



PROGETTO DI COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN
IMPIANTO EOLICO DELLA POTENZA DI 99,2 MW
DENOMINATO BOREANO DA REALIZZARSI NEL
COMUNE DI VENOSA (PZ) CON LE RELATIVE
OPERE DI CONNESSIONE ELETTRICHE CHE
INTERESSANO IL COMUNE DI MONTEMILONE.

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE ELETTRICHE

Rev. 0.0

Data: 27 Giugno 2022

WIND13-REL002

Committente:

REPSOL VENOSA 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 di Venosa (PZ)	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"	12

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 99,2 MVA di proprietà della Soc. Repsol Venosa 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 Venosa e di Montemilone, in provincia di Potenza.

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 di Venosa (PZ)

Nella configurazione finale dell'impianto eolico "*Parco eolico di Venosa*" è previsto che, nel territorio dei Comune di Venosa, vengano installati n° 16 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° 16 macchine da 6.200 kW, risulta essere pari quindi a 99,2 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)

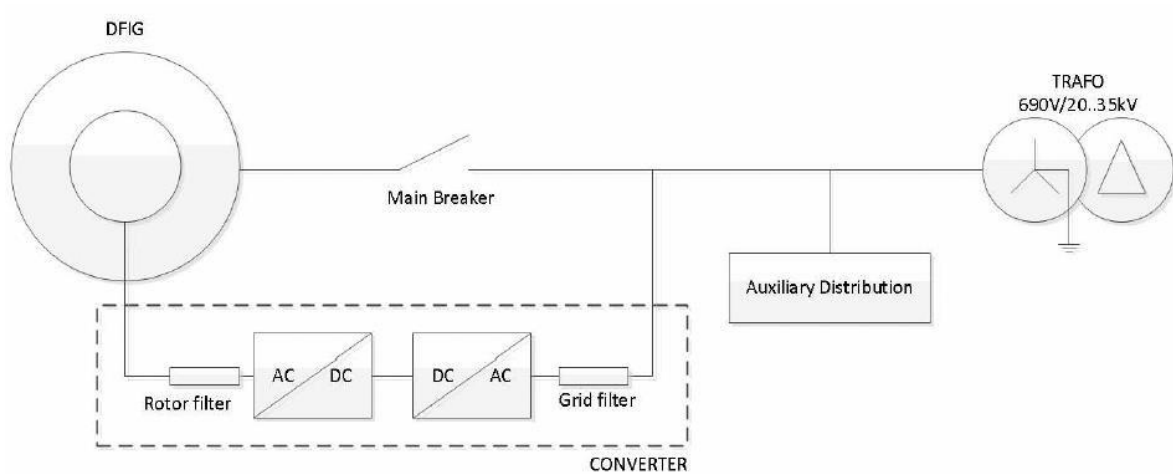


Fig. 1 – Schema di Turbina SG170

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 nuova stazione RTN 380/150/36 kV da realizzarsi in entra-esce sulla linea 380 kV "Melfi 380 – Genzano 380".

Il percorso del cavidotto fino alla cabina 36 kV interesserà più linee AT 36 kV secondo la disposizione riportata in fig. 2.

