

# REGIONE SICILIA

Città Metropolitana di Palermo

COMUNE DI CASTELLANA SICULA



01	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	25/11/22	BAIARDO G.	FURNO C.	BERTOLOTTO E
00	EMISSIONE PER COMMENTI	02/11/22	BAIARDO G.	FURNO C.	BERTOLOTTO E
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.

Committente:					
<b>GREENERGY RINNOVABILI 5 S.R.L.</b>					
Sede legale in Via Borgonuovo 9, CAP 20121 Milano (MI) Partita I.V.A. 11892540961 – PEC: qrr5srl@legalmail.it					
Società di Progettazione:				Ingegneria & Innovazione	
		Via Jonica, 16 – Loc. Belvedere 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409 Web: <a href="http://www.antexgroup.it">www.antexgroup.it</a> e-mail: <a href="mailto:info@antexgroup.it">info@antexgroup.it</a>			
Progetto:			Progettista/Resp. Tecnico:		
<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO GR CASTELLANA</b>			Dott. Ing. Antonino Signorello Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catania n° 6105 sez. A		
Tavola:					
RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT E AT					
PROCEDURA DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE					
Scala:	Nome DIS/FILE:	Allegato:	F.to:	Livello:	
N.A.	C22037S05-PD-RT-26-01	1/1	A4	<b>DEFINITIVO</b>	
Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.					
È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.					
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.					
				 	

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. SCOPO .....	3
3. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA.....	4
4. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE (C.d.T) .....	5
5. DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE MINIMA IN FUNZIONE DELLA CORRENTE DI CORTOCIRCUITO.....	6
6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI MT IN FUNZIONE DELLA CONDIZIONE DI POSA E DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	9
6.1. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI MT IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO .....	14
7. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI AT IN FUNZIONE DELLA CONDIZIONE DI POSA E DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	15
7.1. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI AT IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO .....	20

	<p style="text-align: center;">IMPIANTO FOTOVOLTAICO GR CASTELLANA</p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT E AT</b></p>	 Ingegneria & Innovazione		
		25/11/2022	REV: 1	Pag.3

## 1. PREMESSA

La Società Greenergy Rinnovabili 5 S.r.l., parte del gruppo Greenergy Renovables SA, attivo nel campo delle energie rinnovabili dallo sviluppo alla costruzione, fino alla gestione degli impianti, ha incaricato la Società Antex Group S.r.l. per la progettazione dell’Impianto fotovoltaico GR Castellana che produrrà energia elettrica da fonte solare.

Il Progetto prevede l’installazione di n. 53.508 moduli fotovoltaici da 670 Wp ciascuno, su strutture fisse, per una potenza complessiva pari a 35,85 MWp, con sistema di accumulo di 10 MW, nel territorio del Comune di Castellana Sicula, appartenente alla Città Metropolitana di Palermo.

L’impianto sarà connesso alla rete elettrica nazionale, tramite la posa di un cavidotto interrato su strade esistenti e la realizzazione di una nuova cabina utente per la consegna collegata in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV 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 “Chiamonte Gulfi - Ciminna”, previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

Le scelte progettuali e le soluzioni tecniche adottate sono frutto di uno studio approfondito che, tiene conto dei fattori ambientali e dei vincoli paesaggistici, analizza l’orografia dei luoghi, l’accessibilità al sito, la vegetazione e tutte le interferenze con il tracciato del cavidotto di connessione.

L’incarico della progettazione è stato affidato alla Società Antex Group S.r.l. per i suoi professionisti selezionati e qualificati che pongono a fondamento delle attività, quale elemento essenziale della propria esistenza come unità economica organizzata ed a garanzia di un futuro sviluppo, i principi della qualità, come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

## 2. SCOPO

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento dei cavi in Media Tensione (MT), per il collegamento delle Cabine di Sottocampo (CS) alla Cabina di Centrale (CC) e dalla CC al trasformatore 36/30 kV, ed in Alta Tensione (AT), per il collegamento dalla CC alla Cabina Utente per la Consegna (CUC) ed, infine, per la connessione alla nuova Stazione Elettrica (SE) della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) da utilizzare nell'**Impianto Fotovoltaico GR Castellana sito** in località "Castellana Sicula" - Palermo (PA).

