



PROGETTO DI COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 37,2 MWp DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI GARAGUSO (MT) E SAN MAURO FORTE (MT) CON LE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ELETTRICHE.

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE ELETTRICHE

Rev. 0.0

Data: 27 Febbraio 2023

WIND15-REL002

Committente:

REPSOL SAN MAURO S.r.l.
via Michele Mercati n. 39
00197 Roma

Incaricato:

Queequeg Renewables, ltd
Unit 3.21, 1110 Great West Road
TW80GP London (UK)
Company number: 111780524
email: mail@quenter.co.uk

Il progettista:

Ing. Alessandro Zanini



INDICE

1	Introduzione	3
2	Norme e prescrizioni di riferimento.....	3
3	Generalità sul progetto della centrale eolica della Parco eolico	3
4	Cabina aerogeneratore	3
5	Elettrodotti	4
6	Sviluppo del tracciato dell'elettrodotto interrato AT	6
7	Calcoli e verifiche relativi al progetto dell'elettrodotto interrato	6
8	Conclusioni	9
9	Allegato "Calcoli di verifica cadute di tensione cavi AT"	10
10	Allegato "Scheda cavi AT"	10

1 Introduzione

La presente relazione è stata effettuata al fine del corretto dimensionamento degli elettrodotti interrati in alta tensione a 36 kV, per il vettoriamento dell'energia prodotta della centrale eolica da 37,2 MVA di proprietà della Soc. Repsol San Mauro S.r.l. fino alla cabina di parallelo AT 36 kV.

Tale cavidotto, verrà realizzato, con apposito scavo, sul tracciato di strade esistenti o da realizzare ex-novo nel territorio comunale di Garaguso e di San Mauro Forte, in provincia di Matera.

2 Norme e prescrizioni di riferimento

Per i cavidotti l'esecuzione delle forniture e dei montaggi sarà fatta secondo tutte le regole dell'arte e sarà in accordo alle seguenti norme e prescrizioni:

In particolare si fa esplicito riferimento alle Norme:

-) C.E.I. (Comitato Elettrotecnico Italiano);
-) CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – linee in cavo";
-) I.E.C. (International Electrotechnical Commission);

3 Generalità sul progetto della centrale eolica della Parco eolico

Nella configurazione finale dell'impianto eolico "*Parco eolico di Garaguso*" è previsto che, nel territorio dei Comune di Garaguso, vengano installati n° 6 aerogeneratori ad asse orizzontale (WTG), del tipo "*SG 170*" della potenza elettrica nominale di 6.200 kW cadauno. La potenza elettrica installata, considerando l'impianto composto da n° 6 macchine da 6.200 kW, risulta essere pari quindi a 37,2 MW.

4 Cabina aerogeneratore

In ogni aerogeneratore, all'interno della torre di sostegno sono contenute tutte le apparecchiature di bassa tensione (raddrizzatori, inverter, quadro di comando e controllo aerogeneratore) e di media tensione (trasformatore BT/AT, quadro AT di sezionamento e protezione). Dal generatore elettrico posto all'interno della navicella, i cavi eserciti a 690 V trasportano l'energia elettrica prodotta al trasformatore (MT) in cui avviene l'elevazione ad una tensione di 36 kV (vedi schema di turbina in fig. 1)

