

**Regione Sicilia**  
**Libero consorzio di Caltanissetta**  
**Comune di Butera**



Regione Siciliana



Titolo del progetto

**PROGETTO PER LA COSTRUZIONE ED ESERCIZIO DI UN  
IMPIANTO EOLICO DENOMINATO "BUTERA" DELLA  
POTENZA COMPLESSIVA DI 39,6 MW E DELLE RELATIVE  
OPERE CONNESSE, DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI  
BUTERA (CL)**

Timbro e firma del progettista



Titolo elaborato

Relazione di dimensionamento delle opere elettriche

Codice elaborato

REL002

Stato del progetto

DEFINITIVO

Scala del disegno

--

Ingegneria



Proponente



GREEN ENERGY 6 S.r.l. Corso Europa, 13  
20122 Milano (MI) P. IVA: 12889050964

Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
0	Emissione	09/10/2023	S. QUARTARONE	A. ZANINI	G. DE SIMONE

---

## **INDICE**

---

1	Introduzione.....	3
2	Norme e prescrizioni di riferimento.....	3
3	Generalità sul progetto della centrale eolica della Parco eolico di Butera (CL).....	3
4	Cabina aerogeneratore.....	3
5	Elettrodotti.....	5
6	Sviluppo del tracciato dell'elettrodotto interrato.....	7
7	Calcoli e verifiche relativi al progetto dell'elettrodotto interrato.....	8
8	Conclusioni.....	10
9	Allegato "Calcoli di verifica cadute di tensione".....	11
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 39,6 MVA 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 Butera, nel libero consorzio comunale di Caltanissetta.

## 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 BUTERA (CL)

Nella configurazione finale dell'impianto eolico "*Parco eolico di Butera*" è previsto che, nel territorio dei Comune di Butera, vengano installati n° 6 aerogeneratori ad asse orizzontale (WTG), del tipo "*SG 170*" della potenza elettrica nominale di 6.600 kW cadauno. La potenza elettrica installata, considerando l'impianto composto da n° 6 macchine da 6.600 kW, risulta essere pari quindi a 39,6 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).

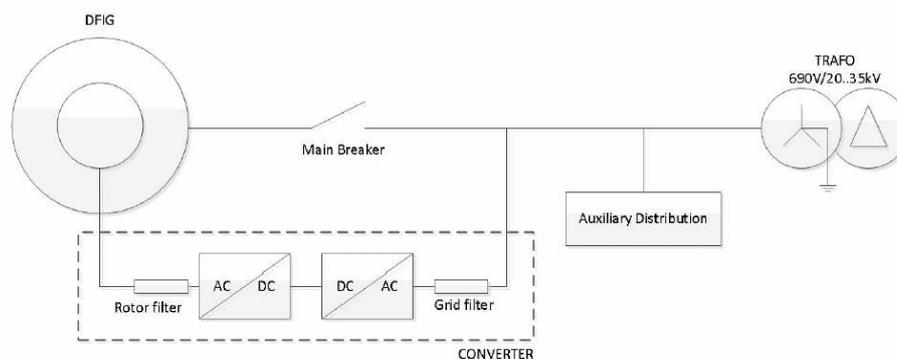


Fig. 1 – Schema di Turbina SG170

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la Vs. centrale venga collegata in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) a 220/150/36 kV della RTN, da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 220 kV "Chiaramonte Gulfi - Favara".

