



REGIONE PUGLIA



PROVINCIA DI FOGGIA



COMUNE DI CERIGNOLA

PROGETTO:

**PROGETTO DEFINITIVO  
DI UN PARCO EOLICO  
"CERIGNOLA VENETA SUD"  
Opere Elettriche**

COMMITTENTE:

***Veneta Energia S.r.l.***

Via 1° Maggio, 41 - 31024 Ormelle (TV) P.I. 03954830281

PROGETTAZIONE:



Via San Giacomo dei Capri, 38  
80128 Napoli  
P.I. 04675401212



TITOLO:

**OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN  
RELAZIONE CALCOLI IMPIANTI**

REVISIONI	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO
	00	30.03.2018	PRIMA EMISSIONE	INSE S.r.l.	L.MALAFARINA	F. DI MASO

TIPOLOGIA DELL'ELABORATO			NUMERO DELL'ELABORATO		
RELAZIONE			PEREL10		
NOME DEL FILE	SCALA CAD	FORMATO	SCALA	FOGLIO	
PEREL10.pdf		A4		1 / 13	

**INDICE**

1. PREMESSA .....	3
2. RETE MT INTERNA AL PARCO.....	4
2.1 Scelta del livello di tensione .....	4
2.2 DIMENSIONAMENTO CAVIDOTTI MT .....	5
2.3 SCELTA DELLA SEZIONE .....	7
3. CAVO 150 kV.....	9
Caratteristiche del cavo e corrente di calcolo .....	9
4. CALCOLI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA RETE DI COLLEGAMENTO .....	12

## 1. PREMESSA

La società Veneta Energia S.r.l., in qualità di proponente, ha presentato alla Regione Puglia la richiesta di autorizzazione alla costruzione ed all'esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica costituito da 19 aerogeneratori da 4,2 MW per una potenza complessiva di 79,8 MW da realizzare nel Comune di Cerignola (FG) in seguito denominato Cerignola Veneta Sud.

Per poter immettere sulla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) l'energia prodotta dal suddetto impianto di produzione la Soc. Veneta Energia ha richiesto a Terna le modalità di connessione alla RTN.

La Soc. Terna con la STMG ha indicato le modalità di connessione, che sono le seguenti: *“collegamento sulle sbarre 150 kV della futura stazione di trasformazione 380/150 kV di Terna localizzata nel Comune di Cerignola”*. Inoltre, Terna ha richiesto che lo stallo a 150 kV, sul quale si attesterà il suddetto collegamento, sia condiviso con altre società produttrici di energia elettrica da fonte rinnovabile.

L'impianto eolico è costituito da diciannove (19) aerogeneratori, ciascuno dei quali comprende un generatore asincrono trifase (V= 1kV, P=4,2 MW), collegati al rispettivo Trasformatore MT/BT di macchina (30/1 kV, P=3.750 kVA).

I 19 aerogeneratori sono interconnessi tra loro tramite un cavidotto interrato avente tensione nominale 30 kV. Ciascun aerogeneratore è elettricamente interconnesso mediante un collegamento di tipo “entra-esci”. In base all'orografia dell'area interessata all'installazione eolica sono stati raggruppati e distinti in due sottocampi. Questi ultimi, convergono attraverso due linee MT alla sottostazione 150/30 kV. Da questa si arriva con un cavo 150 kV ad una nuova stazione 150 kV condivisa con altri proponenti per collegarsi con conduttori aerei alle sbarre della stazione 150/380 kV di Terna definita come il punto di consegna alla RTN.

Pertanto, le opere elettriche necessarie al collegamento alla rete AT della RTN dell'energia prodotta dal parco eolico di Veneta Sud sono le seguenti:

1. Rete in cavo interrato a 30 kV interna al campo eolico per il collegamento di tutti gli aerogeneratori previsti nel progetto.
2. Stazione di trasformazione 30/150 kV
3. Collegamento in cavo tra la suddetta stazione di trasformazione 30/150 kV e la St/ne di condivisione a 150 kV di Cerignola.
4. Stazione di condivisione 150 kV e collegamento alla sezione 150 kV di Terna

Per maggiori dettagli tecnici delle suddette opere si rimanda alle relazioni tecniche-descrittive del progetto definitivo per autorizzazione del quale è parte integrante la presente relazione.