### 3. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA

La Norma CEI UNEL 35027 - “Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV - Portate di corrente in regime permanente - Posa in aria ed interrata”, fornisce un coefficiente di correzione delle portate in corrente dei cavi unificati MT in funzione delle condizioni di posa in terra ed in aria. Nel caso in esame, il coefficiente di correzione ottenuto per i cavi in MT sarà utilizzato anche per i cavi in AT.

Per cavi interrati di queste categorie di tensioni viene fornita la portata in corrente di riferimento  $I_0$  nelle seguenti condizioni:

- $T_a$  temperatura ambiente 20 °C;
- Profondità di posa 0,8 m;
- $R_t$  resistività termica media radiale del terreno 1 °C\*m/W;
- Connessione schermi metallici in cortocircuito e a terra ad entrambe le estremità (solid bonding).

Per condizioni diverse viene fornita poi la seguente formula correttiva:

$$I_z = I_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4$$

Dove:

- $I_z$  portata in corrente nelle condizioni in esame;
- $I_0$  portata in corrente nelle condizioni di riferimento;
- $K_1$  fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C;
- $K_2$  fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano;
- $K_3$  fattore di correzione per profondità di interramento diverse da 0,8 m;
- $K_4$  fattore di correzione per resistività termica del terreno diversa da 1 °C\*m/W.

Si riportano di seguito le tabelle per la scelta dei valori dei fattori di correzione da utilizzare in funzione della condizione di posa.

Tab. IV **Fattori di correzione per differenti valori di profondità di posa**

Profondità di posa (m)	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
Fattore di correzione	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94

Tab. V **Fattori di correzione per differenti valori di resistività termica del terreno**

Cavi unipolari

Resistività del terreno (K•m/W)	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Fattore di correzione	1,08	1,05	1,00	0,90	0,82

Tab. III **Fattori di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano**

Numero di cavi	DISTANZA FRA I CIRCUITI <sup>(a)</sup> (m)			
	a contatto	0,25	0,5	1
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

#### 4. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE (C.d.T)

Il fenomeno di abbassamento di tensione tra due punti, uno a monte e l'altro a valle, in una rete elettrica di distribuzione, viene denominato "Caduta di Tensione" (C.d.T). In tutti gli impianti elettrici occorre valutare che la differenza tra la tensione del punto d'origine dell'alimentazione e la tensione all'utilizzatore d'energia sia adeguatamente contenuta, nei limiti normativi e nei limiti di funzionamento delle apparecchiature utilizzatrici.

Un'eccessiva differenza tra i due valori nuoce al funzionamento ed al rendimento degli impianti, inoltre elevate differenze di tensione tra monte e valle è sinonimo di perdite sulla linea elettrica, con conseguente cattivo dimensionamento e non ottimizzazione dell'impianto di trasmissione dell'energia. Il valore della C.d.T. percentuale limite sarà posto a circa il 2% della tensione nominale di funzionamento del cavo in esame.

La caduta di tensione sarà contenuta mediante un corretto calcolo dimensionale delle linee. Il valore della C.d.T. può essere determinato mediante la formula:

$$\Delta V = I * L * \sqrt{3} (R * \cos\varphi + X * \sin\varphi)$$

Dove:

- $\Delta V$  è la caduta di tensione in V;
- I è la corrente nominale della linea in A;
- R è la resistenza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in  $\Omega/\text{km}$ ;
- X è la reattanza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in  $\Omega/\text{km}$ ;
- L è la lunghezza della linea in km.

La C.d.T. percentuale sarà quindi:

$$\Delta V\% = 100 * \Delta V / V_n$$

Dove:

- $V_n$  è la tensione ad inizio linea in V.

