REGIONE SICILIANA	COMUNE DI SCLAFANI BAGNI	COMUNE DI VALLELUNGA PRATAMENO	COMUNE DI VILLALBA	COMUNE DI CASTELLANA SICULA

Il Committente:

FLYNIS PV 35 S.r.l.

Via Cappuccio 12, 20123 Milano (MI)
Tel. +39 0118123575
C.F. e P.IVA 12446530961
flynispv35srl@legalmail.it

Il Progettista:

Agon engineering

Entrope srl

dott. ing. VITTORIO RANDAZZO

Firmato digitalmente da:
VITTORIO MARIA RANDAZZO

Firmato digitalmente da:
dott. ing. VINCENZO DI MARCO

Titolo del progetto:

PARCO EOLICO "CAPELVENERE"
POTENZA NOMINALE 39,6 MW

Documento:	N° Documento:
PROGETTO DEFINITIVO	F35_SCL_D08_REL

ID PROGETTO:				TIPOLOGIA:		FORMATO:	

TITOLO:

RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO CAVI A 36 KV

FOGLIO:		SCALA:		NA:

Rev:	Data	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0				V.D.	V.R.

INDICE

1. INTRODUZIONE 2

2. PROGETTO 4

2.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO 4

2.2 DATI DI PROGETTO 6

3 CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI 8

4. CRITERI DI CALCOLO 10

4.1 CALCOLO DELLA PORTATA 11

4.2 CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO 11

4.3 CALCOLO DELLE CADUTE DI TENSIONI 12

5. PROTEZIONE DEI CIRCUITI DALLE SOVRACORRENTI 13

5.1 PROTEZIONE DAL SOVRACCARICO 13

5.2 PROTEZIONE DAL CORTO CIRCUITO 13

6. RISULTATI DI CALCOLO 15

1. INTRODUZIONE

Su incarico di Flynis PV 35 s.r.l., la società AGON Engineering S.r.l. ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico ricadente all'interno del territorio comunale di Sclafani Bagni (PA).

Il progetto prevede l'installazione di n. 6 nuovi aerogeneratori con potenza unitaria di 6,6 MW, per una potenza complessiva di impianto di 39,6 MW.

Nel dettaglio il progetto prevede l'installazione di n. 6 tutti ricadenti all'interno del comune di Sclafani Bagni (PA); la viabilità di esercizio, nonché il cavidotto di collegamento alla rete elettrica nazionale, interesserà il medesimo comune oltre che i comuni di Vallelunga Pratameno (CL), Villalba (CL) e Castellana Sicula (PA).

Nel territorio comunale di Villalba (CL), inoltre, sarà realizzata una nuova Stazione Utente di smistamento (SU) vicino alla quale sarà altresì realizzata una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

Il presente documento descrive il calcolo preliminare di dimensionamento e la sezione dei cavi di Alta Tensione della linea, o dorsale, di collegamento delle 6 torri di generazione eolica che saranno collegate tra loro in entra-esci (i cui collegamenti sono evidenziati negli schemi unifilari allegati) tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 36 kV, posizionati prevalentemente sotto la sede stradale (asfaltata e sterrata, sia esistente che da realizzare) dei comuni citati. In uscita dalla torre 3 e dalla torre 6 si dipartono le terne (n. 2 complessivamente) di collegamento dell'impianto eolico alla nuova Stazione Utente (SU). La linea in uscita dalla SU si andrà ad attestare sullo stallo previsto all'interno di una

nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna". Il tracciato dei cavidotti costituiti da 2 terne a 36 KV fino alla SU e da un sistema di doppia terna (in parallelo) dalla SU fino alla stazione elettrica, è identificabile sulle planimetrie allegate al Progetto (Planimetria del tracciato del cavidotto).

2. PROGETTO

2.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'impianto eolico è costituito da sei (6) aerogeneratori, ciascuno dei quali comprende un generatore asincrono trifase (V = 690 V, P = 6,6 MW), per una potenza complessiva di 39,6 MW.

Ciascun generatore eolico produrrà energia elettrica alla tensione di 690 V c.a.

All'interno di ciascuna torre sarà installato un trasformatore 0.69/36 kV per la trasformazione della tensione in AT a 36 kV.

I 6 aerogeneratori sono interconnessi tra loro tramite un cavidotto interrato in AT avente tensione nominale 36 kV. Questi convergeranno ai vari nodi e successivamente portati al quadro di AT del locale a 36 kV che sarà posizionato all'interno dell'area dedicata alla Stazione Utente.