## **2. RETE MT INTERNA AL PARCO**

La sezione di impianto, relativa al presente paragrafo, è quella rappresentata negli schemi elettrici d'impianto, a partire dall'uscita lato BT dei generatori di ogni singolo Aerogeneratore, fino alla stazione di trasformazione MT/150 kV.

### **2.1 Scelta del livello di tensione**

Il parco eolico è composto da 19 aerogeneratori della potenza complessiva di 79,8 MW.

La rete elettrica di raccolta dell'energia prodotta è prevista in media tensione

Con tensione di esercizio di 20 kV abbiamo una corrente totale verso la stazione di trasformazione MT/150 kV pari a

$$I = P/1.73 \cdot V = 2306 \text{ A}$$

Mentre con una tensione di esercizio pari a 30 kV abbiamo una corrente verso la stazione MT/150 kV pari a

$$I = P/1.73 \cdot V = 1537 \text{ A}$$

Con la scelta di 30 kV abbiamo che le perdite totali nella rete MT risultano 2046,9 kW notevolmente inferiori ai 3337,5 kW di perdite che si hanno con rete MT esercita a 20 kV

Un altro vantaggio che si ha con la rete a 30 kV è la riduzione della fascia di rispetto determinata ai sensi della L.36/01 e D.M. 29.05.2008.

I calcoli di seguito esposti sono stati effettuati a partire dai dati di base e dagli schemi generali di impianto riportati in progetto

## **2.2 DIMENSIONAMENTO CAVIDOTTI MT**

Il trasporto dell'energia avviene mediante l'utilizzo di cavi interrati posati in trincea a sezione trapezoidale sul letto di sabbia secondo quanto descritto dalla modalità M delle norme CEI 11-17. Per i cavi interrati le Norme CEI 11-17 prevedono una protezione meccanica che può essere intrinseca al cavo stesso oppure supplementare, a secondo del tipo di cavo e della profondità di posa. Nel caso specifico, nella posa di cavi in trincea a cielo aperto si esegue, quale protezione meccanica, la disposizione di un apposito tegolino in PVC posto ad almeno 20 cm rispetto al cavo stesso. Inoltre, sovrastante il sopradetto tegolino di protezione, viene sistemato un nastro di segnalazione di colore rosso con l'indicazione: CAVI ELETTRICI.

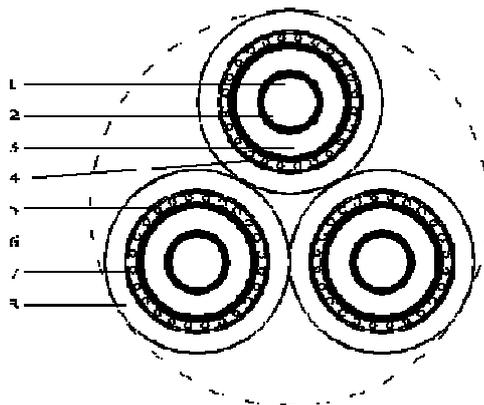
Per i calcoli seguenti, essendo il terreno del territorio di Cerignola prevalentemente argilloso, si è supposta una resistività termica del terreno media ossia pari a 1,5°Cm/W

Gli elementi essenziali che costituiscono un cavo sono il conduttore, il quale deve assolvere la funzione del trasporto della corrente elettrica, e l'isolamento, desinato ad isolare elettricamente la parte attiva (il conduttore) dall'ambiente di posa e sostenere, nel tempo, la tensione di esercizio.

I cavi MT per posa interrata si distinguono in unipolari, tripolari ad elica visibile (a campo radiale), tripolari cinturati (a campo non radiale).

I cavi utilizzati sono con conduttore in alluminio a corda rigida rotonda, isolati con una mescola isolante a base di polietilene reticolato, schermati per mezzo di piattine o fili di rame, la guaina protettiva è a base di polivinilcloruro, così come riportato nella sottostante Figura 1:

Figura 1



La sezione dei cavi di ciascun tronco di linea è stata calcolata in modo da essere adeguata ai carichi da trasportare nelle condizioni di massima produzione di tutti gli Aerogeneratori facenti parte della linea MT, e minimizzare le perdite.