La perdita di potenza è calcolata tramite la relazione:

$$P_{\text{loss}} = 3 * R * L * I_n^2$$

La perdita di potenza percentuale è calcolata tramite la relazione:

$$P_{\text{loss}\%} = P_{\text{loss}} / (\sqrt{3} * I_n * V * \cos\varphi) * 100$$

## 5. DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE MINIMA IN FUNZIONE DELLA CORRENTE DI CORTOCIRCUITO

L'Allegato A.68 “Centrali Fotovoltaiche – Condizioni generali di connessione alle reti AT – Sistemi di protezione, regolazione e controllo” definisce la corrente di cortocircuito minima per il dimensionamento delle condutture ed apparecchiature pari a 20 kA per una durata di un secondo per la connessione a 36 kV alla RTN . Sulla base di questo è possibile effettuare il calcolo della sezione minima dei cavi in MT e AT, come riportato di seguito.

### 5.1. MODALITA' DI CALCOLO

La Norma CEI 11-17 al paragrafo 2.2.02 definisce le modalità di calcolo per la scelta del conduttore in relazioni a condizioni di sovracorrente. La scelta è fatta in modo tale che la temperatura del conduttore per effetto della sovracorrente non sia dannosa, come entità e durata, per l'isolamento o per gli altri materiali con cui il conduttore è in contatto o in prossimità.

Considerata la sovracorrente praticamente costante e il fenomeno termico sia di breve durata (cortocircuito) in modo da potersi considerare di puro accumulo (regime adiabatico), la sezione del conduttore può determinarsi mediante la seguente relazione:

$$K^2 S^2 \geq (I^2 t)$$

Dove:

- S è la sezione del conduttore in mm<sup>2</sup>;
- I è la corrente di cortocircuito, pari a 20 kA (valore precedentemente calcolato);
- t è la durata della corrente di cortocircuito, pari a 1 s (coincide con il tempo di eliminazione del guasto stabilito dal progettista);
- K costante termica del cavo scelto, ( $K_{MT} = 92$ ;  $K_{AT} = 143$ ).

Il valore del coefficiente K dipende dalla temperatura iniziale e finale di cortocircuito, come riportato in tabella.

Tab. 2.2.02 **Valori del coefficiente *K* in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito per conduttori di rame e di alluminio**

	Temperatura iniziale $\theta_0$ (°C)	1	2	3	4	5	6
		Temperatura finale $\theta_{cc}$ (°C)					
		140	160	180	200	220	250
Conduttori di rame	130	37	64	81	95	106	120
	120	53	74	89	102	113	126
	110	65	83	97	109	119	132
	100	76	92	105	116	125	138
	90	86	100	112	122	131	143
	85	90	104	115	125	134	146
	80	94	108	119	129	137	149
	75	99	111	122	132	140	151
	70	103	115	125	135	143	154
	65	107	119	129	138	146	157
	60	111	122	132	141	149	160
	50	118	129	139	147	155	165
	40	126	136	145	153	161	170
	30	133	143	152	159	166	176
20	141	150	158	165	172	181	
Conduttori di alluminio	130	24	41	52	61	68	78
	120	34	48	58	66	73	81
	110	42	54	63	70	77	85
	100	49	59	67	75	81	89
	90	55	64	72	79	85	92
	85	58	67	74	81	86	94
	80	61	69	77	83	88	96
	75	64	72	79	85	90	98
	70	66	74	81	87	92	99
	65	69	76	83	89	94	101
	60	72	79	85	91	96	103
	50	77	83	90	95	100	105
	40	81	88	94	99	104	110
	30	86	92	98	103	107	114
20	91	97	102	107	111	117	

Così come indicato nella Norma CEI 11-17, la temperatura iniziale del conduttore si assume uguale a quella massima ammissibile in regime permanente (massima temperatura di servizio) e la temperatura finale di cortocircuito si assume uguale a quella massima di cortocircuito per i diversi isolanti.