All'interno di questa sarà posizionato un quadro in alta tensione a 36 kV in cui convergeranno le due dorsali (2 linee) in AT di collegamento delle turbine eoliche; in uscita, si avrà una dorsale a 36 kV (1 linea a doppia terna) sempre in AT, che si andrà quindi ad attestare sullo stallo utente a 36 kV previsto all'interno della futura stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna", previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

In dettaglio l'impianto e le opere elettriche necessarie al collegamento alla rete AT della RTN dell'energia prodotta dal parco eolico sono le seguenti:

- n.6 aerogeneratori ad asse orizzontale;
- n.6 cabine di trasformazione poste all'interno delle torri;
- cavidotti interrati in alta tensione (36 kV) per il collegamento di tutti gli aerogeneratori previsti nel progetto;

- n.2 Dorsali in partenza dagli ultimi nodi fino alla SU stazione di utenza in cui sarà posizionato il quadro AT a 36 kV;
- n.1 stazione elettrica di utenza a 36 kV ubicata nel comune di Villalba (CL);
- collegamento a 36 kV sullo stallo previsto all'interno della stazione elettrica stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN "Chiaramonte Gulfi - Ciminna". Tale sezione permette la connessione dei produttori a 36 kV sulla RTN.

Tutti i dettagli tecnici delle suddette opere sono descritti nelle relazioni allegate al presente progetto.

2.2 DATI DI PROGETTO

In Tabella 1 si riportano i dati di progetto utilizzati per il dimensionamento dei cavi.

Dati di progetto	Valore
Tensione di rete impianto eolico	36kV
Materiale del conduttore	Rame
Profondità di posa	1,1- 1,2 m
Temperatura del terreno	25 °C
Resistività del terreno	2 °C m/W
Potenza nominale aerogeneratori	6,6MW
Potenza nominale di impianto	39,6MW
Fattore di potenza	0,95
Caduta di tensione massima ammissibile per tratta	4%

Tabella 1 - Dati di progetto per il dimensionamento dei cavi a 36 kV

La lunghezza di ogni tratta di collegamento in cavo è stata ricavata dalla planimetria generale di impianto in cui è mostrata la posizione delle torri degli aerogeneratori ed il percorso dei cavi.

La lunghezza di cavo risultante è stata quindi aumentata per tenere in considerazione delle risalite nelle torri, sfridi, variazione di quota del terreno e piccole deviazioni di percorso.

Sono state individuate le seguenti linee in partenza dagli aerogeneratori fino alla SU (passando per i nodi indicati in planimetria):

- Linea 1: collega le torri 1, 2 e 3, e da quest'ultima alla Stazione Utente;

- Linea 2: collega le torri 4, 5 e 6, e da quest'ultima alla Stazione Utente;
- Linea 3: Linea di collegamento tra Stazione Utente e la nuova SSE.

3 CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI

Scopo del presente paragrafo è quello di fornire le caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavi che verranno utilizzati per il collegamento in alta tensione.

I cavi AT utilizzati per le linee elettriche interrate, per il collegamento tra gli aerogeneratori, così come i cavi tra questi ultimi e la stazione di utenza, saranno del tipo unipolare, adatti a posa interrata, con conduttore in Cu, isolamento HEPR qualità G7, schermo fili di rame rosso con nastro di rame, guaina in PVC.

I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con U_0/U=26/45 kV e tensione massima U_m = 52 kV, sigla di designazione RG7H1R[1]

Il cavidotto AT che interessa il collegamento tra gli aerogeneratori e la sotto stazione di utenza seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, sarà costituito da cavi unipolari (ad elica visibile) posti all'interno di tubazione e direttamente interrati, ovvero modalità di posa tipo **M**, ad eccezione degli attraversamenti di opere stradali e o fluviali richieste dagli enti concessori, per i quali sarà utilizzata una tipologia di posa che prevede i cavi unipolari in tubo interrato, modalità di posa **N**, mediante l'uso della tecnica con trivellazione orizzontale controllata (TOC). Sulla maggior parte del cavidotto interrato, la posa verrà eseguita realizzando uno scavo di profondità 1.10-1.20 m (la prima profondità è da considerarsi in terreno agricolo) e larghezza alla base variabile in base al numero di conduttori presenti; in alcune sezioni in corrispondenza delle interferenze rilevate (Rel.02 - Risoluzione Interferenze), la profondità di posa assume valori differenti.

[1] Si ritiene importante ricordare che, nel momento in cui questa relazione viene redatta, non esistono schede tecniche di cavi che seguano il nuovo standard Terna a 36 kV (livello di isolamento 36/40,5 kV)

La sequenza di posa dei vari materiali, partendo dal fondo dello scavo, sarà la seguente.