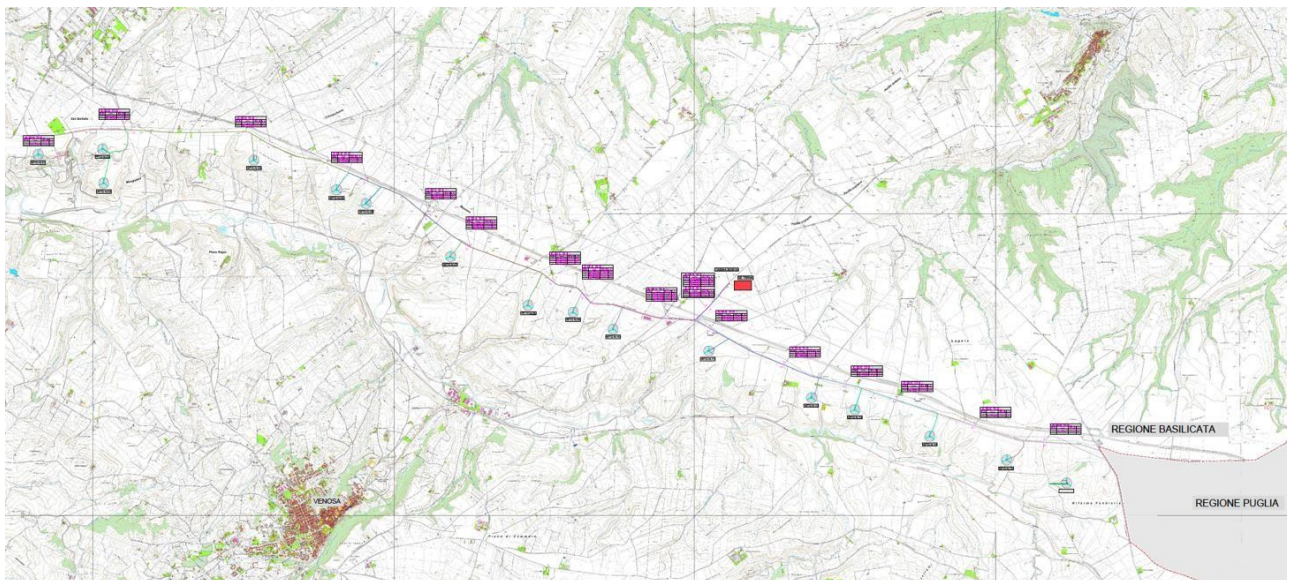


Fig. 2 – disposizione dei wtg's su stralcio C.T.R.

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.

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

Per il dimensionamento del cavidotto si è adottata la tensione di esercizio pari a 36 kV.

I cavi considerati sono del tipo armonizzato RG7H1R 26/45 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 delle 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 Venosa e Montemilone, in provincia di Potenza.

Il detto tracciato, suddiviso in n° 8 linee afferenti alla cabina di parallelo AT (36 kV), può essere riassunto nel seguente prospetto:

Linea 1	13.755 m
Linea 2	12.526 m
Linea 3	8.339 m
Linea 4	6.500 m
Linea 5	3.968 m
Linea 6	8.961 m
Linea 7	6.262 m
Linea 8	4.207 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.2 WTG's in serie per ciascuna linea, si raggiungerà una massima corrente di generazione transigente nella linea (alla condizione di $P = P_{\text{nominale}}$ per ciascuna turbina) pari a:

$$I_{LINEA_MAX} = 209,58 \text{ A}$$

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

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

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

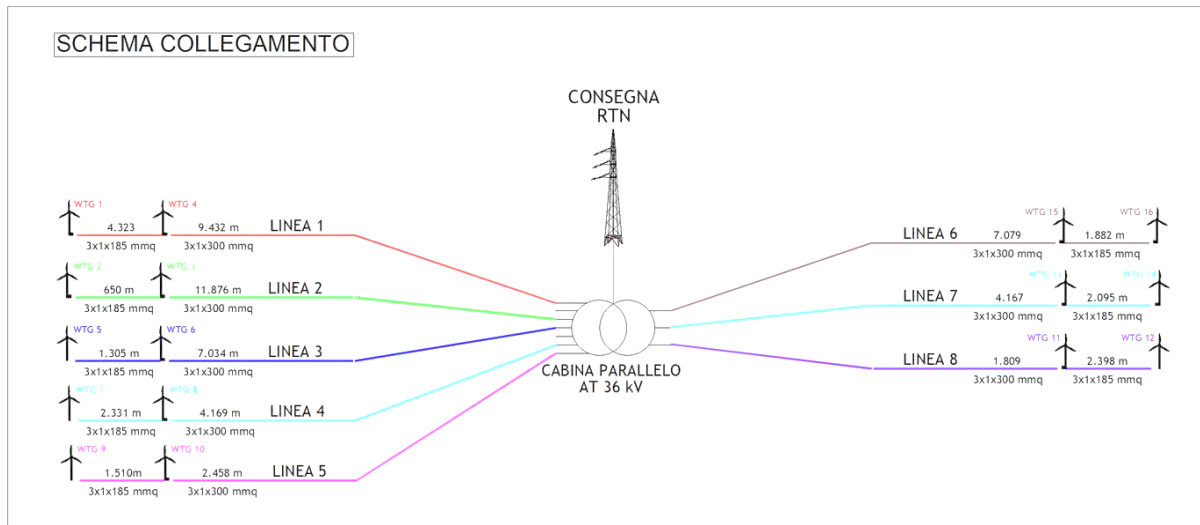


Fig.3 – schema di collegamento wtg's

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;

I = 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:

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

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 Venosa (PZ) e Montemilone (PZ).

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"

Linee n. 1,2

Project: Parco eolico di Venosa (PZ)						
Line 1						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght km	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 1-WTG 4	4,323	1 x185	1	interrati	127,111
2	WTG 4-CABINA	9,432	1 x300	2	interrati	387,069
TOT.		13,755				514,180
						DV%
						1,428
Line 2						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght mts	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 2-WTG 3	0,650	1 x185	1	interrati	19,112
2	WTG 3-CABINA	11,876	1 x 300	2	interrati	487,366
TOT.		12,526				506,478
						DV%
						1,407
TOTALS		Lenght [km]	DV% [mm ²]			
Line 1		13,755	1,428			
Line 2		12,526	1,407			

Linee n. 3, 4, 5

Project: Parco eolico di Venosa (PZ)						
Line 3						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght km	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 5-WTG 6	1,305	1 x 185	1	interrati	38,371
2	WTG 6-CABINA	7,034	1 x300	2	interrati	288,660
TOT.		8,339				327,032
						DV%
						0,908
Line 4						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght mts	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 7-WTG 8	2,331	1 x185	1	interrati	68,539
2	WTG 8-CABINA	4,169	1 x300	2	interrati	171,087
TOT.		6,500				239,626
						DV%
						0,666
Line 5						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght mts	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 9-WTG 10	1,510	1 x185	1	interrati	44,399
2	WTG 19-CABINA	2,458	1 x300	2	interrati	100,871
TOT.		3,968				145,270
						DV%
						0,404
TOTALS		Lenght [km]	DV% [mm ²]			
Line 3		8,339	0,908			
Line 4		6,500	0,666			
Line 5		3,968	0,404			

Linee n. 6, 7, 8

Project: Parco eolico di Venosa (PZ)						
Line 6						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght km	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 16-WTG 15	1,882	1 x 185	1	interrati	55,337
2	WTG 15-CABINA	7,079	1 x 300	2	interrati	290,507
TOT.		8,961				345,844
						DV%
						0,961
Line 7						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght mts	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 14-WTG 13	2,095	1 x 185	1	interrati	61,600
2	WTG 13-CABINA	4,167	1 x 300	2	interrati	171,005
TOT.		6,262				232,605
						DV%
						0,646
Line 8						
Node No.	Param. L(i-1)-i	Lenght mts	Cable Al mm ²	Max N° cable/trench	Laying	DV V
1	WTG 12-WTG 11	1,809	1 x 185	1	interrati	53,191
2	WTG 11-CABINA	2,398	1 x 300	2	interrati	98,409
TOT.		4,207				151,599
						DV%
						0,421
TOTALS		Lenght [km]	DV% [mm ²]			
Line 6		8,961	0,961			
Line 7		6,262	0,646			
Line 8		4,207	0,421			

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			
					in aria In air		interrato* buried*	
n° x mm²	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

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
		Ω/Km		Ω/Km		
		a trifoglio trefoil	in piano flat	a trifoglio trefoil	in piano flat	
n° x mm²	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	µF/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