Per le linee MT verranno impiegati cavi in Alluminio ARE4H5E 18/30 kV con isolante in miscela di polietilene reticolato, aventi massima temperatura di servizio pari a 90 °C e massima temperatura di cortocircuito pari a 250 °C. Pertanto, con tali valori di temperatura si ricava il valore della costante termica *K* che è pari a 92. Risolvendo la relazione precedente per *S*:

$$S_{MT} = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [20 * \sqrt{(1)}] / 92 = 217,4 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 240 mm<sup>2</sup>.

Mentre, per le linee AT verranno impiegati cavi in Rame RG7H1R 26/45kV con isolante in gomma HEPR, qualità G7, aventi massima temperatura di servizio pari a 90 °C e massima temperatura di cortocircuito pari a 250 °C.

	<p style="text-align: center;">IMPIANTO FOTOVOLTAICO GR CASTELLANA</p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT E AT</b></p>	 <p style="text-align: center;"><i>Ingegneria &amp; Innovazione</i></p>	
		25/11/2022	REV: 1

Pertanto, con tali valori di temperatura si ricava il valore della costante termica K che è pari a 143. Risolvendo la relazione precedente per S:

$$S_{AT} = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [20 * \sqrt{(1)}] / 143 = 139,9 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 150 mm<sup>2</sup>.

## 6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI MT IN FUNZIONE DELLA CONDIZIONE DI POSA E DELLA CADUTA DI TENSIONE

Si riportano di seguito le specifiche tecniche del cavo scelto per i collegamenti in MT.

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

## ARE4H5E COMPACT

Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV  
 Single core 12/20 kV and 18/30 kV



**Norma di riferimento**  
 HD 620/IEC 60502-2

**Descrizione del cavo**

**Anima**

Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio

**Semiconduttivo interno**

Mescola estrusa

**Isolante**

Mescola di polietilene reticolato (qualità DIX 8)

**Semiconduttivo esterno**

Mescola estrusa

**Rivestimento protettivo**

Nastro semiconduttore igroespandente

**Schermatura**

Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale (Rmax 3Ω/Km)

**Guaina**

Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)

**Marcatura**

PRYSMIAN (\*\*) ARE4H5E <tensione>  
 <sezione> <anno>

(\*\*) sigla sito produttivo

Marcatura in rilievo ogni metro  
 Marcatura metrica ad inchiostro

**Applicazioni**

Il cavo rispetta le prescrizioni della norma HD 620 per quanto riguarda l'isolante; per tutte le altre caratteristiche rispetta le prescrizioni della IEC 60502-2.

**Accessori idonei**

**Terminali**

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128), FMCE (pag. 130), FMCTS-400 (pag. 132), FMCTXs-630/C (pag. 136)

**Giunti**

ECOSPEED™ (pag. 140)

**Standard**

HD 620/IEC 60502-2

**Cable design**

**Core**

Compact stranded aluminium conductor

**Inner semi-conducting layer**

Extruded compound

**Insulation**

Cross-linked polyethylene compound (type DIX 8)

**Outer semi-conducting layer**

Extruded compound

**Protective layer**

Semiconductive watertight tape

**Screen**

Aluminium tape longitudinally applied (Rmax 3Ω/Km)

**Sheath**

Polyethylene: red colour (DMP 2 type)

**Marking**

PRYSMIAN (\*\*) ARE4H5E <rated voltage>  
 <cross-section> <year>

(\*\*) production site label

Embossed marking each meter  
 Ink-jet meter marking

**Applications**

According to the HD 620 standard for insulation, and the IEC 60502-2 for the other characteristics.