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

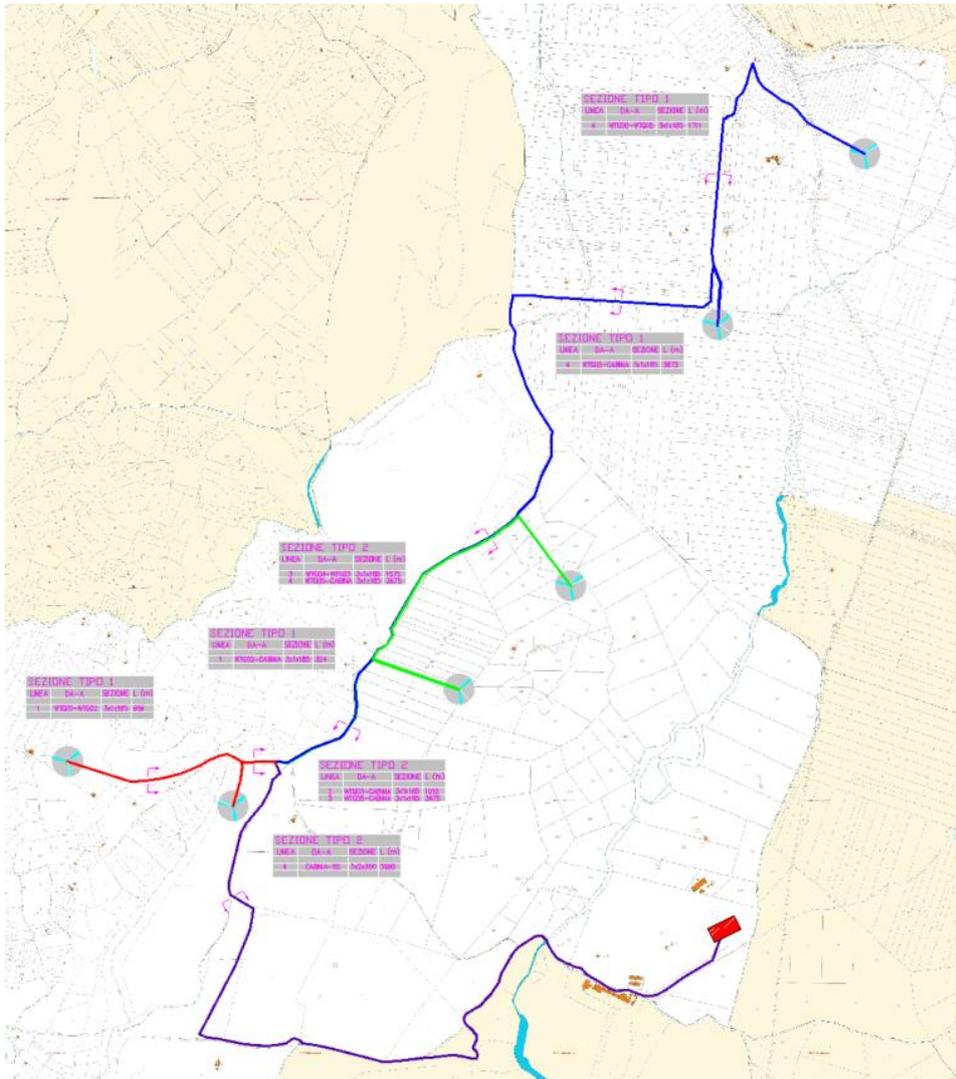


Fig. 2 – disposizione dei WTG's su carta catastale

## 5 ELETTRODOTTI

Il trasporto dell'energia in AT avverrà mediante cavi interrati posati sul letto di sabbia, secondo quanto descritto dalla modalità "M"<sup>1</sup> delle norme CEI 11-17.

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.

La scelta delle sezioni dei cavi suddetti è stata effettuata con l'obiettivo di mantenere le perdite di energia (su ciascuna linea AT) 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 (6.600 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 pari a 1 °Cm/W, è indicata nella Tab 1:

Tab. 1

Caratteristiche tecniche/Technical characteristics					Portata di corrente			
U max: 52 kV					Current rating			
Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Ø esterno max	Peso indicativo cavo	A			
Size	Approx. conduct. Ø	Average insulation thickness	Max outer Ø	Approx. cable weight	in aria In air		interrato* buried*	
n° x mm <sup>2</sup>	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.

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

Tab. 2

Formazione Size	Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics					
	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	
n° x mm <sup>2</sup>	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

I cavi prescelti risultano tali da garantire una caduta di tensione ( $DV_{max} < 2\%$ ) 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  $DV_{max} < 2\%$  di  $V_{esercizio}$ .

## 6 SVILUPPO DEL TRACCIATO DELL'ELETTRODOTTO INTERRATO

Il tracciato del cavidotto interrato si sviluppa nel territorio del Comune di Butera, nel libero consorzio comunale di Caltanissetta.

Il detto tracciato, suddiviso in n° 4 linee afferenti alla cabina di parallelo AT (36 kV), può essere riassunto nel seguente prospetto:

Linea 1	1243 m
Linea 2	2590 m
Linea 3	5486 m
Linea 4	4054 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.

