto a terra, calcolato in base alla norma CEI 11-8, pari a 245 A;
- durata del guasto a terra, da impostare nella programmazione delle protezioni, pari a 0.5 s.

Dai dati iniziali sopra riportati, applicando il metodo di calcolo riportato nell'Allegato A alla norma CEI EN 50522 (CEI 99-3), si ottiene:

- Tensione di contatto ammissibile $U_{tp}=220$ V (Tabella B.3);
- Impedenza totale del corpo umano $Z_t=1225$ Ω (Tabella B.2);
- Limite di corrente nel corpo umano $I_b = 267$ mA;

- Fattore cardiaco HF = 1 relativo al contatto mano-piedi;
- Fattore corporeo BF = 0.75 relativo al contatto mano-piedi;
- Impedenza del corpo ZT = 1000 Ω ;
- Resistenza aggiuntiva della mano RH = 0 Ω (non considerata);
- Resistenza aggiuntiva dei piedi RF1 = 1000 Ω , relativa a scarpe vecchie ed umide;
- Resistività del terreno prossimo alla superficie $\rho S = 100 \Omega m$ relativa a terreno vegetale.

Da questi dati, è possibile calcolare una Tensione di contatto ammissibile a vuoto U_{vTp} pari a 507 V. Si precisa, comunque, che il progetto della rete di terra non può ricondursi alla semplice risoluzione di un problema matematico, a causa dei numerosi e non univocamente determinati parametri da prendere in considerazione, quali ad esempio:

- resistività del terreno non omogenea, né in direzione verticale né in direzione orizzontale;
- presenza di dispersori naturali che alterano in modo non prevedibile il campo elettrico in superficie;
- tipo di pavimentazione e sua finitura;
- umidità del terreno e condizioni ambientali durante le operazioni di verifica strumentale;
- manufatti e reti di terra altrui, nelle immediate vicinanze.

5.2 VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI TERRA

L'impianto di dispersione di ognuno degli aerogeneratori sarà costituito da un doppio anello ciascuno di forma circolare, il primo (interno) di raggio 3 metri ed il secondo (esterno) di raggio 12,5 metri, integrato da n. 8 picchetti verticali di lunghezza pari a 3 m cadauno. Tali impianti, in condizioni normali di esercizio, saranno collegati tra loro, attraverso corda di rame da 50 mm² pertanto essi verranno considerati in parallelo. I valori della resistenza di terra associabili ad ognuno dei dispersori sono i seguenti:

- resistenza dell'anello circolare esterno: 3,06 Ω ;
- resistenza di ognuno dei n. 8 picchetti verticali: 18,6 Ω (questi, messi in parallelo determinano complessivamente una resistenza di terra pari a 2,32 Ω).

Pertanto, considerando il contributo complessivo dei dispersori associati ad ogni turbina otterremo una resistenza di terra pari a $R_t=1,33 \Omega$.

Considerando che gli impianti di dispersione degli aerogeneratori risulteranno collegati in parallelo, la resistenza verso terra complessiva sarà pari a $R_t=1.33/12=0.11 \Omega$.

5.3 VERIFICA TERMICA E MECCANICA DEL DISPERSORE

Sezione minima per garantire la resistenza meccanica ed alla corrosione

Il dispersore orizzontale è costituito da corda di rame nudo, per cui ai sensi dell'Allegato C alla norma CEI EN 50522 (CEI 99-3) dovrà avere una sezione minima di 25 mm².

Per la protezione contro la corrosione è necessario utilizzare materiali tali che il loro contatto non generi coppie elettrolitiche.

Dimensionamento termico del dispersore e dei conduttori di terra

Per effettuare il dimensionamento termico del dispersore si utilizza la formula presente nell'Allegato D alla norma CEI EN 50522 (CEI 99-3), tenendo presente che secondo quanto riportato nell'art.5.3, è possibile ripartire la corrente di guasto tra diversi elementi del dispersore. Secondo tali calcoli per disperdere la corrente di guasto è necessaria una corda di sezione circa 0,89 mm².

Le sezioni utilizzate partono da 35 mm² per cui soddisfano entrambe le condizioni con ampio margine di sicurezza.

5.4 CALCOLO E VERIFICA DELLA TENSIONE TOTALE DI TERRA U_T

Per tale impianto, la tensione totale di terra U_t risulta pari a 27 V.

Considerando che per tale sistema la tensione massima ammissibile è $U_{tp} = 220 \text{ V}$, il valore calcolato risulta essere inferiore, pertanto l'impianto di terra e le relative protezioni, risultano essere idonee alla protezione dai contatti indiretti delle persone, ai sensi della normativa vigente.

Resta inteso che una volta realizzato l'impianto, per valutarne l'efficacia, si rende necessaria una misura in campo eseguita da professionista abilitato.