**Suitable accessories**

**Terminations**

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128), FMCE (pag. 130), FMCTS-400 (pag. 132), FMCTXs-630/C (pag. 136)

**Joints**

ECOSPEED™ (pag. 140)



**Condizioni di posa / Laying conditions**



MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

## ARE4H5E COMPACT

Unipolare 12/20 kV e 18/30 kV  
 Single core 12/20 kV and 18/30 kV

### Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARE4H5E

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	massa indicativa del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	portata di corrente in aria	posa interrata a trifoglio p=1 °C m/W	posa interrata a trifoglio p=2 °C m/W
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	approximate weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation	underground installation trefoil p=1 °C m/W	underground installation trefoil p=2 °C m/W
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(A)	(A)	(A)

#### Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV

50	8,2	19,9	28	580	370
70	9,7	20,8	29	650	380
95	11,4	22,1	30	740	400
120	12,9	23,2	32	840	420
150	14,0	24,3	33	930	440
185	15,8	26,1	35	1090	470
240	18,2	28,5	37	1310	490
300	20,8	31,7	42	1560	550
400	23,8	34,9	45	1930	610
500	26,7	37,8	48	2320	650
630	30,5	42,4	53	2880	700

#### Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV

50	186	175	134
70	230	214	164
95	280	256	197
120	323	291	223
150	365	325	250
185	421	368	283
240	500	427	328
300	578	483	371
400	676	551	423
500	787	627	482
630	916	712	547

#### Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	25,5	34	830	450
70	9,7	25,6	34	870	450
95	11,4	26,5	35	950	470
120	12,9	27,4	36	1040	470
150	14,0	28,1	37	1130	490
185	15,8	29,5	38	1260	510
240	18,2	31,5	41	1480	550
300	20,8	34,7	44	1740	590
400	23,8	37,9	48	2130	650
500	26,7	41,0	51	2550	690
630	30,5	45,6	56	3130	760

#### Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	190	175	134
70	235	213	164
95	285	255	196
120	328	291	223
150	370	324	249
185	425	368	283
240	503	436	327
300	581	480	369
400	680	549	422
500	789	624	479
630	918	709	545

Le condizioni di posa dei cavi MT impiegati nel progetto in oggetto differiscono dalle condizioni di riferimento poiché:

- La profondità di interramento è pari a 1,1 m:  $K_3 = 0,97$
- La resistività termica del terreno è pari a 2,5 K\*m/W:  $K_4 = 0,82$
- È stato considerato il caso peggiore di raggruppamento dei circuiti presenti nello stesso strato (in questo progetto) 6 circuiti nello stesso strato a distanza di 0,25 m fra le terne:  $K_2 = 0,8$ ;
- Resta invariata la temperatura del terreno pari a 20 °C:  $K_1 = 1$

Pertanto, la formula diventa:

$$I_z = I_0 * 1 * 0,8 * 0,97 * 0,82 = I_0 * 0,64$$

Si riporta di seguito la tabella delle portate in corrente dei cavi scelti alle condizioni di riferimento e alle condizioni operative impiegate nel progetto.

Valori di  $I_0$  alle condizioni di riferimento:

ARE4H5E 18/30kV Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
70	213	0,5680	0,13	0,58
95	255	0,4110	0,12	0,43
120	291	0,3250	0,12	0,35
150	324	0,2650	0,11	0,29
185	368	0,2110	0,11	0,24
240	426	0,161	0,11	0,19
300	480	0,129	0,1	0,16
400	549	0,1	0,1	0,14
500	624	0,071	0,09	0,11
630	709	0,05	0,08	0,09

Valori di  $I_z$  alle condizioni operative, (applicando i coefficienti correttivi):

ARE4H5E 18/30kV Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
70	135,54	0,5680	0,13	0,58
95	162,26	0,4110	0,12	0,43
120	185,17	0,3250	0,12	0,35
150	206,17	0,2650	0,11	0,29
185	234,17	0,2110	0,11	0,24
240	271,07	0,1610	0,11	0,19
300	305,43	0,1290	0,1	0,16
400	349,34	0,1000	0,1	0,14
500	397,06	0,0710	0,09	0,11
630	451,15	0,0500	0,08	0,09