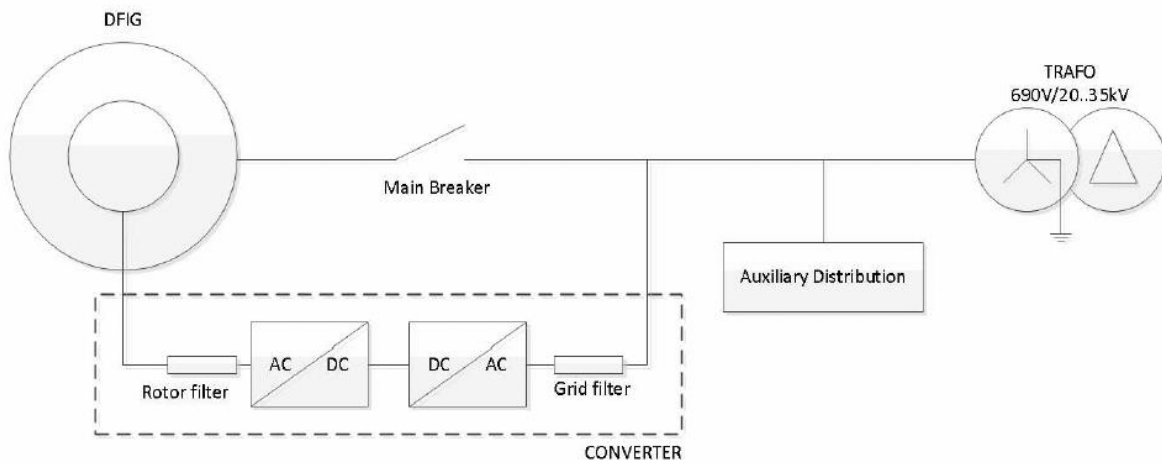


Fig. 1 – Schema di Turbina SG170

Di qui l'energia viene immessa nei cavi interrati al fine di trasportarla verso la cabina di parallelo AT 36 kV che sarà posta nelle vicinanze della stazione RTN “Garaguso”.
 Il percorso del cavidotto fino alla cabina 36 kV interesserà più linee AT 36 kV secondo la disposizione riportata in fig. 2.

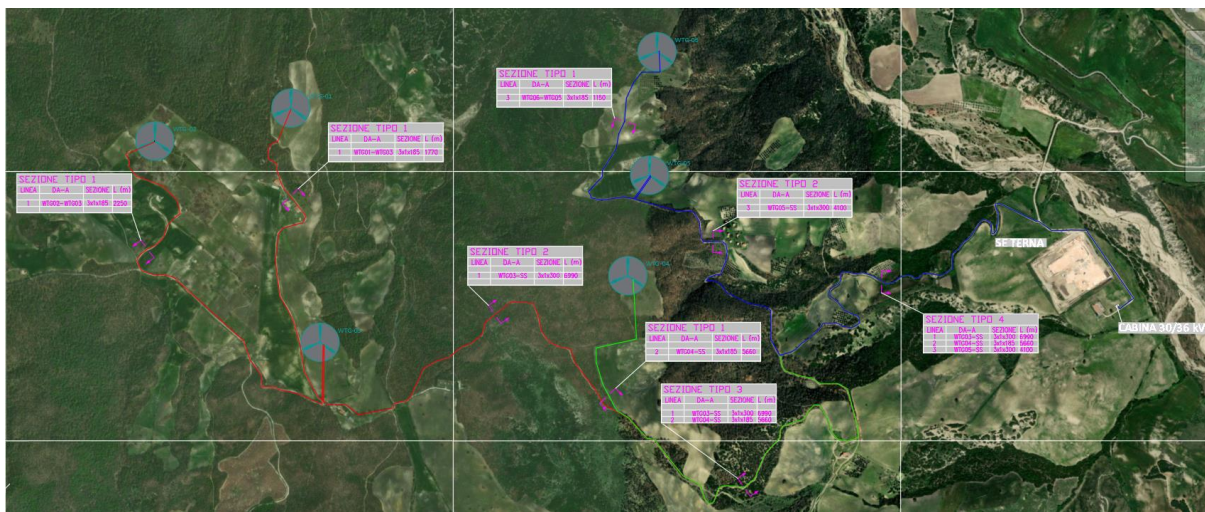


Fig. 2 – disposizione dei wtg's su ortofoto

5 Elettrodotti

Il trasporto dell'energia in AT avverrà mediante cavi interrati posati sul letto di sabbia, secondo quanto descritto dalla modalità “M”¹ delle norme CEI 11-17.
 Per il dimensionamento del cavidotto si è adottata la tensione di esercizio pari a 36 kV.

¹ Corrisponde, sulla citata norma CEI 11-17, ad una modalità di posa di cavi interrati.

I cavi considerati sono del tipo armonizzato RG7H1R Umax 52 kV ad elica visibile in rame, isolati in XLPE (polietilene reticolato).

La scelta delle sezioni dei cavi suddetti, è stata effettuata con l'obiettivo di mantenere le perdite di energia (su ciascuna linea MT) al di sotto del valore di soglia imposto del 2%.

La sezione dei cavi di ciascun tronco di linea è stata calcolata in modo da essere adeguata all'energia da trasportare nelle condizioni di massima generazione delle turbine (6.200 kW).