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

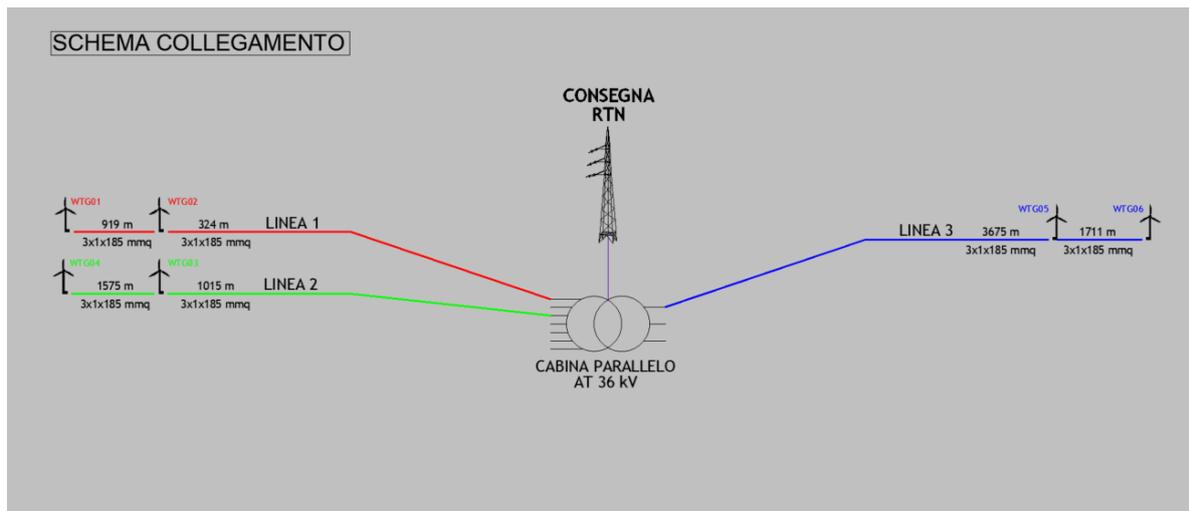


Fig. 3 – schema di collegamento WTG's

## 7 CALCOLI E VERIFICHE RELATIVI AL PROGETTO DELL'ELETTRODOTTO INTERRATO

Premesso che la singola turbina ha una potenza di 6.600 kW, 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:

$$I_{WTG} = \frac{P_{WTG}}{V_{eser} \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3}} \quad \text{da cui: } I_{WTG} = 111,42 \text{ A}$$

(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 transitante nella linea (alla condizione di  $P = P_{nominale}$  per ciascuna turbina) pari a:

$$I_{LINEA\_MAX} = 222,84 \text{ A}$$

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 <sub>1</sub> = 0,74 (dist. tra terne di cavi = 40 cm)	K <sub>2</sub> = 1	K <sub>3</sub> = 1

Dove:

- K: Fattore di correzione della portata, in funzione della temperatura del terreno secondo le tabelle CEI UNEL 35026 per le pose interrato o della temperatura ambiente secondo le tabelle CEI UNEL 35024/1 per le pose in aria libera.
- K<sub>1</sub>: Questo campo rappresenta il coefficiente della portata del cavo, in funzione del gruppo cavi, in riferimento CEI-UNEL 35024-1.
- K<sub>2</sub>: Fattore di correzione della portata per le pose, in funzione della profondità di posa del cavo secondo le tabelle CEI UNEL 35026.

- K3: Fattore di correzione della portata per le pose, in funzione della temperatura ambiente, secondo la CEI-UNEL 35024-1.

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

Tab. 4

Sezione (mmq)	Portata ridotta (A)
$S = 185 \text{ mmq}$	$I_{MAX}^* = 325 \text{ A}$
$S = 240 \text{ mmq}$	$I_{MAX}^* = 377 \text{ A}$
$S = 300 \text{ mmq}$	$I_{MAX}^* = 422 \text{ A}$
$S = 400 \text{ mmq}$	$I_{MAX}^* = 481 \text{ A}$
$S = 500 \text{ mmq}$	$I_{MAX}^* = 544 \text{ A}$
$S = 630 \text{ mmq}$	$I_{MAX}^* = 618 \text{ A}$

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  $W/km$ ;

$f$  = 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:

$$DV\% = \frac{DV_{tot}}{V_{eserc}}$$

---

## **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 del comune di Butera (CL).

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'obiettivo del 2%.

## 9 ALLEGATO "CALCOLI DI VERIFICA CADUTE DI TENSIONE"

Linee n. 1, 2, 3, 4

LINEA	TRATTO	PARAM.	LUNGHEZZA	Sezione Cavo	n. trecce	Posa	DV	
id.	id.	-	m	mm2	-		V	
1	1	WTG01-WTG02	919	185	1	interrata	8,72	
1	2	WTG02-CABINA	324	185	1	interrata	12,61	DV%
TOT			1243				21,33	0,06%

LINEA	TRATTO	PARAM.	LUNGHEZZA	Sezione Cavo	n. trecce	Posa	DV	
id.	id.	-	m	mm2	-		V	
2	1	WTG04-WTG03	1575	185	1	interrata	29,05	
2	2	WTG03-CABINA	1015	185	1	interrata	39,5	DV%
TOT			2590				68,55	0,19%

LINEA	TRATTO	PARAM.	LUNGHEZZA	Sezione Cavo	n. trecce	Posa	DV	
id.	id.	-	m	mm2	-		V	
3	1	WTG06-WTG05	1711	185	1	interrata	31,55	
3	2	WTG05-CABINA	3675	185	1	interrata	143,05	DV%
TOT			5386				174,6	0,49%

LINEA	TRATTO	PARAM.	LUNGHEZZA	Sezione Cavo	n. trecce	Posa	DV	
id.	id.	-	m	mm2	-		V	
4	1	CABINA-SS	4054	300	2	interrata	168,18	DV%
TOT			4054				168,18	0,47%

## 10 ALLEGATO "SCHEDA CAVI AT"

<b>RG7H1R 26/45 kV</b>								
<b>Caratteristiche tecniche/Technical characteristics</b>								
<b>U max: 52 kV</b>								
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 <sup>2</sup>	mm	mm	mm	kg/km	in aria In air		interato* bundled*	
					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

<b>Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics</b>						
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	
n° x mm <sup>2</sup>	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