- Strato di sabbia di 10 cm;
- Cavi posati a trifoglio di sezione 50, 120 e 500 mm^2 (2x240 mm^2 per il collegamento della SU alla SE) entro corrugati di sezione opportuna;
- Posa della lastra di protezione supplementare;
- Posa del Nastro monitore (a non meno di 20 cm dai cavi);
- Riempimento finale con il materiale di risulta dello scavo e ripristino del manto stradale ove necessario, secondo le indicazioni riportate nelle concessioni degli enti proprietari.

Lungo tutto lo scavo dei collegamenti tra gli aerogeneratori sarà posata una corda in rame nudo di sezione 95 mm^2 per la messa a terra dell'impianto.

Le terminazioni e le giunzioni per i cavi di energia devono risultare idonee a sopportare le sollecitazioni elettriche, termiche e meccaniche previste durante l'esercizio dei cavi in condizioni ordinarie ed anomale (sovracorrenti e sovratensioni). La tensione di designazione U degli accessori deve essere almeno uguale alla tensione nominale del sistema al quale sono destinati, ovvero 36 kV. I componenti e i manufatti adottati per la protezione meccanica supplementare devono essere progettati per sopportare, in relazione alla profondità di posa, le prevedibili sollecitazioni determinate dai carichi statici, dal traffico veicolare o da attrezzi manuali di scavo, secondo quanto previsto nella norma CEI 11-17. I percorsi interrati dei cavi devono essere segnalati, in modo tale da rendere evidente la loro presenza in caso di ulteriori scavi, mediante l'utilizzo di nastri monitori posati nel terreno a non meno di 0.2 m al di sopra dei cavi, secondo quanto prescritto dalla norma CEI 11-17. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Alta Tensione".

4. CRITERI DI CALCOLO

I cavi sono stati dimensionati seguendo la normativa di riferimento. In particolare, le norme tecniche di riferimento sono le seguenti:

- **IEC 60840:** Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um= 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV)
- **CEI EN 60909 (11-25)** – Calcolo di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata;
- **IEC 60287**: Electric cables – Calculation of the current rating;
- **CEI 11-17:** Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo.

In particolare, la sezione dei cavi è stata scelta considerando i seguenti aspetti:

- Portata nominale
- Massima caduta di tensione ammissibile
- Tenuta al corto circuito
- Tipologia di posa (Trifoglio)
- Condizioni ambientali

4.1 CALCOLO DELLA PORTATA

La portata dei cavi in regime permanente viene determinata in accordo alla norma CEI 11-17, tenendo conto del declassamento dovuto alla temperatura, profondità e tipologia di posa.

In particolare, è utilizzata la formula seguente:

$$Iz = I_0 \times k1 \times k2 \times k3 \times k4$$

dove:

- I_0 = portata in condizioni nominali dei conduttori con isolante polimerico, E4 e G7, ed è ricavata dai datasheet del costruttore;
- k_1 = fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20 °C
  0,96
- k_2 = fattore di correzione che tiene conto del numero di circuiti affiancati
  0,80 per due circuiti
- k_3 = fattore di correzione per profondità di posa diversa
  0,96
- k_4 = di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento
  0,90

4.2 CALCOLO DELLE CORRENTI DI CORTO CIRCUITO

In termini di correnti di corto circuito la sezione minima del conduttore può essere calcolata tramite la seguente equazione:

$$Smin = \frac{Icc * \sqrt{t}}{C}$$

Dove:

- Icc = Corrente di corto circuito (A)
- C = coefficiente definito dalla Norma CEI 11-17 (Tabella 4.2.2)
- t = Tempo di eliminazione del corto circuito

4.3 CALCOLO DELLE CADUTE DI TENSIONI

Sul percorso considerato la caduta di tensione è calcolata secondo la formula:

$$\Delta V = \sqrt{3} * I * L * (Rcos\varphi + Xsen\varphi)$$

5. PROTEZIONE DEI CIRCUITI DALLE SOVRACORRENTI

5.1 PROTEZIONE DAL SOVRACCARICO

La protezione dei circuiti nei confronti di un sovraccarico, per via della tipologia di impianto elettrico in oggetto, è stata omessa in quanto sarà impossibile l'insorgere di un sovraccarico essendo le potenze in gioco ben definite e limitate dal valore di producibilità massima delle turbine eoliche. Pertanto, il dimensionamento dei cavi di distribuzione garantisce intrinsecamente la condizione di normale esercizio in relazione alle correnti di impiego in gioco.