Tutti i cavi MT, sono stati dimensionati in modo tale che risultino soddisfatte le seguenti relazioni:

$$\mathbf{a) \quad I_c \leq I_n}$$

$$\mathbf{b) \quad \Delta V\% \leq 5\%}$$

Dove

- $I_c$  è la corrente di impiego del cavo;
- $I_n$  è la portata del cavo, calcolata tenendo conto del tipo di cavo e delle condizioni di posa;
- $\Delta V\%$  è la massima caduta di tensione calcolata a partire dalla cabina d'impianto fino all'aerogeneratore più lontano (massima caduta di tensione su ogni sottocampo).

Per il calcolo della portata I è stato assunto un coefficiente di correzione variabile "K" a seconda del numero di cavi all'interno dello stesso scavo e , a seconda che i cavi siano posati direttamente in terra o in tubo interrato, tale coefficiente è stato ricavato dalle tabelle di riferimento e/o dal data sheet cavi.

La portata dei cavi, direttamente interrati ad una profondità non inferiore ad 1,2 m con temperatura del terreno di 20° C e resistività termica del terreno stesso pari a 1,5° C m/W, è indicata nel prospetto seguente:

Sez. (mmq)	Posa interrata			T. funzionam.		T=90°C	
	1°Cm/W In (A)	1,5 °Cm/W In (A)	2°Cm/W (A)	R ohm/Km	X ohm/Km	R ohm/Km	X ohm/Km
70	212	186,56	161	0,442	0,133	0,576	0,15
95	252	221,76	191	0,316	0,125	0,415	0,14
120	288	253,44	217	0,250	0,119	0,329	0,14
150	321	282,48	242	0,207	0,115	0,269	0,13
185	364	320,32	273	0,162	0,11	0,217	0,12
240	422	371,36	316	0,11	0,107	0,168	0,12
300	475	418	355	0,100	0,103	0,134	0,12
400	543	477,84	405	0,083	0,101	0,109	0,11
500	618	543,84	460	0,060	0,097	0,1	0,11
630	703	618,64	522	0,048	0,095	0,1	0,1

### Cavi MT - Prospetto caratteristiche elettriche tipiche

Il progetto delle linee elettriche si basa sul criterio della perdita della potenza e della caduta di tensione ammissibile.

## 2.3 SCELTA DELLA SEZIONE

Le turbine del campo eolico sono state suddivise in quattro gruppi

- linea 1 n. 4 aerogeneratori
- linea 2 n. 6 aerogeneratori
- linea 3 n. 3 aerogeneratori
- linea 4 n. 6 aerogeneratori

secondo la disposizione delle torri sul territorio e radialmente verso la stazione di trasformazione

Per la scelta della sezione in ogni tratta quindi si è elaborata una tabella (Tab A)) dove sono definite le tratte tra aerogeneratori di una singola linea di cavidotto, il numero di turbine collegate e la lunghezza della tratta. La lunghezza della tratta è stata valutata come lunghezza di trincea maggiorata del 5% e con 40 m di scorta.

Secondo il numero di turbine collegate a monte del tratto viene definita una corrente massima di impianto denominata in tabella con  $I_c$ .

Viene successivamente individuata una sezione per il cavo e, ipotizzando un coefficiente del terreno pari a  $1,5^\circ\text{C}/\text{m}/\text{W}$  ( $K_t$  in tabella), viene individuata la corrispondente corrente nominale di cavo ( $I_n$ ). Il coefficiente  $K_t$  è ricavato dai data sheet dei costruttori.

Tale corrente nominale di cavo viene corretta da un coefficiente  $K$  che tiene conto dell'influenza reciproca di più cavi in trincea e si ottiene il valore di corrente nominale  $I$  di cavo da paragonare al valore di corrente  $I_c$  di impianto. Nel nostro caso è stato previsto di posare i cavi a trifoglio ed ad una distanza di 25 cm e pertanto nel caso di 2 cavi in trincea il coefficiente è pari a 0,86 mentre nel caso di 3 cavi il coefficiente è pari a 0,80.

Se la corrente  $I$  è maggiore della effettiva portata del cavo  $I_c$  la scelta della sezione risulta adeguata.