La portata dei cavi considerati, ad una profondità media di 1,00 m con temperatura del terreno di 25° C, resistività termica del terreno stesso pari a 1° C m/W, è indicata nella Tab. 1:

Tab. 1
Caratteristiche tecniche/Technical characteristics
U max: 52 kV

Formazione Size	Ø indicativo conduttore Approx. conduct. Ø	Spessore medio isolante Average insulation thickness	Ø esterno max Max outer Ø	Peso indicativo cavo Approx. cable weight	Portata di corrente Current rating			
					A			
					in aria In air		interrato* buried*	
n° x mm ²	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat
1 x 70	9,7	10,3	41,9	2150,0	280,0	315,0	255,0	260,0
1 x 95	11,4	10,3	43,8	2490,0	340,0	380,0	300,0	310,0
1 x 120	12,9	10,0	44,8	2735,0	395,0	440,0	355,0	365,0
1 x 150	14,3	9,5	45,1	3020,0	445,0	495,0	385,0	395,0
1 x 185	16,0	9,3	47,1	3395,0	510,0	570,0	440,0	450,0
1 x 240	18,3	9,3	49,2	4025,0	600,0	665,0	510,0	520,0
1 x 300	21,0	9,0	52,2	4725,0	695,0	760,0	570,0	580,0
1 x 400	23,2	9,0	54,8	5635,0	800,0	875,0	650,0	655,0
1 x 500	26,1	9,0	58,6	6825,0	930,0	1010,0	735,0	740,0
1 x 630	30,3	9,0	62,7	8260,0	1070,0	1180,0	835,0	845,0

*Resistività termica del terreno 100°C cm/W
* Ground thermal resistivity 100°C cm/W

Di seguito, in Tab. 2, si riportano anche i valori unitari della **resistenza** e della **reattanza** di linea alla frequenza di 50 Hz.

Tab. 2
Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics

Formazione Size	Resistenza elettrica a 20°C Max. electrical resistance at 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz Conductor apparent resistance at 90°C and 50Hz		Reattanza di fase Phase reactance		Capacità a 50Hz Capacity at 50Hz
		a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat	
		Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	
1 x 70	0,268	0,342	0,342	0,15	0,21	0,15
1 x 95	0,193	0,246	0,246	0,14	0,20	0,16
1 x 120	0,153	0,196	0,196	0,14	0,20	0,18
1 x 150	0,124	0,159	0,158	0,13	0,19	0,20
1 x 185	0,0991	0,128	0,127	0,13	0,19	0,21
1 x 240	0,0754	0,0985	0,0972	0,12	0,18	0,23
1 x 300	0,0601	0,0797	0,0779	0,12	0,18	0,26
1 x 400	0,0470	0,0638	0,0616	0,11	0,17	0,28
1 x 500	0,0366	0,0517	0,0489	0,11	0,17	0,31
1 x 630	0,0283	0,0425	0,0389	0,10	0,16	0,34

I cavi prescelti risultano tali da garantire una caduta di tensione ($DV_{MAX} \leq 2\%$) in ciascuna linea ampiamente contenute entro i limiti determinati dalle regolazioni di tensione consentite dai trasformatori.

La verifica della selezione dei cavi è riportata nel capitolo dedicato ai *calcoli di verifica* che costituisce parte fondamentale della presente relazione.

Su tale sezione di *calcoli di verifica* viene riportata la stima della “*caduta di tensione*” (DV) lungo le diverse linee elettriche interrate in oggetto, al fine di verificare che $DV_{Max} \leq 2\%$ di $V_{esercizio}$.

6 Sviluppo del tracciato dell'elettrodotto interrato AT

Il tracciato del cavidotto interrato si sviluppa nel territorio dei Comuni di Garaguso e San Mauro Forte, in provincia di Matera.

Il detto tracciato, suddiviso in n° 3 linee afferenti alla cabina di parallelo AT (36 kV), può essere riassunto nel seguente prospetto:

Linea 1	11.010 m
Linea 2	5.660 m
Linea 3	5.250 m

Il tracciato del cavidotto interrato in media tensione interessa strade esistenti e nuove piste sterrate previste dalla progettazione della centrale, attraverso fondi di privati.

7 Calcoli e verifiche relativi al progetto dell'elettrodotto interrato

Premesso che la singola turbina ha una potenza di 6.200 kW, che corrisponde una tensione di generazione di 690 V, considerando la sezione a valle del trasformatore di macchina (BT/AT) che eleva alla tensione di 36 kV, si deriva il calcolo e le verifiche adottate sul progetto del cavidotto in esame che contengono:

1. il procedimento di verifica del dimensionamento della sezione di ciascun cavo, è stato effettuato considerando una portata di corrente massima di generazione ($P=P_{nominale}$);
2. il calcolo e la verifica che la caduta di tensione di ciascuna linea sia $< 2\% V_{esercizio}$.

Per quanto riguarda il punto 1, osserviamo che l'aliquota di intensità di corrente prodotta da ciascun aerogeneratore è data da:

$$I_{WTG} = \frac{P_{WTG}}{V_{eser} \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3}} \quad \text{da cui:} \quad I_{WTG} = 104,79 \text{ A}$$

(avendo assunto un valore del $\cos \phi = 0,95$).