Tuttavia, le protezioni dei circuiti sono state scelte garantendo che la corrente nominale dell'interruttore automatico deve essere scelta in relazione alla portata del cavo, ossia deve essere superiore o uguale alla corrente massima transitabile nel cavo per un tempo indefinito, senza che in questo si raggiungano sovratemperature inaccettabili.

5.2 PROTEZIONE DAL CORTO CIRCUITO

La protezione contro i cortocircuiti è stata perseguita con interruttore e relè controllati da relè di protezione posti nel quadro di distribuzione generale della stazione utente a 36 kV. Secondo la norma IEC 60364-5-54, deve essere scelta una sezione minima del cavo che rispetti la seguente formula:

$$I^2 * t < K^2 * S^2$$

Dove:

- t è la durata del guasto in secondi;

- S rappresenta la sezione del cavo in mm^2;
- I è il valore della corrente di corto circuito in Ampere;
- K è una costante elettrica dei cavi che dipende sia dal materiale del conduttore sia dal tipo di isolante del cavo scelto.

In merito al valore di corrente di cortocircuito scelto a livello del quadro di sottostazione, si è considerata la massima delle correnti ammissibili dalle celle di alta tensione. Ci si è posti quindi nelle condizioni peggiori di esercizio, garantendo quindi un corretto dimensionamento dei cavi. Il soddisfacimento della relazione di cui sopra garantisce che il cavo, nell'intervallo di tempo compreso tra lo stabilirsi del cortocircuito e l'istante di apertura del circuito da parte delle protezioni, non risulterà danneggiato dalla sovratemperatura determinata dalla corrente di cortocircuito stessa.

6. RISULTATI DI CALCOLO

I risultati del calcolo di dimensionamento sono riportati nella pagina successiva, con evidenziate le sezioni preliminarmente scelte per il progetto (50 mm^2, 120 mm^2, 500 mm^2 e 240 mm^2 per il collegamento della SU alla SE).

Come si evince dalla tabella, il valore della C.d.t. relativa alle linee AT di ogni collegamento tra gli aerogeneratori è inferiore al 4 % previsto.

Linee	Tratta			Caratteristiche del sistema					Caratteristiche dei Cavi					Massima Corrente Ammissibile							Calcolo C.d.T.							Tipo Cavi
	Da	A	Lungh.	Sistema	cos	Potenza	Tensione nominale	Corrente di Impiego (Ib)	Sezione	Lungh.	Materiale	Tensione di esercizio	Portata (Iz)	Fattori di Correzione				Portata corr.	Verifica	S I_{cc}	r	x	cos	sen	Δv	ΔV	ΔV %	
			km		Φ	kW	V	A	mmq	km	cond.	kV	A	K1	K2	K3	K4	A		mm^2	Ω/km	Ω/km	Φ	Φ	V	V		
Linea 1	WTG 1	WTG 2	1,50	3,00	0,95	6600,00	36000	111,42	50	1,500	Cu	26/45	205,000	0,96	0,80	0,96	0,90	136,03	OK	38	0,494	0,150	0,95	0,31	0,893	149	0,415	RG7H1R 26/45 kV
	WTG 2	WTG 3	1,00	3,00	0,95	13200,00	36000	222,84	120	1,000	Cu	26/45	355,00	0,96	0,80	0,96	0,90	235,56	OK	76	0,196	0,140	0,95	0,31	0,398	89	0,25	
	WTG 3	SU	22,500	3,00	0,95	19800,00	36000	334,27	500	22,500	Cu	26/45	735,00	0,96	0,80	0,96	0,90	487,71	OK	115	0,052	0,110	0,95	0,31	0,14	1083,98	3,01	
Linea 2	WTG 4	WTG 6	3,000	3,00	0,95	6600,00	36000	111,42	50	3,000	Cu	26/45	205,00	0,96	0,80	0,96	0,90	136,03	OK	38	0,494	0,150	0,95	0,31	0,893	299	0,830	
	WTG 5	WTG 6	1,000	3,00	0,95	6600,00	36000	111,42	50	1,000	Cu	26/45	205,00	0,96	0,80	0,96	0,90	136,03	OK	38	0,494	0,150	0,95	0,31	0,89	99,54	0,28	
	WTG 6	SU	20,500	3,00	0,95	19800,00	36000	334,27	500	20,50	Cu	26/45	735,00	0,96	0,80	0,96	0,90	487,71	OK	115	0,052	0,110	0,95	0,31	0,14	987,63	2,74	
Linea 3	SU	SE Terna	0,550	3,00	0,95	39600,00	36000	668,53	2x240	0,550	Cu	26/45	2x510	0,96	0,80	0,96	0,90	676,82	OK	229	0,05	0,06	0,95	0,31	0,11	41,64	0,116	