Individuata quindi tra le sezione di tab. A la sezione più idonea per la tratta si procede alla verifica della perdita di potenza con la seguente formula

$$\Delta P = 3\rho \frac{LI^2}{S}$$

- con
- $\rho$  la resistività elettrica del conduttore espressa in  $\Omega^* \text{ mm}^2/\text{m}$ ;
  - $L$  la lunghezza della linea in metri;
  - $I$  la corrente nominale trasportata;
  - $S$  la sezione del cavo in  $\text{mm}^2$  ;

ed alla verifica della caduta di tensione con la seguente formula

$$\Delta V = \sqrt{3}LI(R_1 \cos \varphi + X_1 \sin \varphi)$$

- con  $\Delta V$  la tensione di esercizio espressa in Volt.  
R1 la resistenza per unità di lunghezza;  
X1 la reattanza induttiva per unità di lunghezza;  
L la lunghezza del collegamento;  
I la corrente trasportata;  
cos  $\varphi$  il fattore di potenza;

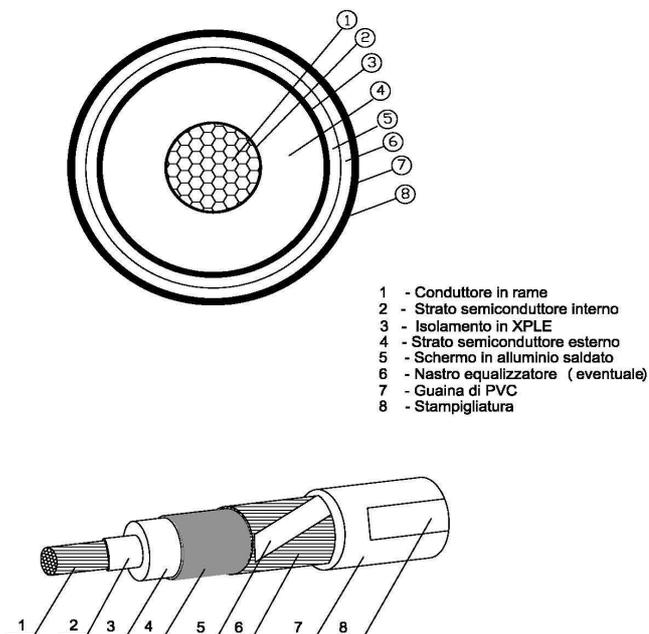
### 3. CAVO 150 kV

#### **Caratteristiche del cavo e corrente di calcolo**

Il collegamento in cavo 150 kV tra la stazione 30/150 kV di Cerignola Sud e la stazione 150 kV condivisa di Cerignola, deve trasportare una potenza di 26,4 MW I e quindi è interessato da una corrente nominale di 101,6 A.

Con tale valore di corrente si è scelto un cavo in alluminio avente sezione 500 mmq, con isolamento in polietilene reticolato (XLPE), schermo semiconduttivo sull'isolamento, guaina in alluminio saldata e rivestimento in polietilene e con un diametro esterno di 96 mm.

Lo schema tipo del cavo 150 kV è il seguente:



- 1 - Conduttore in rame
- 2 - Strato semiconduttore interno
- 3 - Isolamento in XPLE
- 4 - Strato semiconduttore esterno
- 5 - Schermo in alluminio saldato
- 6 - Nastro equalizzatore (eventuale)
- 7 - Guaina di PVC
- 8 - Stampigliatura

FIGURA 1 – Schema tipo cavo 150 kV

E le caratteristiche sono le seguenti

**CARATTERISTICHE DI COSTRUZIONE**

Materiale del conduttore	Alluminio
Isolamento	XLPE (chemical)
Tipo di conduttore	Corda rotonda compatta
Guaina metallica	Alluminio termosaldato

**CARATTERISTICHE DIMENSIONALI**

Diametro del conduttore	48,9mm
Sezione	1600mm <sup>2</sup>
Diametro esterno nom.	115,0mm
Sezione schermo	670mm <sup>2</sup>
Peso approssimativo	12kg/km

**CARATTERISTICHE ELETTRICHE**

Max tensione di funzionamento	170kV
Messa a terra degli schermi - posa a trifoglio	assenza di correnti di circolazione
Portata di corrente, cavi interrati a 20°C, posa a trifoglio	1045A
Portata di corrente, cavi interrati a 30°C, posa a trifoglio	900A
Messa a terra degli schermi - posa in piano	assenza di correnti di circolazione
Portata di corrente, cavi interrati a 20°C, posa in piano	1175A
Portata di corrente, cavi interrati a 30°C, posa in piano	1010A
Massima resistenza el. del cond. a 20°C in c.c.	0,019Ohm/km
Capacità nominale	0,3μF / km
Corrente ammissibile di corto circuito	70,3kA
Tensione operativa	150kV