Da cui avendo al massimo n.3 WTG's in serie per ciascuna linea, si raggiungerà una massima corrente di generazione transitante nella linea (alla condizione di $P = P_{nominale}$ per ciascuna turbina) pari a:

$$I_{LINEA_MAX} = 314,37 \text{ A}$$

Dai dati del cavo in oggetto, riportati in Tab. 1, considerando poi i coefficienti correttivi moltiplicativi della portata dovuti: alla *profondità di posa del cavo*, alle *caratteristiche di posa*, alla *temperatura del terreno* e alla *resistività termica del terreno*, che vengono riportate nella Tab. 3 seguente, otterremo che la massima portata ammissibile di ciascuna linea decresce.

Tab. 3

Resistività termica del terreno (100° C cm/W)	Numero gruppi cavi posati in terra (N° = 4)	Profondità di posa (h = 1 m)	Temperatura dell'ambiente (20°C)
K = 1	K ₁ = 0,74 (dist. tra terne di cavi = 40 cm)	K ₂ = 1	K ₃ = 1

Da cui risulta che, come indicato in Tab. 4, le portate risultano ridotte e si otterrà rispettivamente:

Tab.4

Sezione (mmq)	Portata ridotta (A)
S = 185 mmq	I _{MAX} [*] = 325 A ²
S = 240 mmq	I _{MAX} [*] = 377 A
S = 300 mmq	I _{MAX} [*] = 422 A
S = 400 mmq	I _{MAX} [*] = 481 A
S = 500 mmq	I _{MAX} [*] = 544 A
S = 630 mmq	I _{MAX} [*] = 618 A

Pertanto la configurazione finale dell'impianto, risulta essere quella riportata in Figura 3:

² Con tale sezione la corrente transitante è sempre quella di un solo WTG e quindi pari a max 104,79 A.

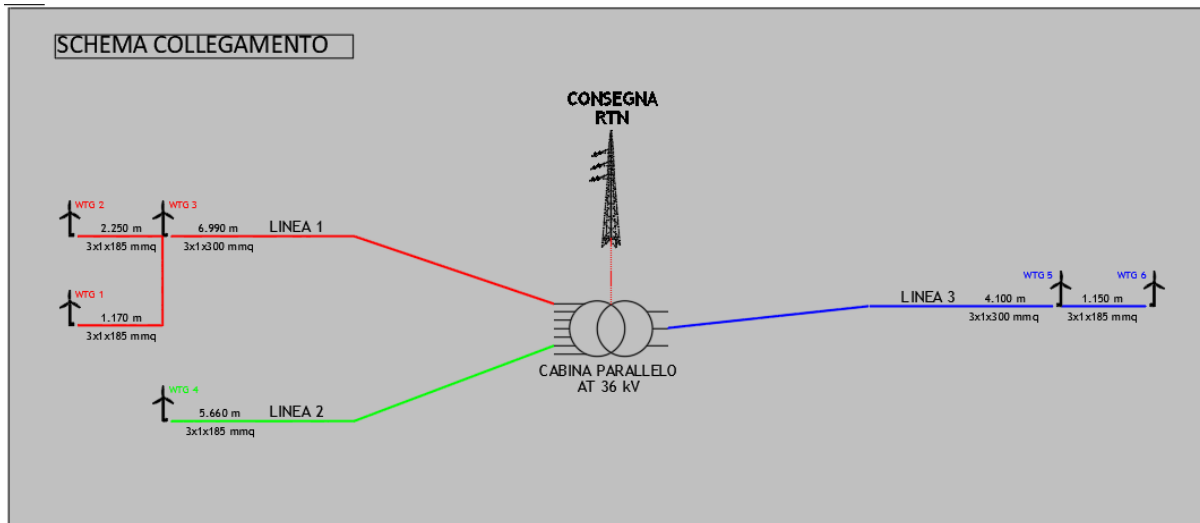


Fig.3 – schema di collegamento wtg's

Per quanto riguarda il calcolo di verifica della *caduta di tensione* si avrà:

$$DV = K \cdot L \cdot I \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (V)$$

Dove:

$K = \sqrt{3}$ (linee trifase);

L = lunghezza della linea in km;

A = corrente in Ampere;

R = resistenza elettrica chilometrica apparente di fase alla $T_{eser.}$ in W/ km;

X = reattanza di fase della linea in W/ km;

φ = angolo di sfasamento.

La caduta di tensione è stata calcolata per ciascuna tratta e i valori ottenuti sono stati sommati, nei tratti che risultano in serie, per avere un risultato totale della caduta di tensione di ciascuna linea costituente l'elettrodotto interrato.

Infine, è stata calcolata anche la *caduta di tensione percentuale* in relazione alla tensione di esercizio del cavidotto interrato:

$$DV\% = DV_{Tot} / V_{eserc.}$$

8 Conclusioni

Nell'excursus sopra effettuato è stata esposta la descrizione complessiva del progetto di dimensionamento dell'elettrodotto interrato AT per il collegamento della centrale eolica sita nel territorio dei Comuni di Garaguso e San Mauro Forte (MT).

Alla luce dei risultati ottenuti dalla verifica, appare evidente che, le sezioni scelte risultano sicuramente adeguate, infatti, le cadute di tensione risultano tutte al di sotto dell'obbiettivo del 2%.

9 Allegato "Calcoli di verifica cadute di tensione cavi AT"

Linea n. 1

LINEA	TRATTO	PARAM.	UNGHEZZ	zione Cav	n. trecce	Posa	DV	
id.	id.	-	m	mm2	-		V	
1	1	WTG2-WTG3	2250	185	1	interrata	40,1	
1	2	WTG1-WTG3	1770	185	1	interrata	31,6	
1	3	WTG3-SS	6990	300	1	interrata	240,2	DV%
TOT			11010				311,9	0,87%

Linea n. 2

LINEA	TRATTO	PARAM.	UNGHEZZ	zione Cav	n. trecce	Posa	DV	
id.	id.	-	m	mm2	-		V	
2	1	WTG4-SS	5660	185	1	interrata	100,8	DV%
TOT			5660				100,8	0,28%

Linea n. 3

LINEA	TRATTO	PARAM.	UNGHEZZ	zione Cav	n. trecce	Posa	DV	
id.	id.	-	m	mm2	-		V	
3	1	WTG6-WTG5	1150	185	1	interrata	20,5	
3	2	WTG5-SS	4100	300	1	interrata	45,4	DV%
TOT			5250				65,9	0,18%

10 Allegato "Scheda cavi AT"

RG7H1R 26/45 kV								
Caratteristiche tecniche/Technical characteristics								
U max: 52 kV								
Formazione Size	Ø indicativo conduttore Approx. conduct. Ø	Spessore medio isolante Average insulation thickness	Ø esterno max Max outer Ø	Peso indicativo cavo Approx. cable weight	Portata di corrente Current rating			
					A			
n° x mm ²	mm	mm	mm	kg/km	in aria In air		interato* buried*	
					a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat
1 x 70	9,7	10,3	41,9	2150,0	280,0	315,0	255,0	260,0
1 x 95	11,4	10,3	43,8	2490,0	340,0	380,0	300,0	310,0
1 x 120	12,9	10,0	44,8	2735,0	395,0	440,0	355,0	365,0
1 x 150	14,3	9,5	45,1	3020,0	445,0	495,0	385,0	395,0
1 x 185	16,0	9,3	47,1	3395,0	510,0	570,0	440,0	450,0
1 x 240	18,3	9,3	49,2	4025,0	600,0	665,0	510,0	520,0
1 x 300	21,0	9,0	52,2	4725,0	695,0	760,0	570,0	580,0
1 x 400	23,2	9,0	54,8	5635,0	800,0	875,0	650,0	655,0
1 x 500	26,1	9,0	58,6	6825,0	930,0	1010,0	735,0	740,0
1 x 630	30,3	9,0	62,7	8260,0	1070,0	1180,0	835,0	845,0

*Resistività termica del terreno 100°C cm/W
* Ground thermal resistivity 100°C cm/W

Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics						
Formazione Size	Resistenza elettrica a 20°C Max. electrical resistance at 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz Conductor apparent resistance at 90°C and 50Hz		Reattanza di fase Phase reactance		Capacità a 50Hz Capacity at 50Hz
		a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat	
		Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	
1 x 70	0,268	0,342	0,342	0,15	0,21	0,15
1 x 95	0,193	0,246	0,246	0,14	0,20	0,16
1 x 120	0,153	0,196	0,196	0,14	0,20	0,18
1 x 150	0,124	0,159	0,158	0,13	0,19	0,20
1 x 185	0,0991	0,128	0,127	0,13	0,19	0,21
1 x 240	0,0754	0,0985	0,0972	0,12	0,18	0,23
1 x 300	0,0601	0,0797	0,0779	0,12	0,18	0,26
1 x 400	0,0470	0,0638	0,0616	0,11	0,17	0,28
1 x 500	0,0366	0,0517	0,0489	0,11	0,17	0,31
1 x 630	0,0283	0,0425	0,0389	0,10	0,16	0,34