#### 4. CALCOLI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA RETE DI COLLEGAMENTO

Per quanto su detto si riporta la seguente tabella riepilogativa che riporta il dimensionamento delle singole tratte e la verifica sul contenimento delle perdite

	TRATTA		turbine collegate	Lungh. (m)	Ic (A)	Sez. (mmq)	N. cavi trincea	I (A)	ΔP (KW)
	SEZIONE 4	WTG17	WTG18	1	1050	80,9	95	1	222
WTG18		WTG19	2	950	161,8	95	2	191	23,58
WTG19		WTG16	3	1500	242,8	185	2	275	43,01
WTG16		WTG15	4	1580	323,7	300	2	359	49,67
WTG15		WTG14	5	2650	404,6	630	2	532	61,98
WTG14		SE	6	3850	485,5	630	4	495	129,67
<b>TOTALI</b>				<b>11580,00</b>					<b>314,41</b>
SEZIONE 3	TRATTA		turbine collegate	Lungh. (m)	Ic (A)	Sez. (mmq)	N. cavi trincea	I (A)	ΔP (KW)
	WTG06	WTG07	1	2750	80,9	95	2	191	17,06
	WTG07	WTG05	2	5300	161,8	185	2	275	67,54
	WTG05	SE	3	7000	242,8	630	4	495	58,94
<b>TOTALI</b>				<b>15050,00</b>					<b>143,54</b>
SEZIONE 2	TRATTA		turbine collegate	Lungh. (m)	Ic (A)	Sez. (mmq)	N. cavi trincea	I (A)	ΔP (KW)
	WTG10	WTG09	1	1450	80,9	95	1	222	9,00
	WTG09	WTG12	2	1750	161,8	95	2	191	43,43
	WTG13	WTG12	1	800	80,9	95	2	191	4,96
	WTG12	WTG11	4	950	323,7	240	1	371	32,85
	WTG08	WTG11	1	2750	80,9	95	1	222	17,06
WTG11	SE	6	3650	485,5	630	4	495	122,93	
<b>TOTALI</b>				<b>8150,00</b>					<b>230,23</b>
SEZIONE 1	TRATTA		turbine collegate	Lungh. (m)	Ic (A)	Sez. (mmq)	N. cavi trincea	I (A)	ΔP (KW)
	WTG03	WTG02	1	1100	80,9	95	1	222	6,82
	WTG02	WTG01	2	5100	161,8	95	1	222	126,56
	WTG01	WTG04	3	3700	242,8	185	1	320	106,09
	WTG04	SE	4	7000	323,7	630	1	619	104,78
<b>TOTALI</b>				<b>16900,00</b>					<b>344,26</b>

51680,00

LINEA CAVO 150 kV	SE-MT	SE TERNA	27	27300	307,2	1600	1	1090	143,71
			N.	Pn a 50 MVA (KW)	P funz. (KW)	79800			
			P rame TR 40/50 MVA	2	180	114,6	229,2		
			P ferro TR 40/50 MVA	2	31	31,0	62,0		
			P rame TR 4,2 MVA	19	25,2	25,2	478,8		
			P ferro TR 4,2 MVA	19	5,3	5,3	100,7		
			<b>Perdite totali TR (KW)</b>				<b>870,7</b>		

<b>PERDITE TOTALI (KW)</b>	<b>2046,9</b>
--------------------------------	---------------

<b>PERDITE TOTALI (%)</b>	<b>2,6%</b>
-------------------------------	-------------

Dalla suddetta tabella si evidenzia che ogni tratta è dimensionata per il trasporto della corrente massima prevista e che la somma delle perdite di potenza in tutti i tratti (sia di media e sia di alta tensione) di cavo vale circa 1176,2 kW.

Ipotizzando che il totale delle perdite nel ferro e nel rame dei trasformatori bt/MT, posti all'uscita degli aerogeneratori, e dei trasformatori 30/150 kV sia, nelle condizioni di massimo carico, di 870,1 KW, risulta una perdita totale di circa 2046,9 kW con un rendimento totale pari a 2,6%.