Data la potenza dei sottocampi, la massima corrente circolante nelle linee di sottocampo è pari a 122,1 A, come è possibile vedere nelle seguenti tabelle. Questa portata in corrente sarebbe sostenuta con una sezione del cavo pari a 70 mm<sup>2</sup>. Tuttavia, la sezione minima ottenuta in funzione della corrente di cortocircuito è pari a 240 mm<sup>2</sup>, la quale sarà presa in considerazione per il calcolo della C.d.T. Per quanto riguarda le linee che vanno dalla CC al trasformatore 36/30 kV (TR<sub>AT/MT</sub>) sono attraversati da una corrente di circa 342 A; quindi, un cavo da 240 mm<sup>2</sup>

risulterebbe sottodimensionato. Per questo motivo, per tali linee sarà utilizzato un cavo con sezione pari a 400 mm<sup>2</sup>.

Di seguito, si riporta il calcolo ed il dimensionamento in funzione della C.d.T. per le linee elettriche MT dell'impianto:

**Condizioni di esercizio MT**

cosj=	0,900
senj=	0,436
V <sub>n</sub> [V] =	30000

**Linea MT 1 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

P <sub>n</sub> [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
2285	PS1>>PS5	48,86	929,66	240	15,2	0,051	1,1
5715	PS5>>CC	122,21	575,4	240	23,5	0,078	4,2

**Linea MT 2 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

P <sub>n</sub> [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
3430	PS2>>PS7	73,34	1302,6	240	31,9	0,106	3,4
5715	PS7>>CC	122,21	273,82	240	11,2	0,037	2,0

**Linea MT 3 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

P <sub>n</sub> [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
3430	PS3>>PS6	73,34	1302,6	240	31,9	0,106	3,4
5715,00	PS6>>CC	122,21	273,82	240	11,2	0,037	2,0

**Linea MT 4 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

P <sub>n</sub> [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
2285	PS4>>PS8	48,86	1036,47	240	16,9	0,056	1,2
5715,00	PS8>>CC	122,21	22,95	240	0,9	0,003	0,2

**Linea MT 5 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

P <sub>n</sub> [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
3430	PS9>>CC	73,34	22,95	240	0,6	0,002	0,1

**Linea MT 6 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

P <sub>n</sub> [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
2285	PS11>>PS10	48,86	7,5	240	0,1	0,000	0,0
5715,00	PS10>>CC	122,21	40,3	240	1,6	0,005	0,3

**Linea MT BESS - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
5000	BESS>>CC	106,92	7,5	240	0,3	0,001	0,0
5000	BESS>>CC	106,92	40,3	240	1,4	0,005	0,2

**Linea MT 7 e 8 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)**

Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
16005	CC>>TR <sub>AT/MT</sub>	342,24	16,85	400	1,3	0,004	0,6
16000	CC>>TR <sub>AT/MT</sub>	342,13	16,85	400	1,3	0,004	0,6

Poiché i valori della C.d.T. e della potenza persa sono ritenuti ammissibili, non vengono effettuate modifiche nel dimensionamento.

**6.1. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI MT IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO**

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente relazione:

$$T_r = T_a + [(T_e - T_a) * (I_n / (N * I_z))^2]$$

Dove:

- $T_r$  temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- $T_a$  temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- $T_e$  temperatura massima di esercizio, 90 °C;
- $I_n$  è la corrente nominale di linea in A;
- $I_z$  è la portata nominale di linea (corretta dai coefficienti) in A;
- $N$  è il numero di conduttori per fase, 1.

Si riporta di seguito esempio del valore di temperature di regime ottenuta per le linee di sottocampo dell'impianto:

Condizioni d'esercizio							
$T_0 =$	20	[°C]		$T_{e,max} =$	90	[°C]	
Linea MT 1 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)							
Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tr [°C]	Posa		

2285	PS1>>PS5	48,86	240	21,6	ST - Trifoglio
5715	PS5>>CC	122,21	240	30,2	ST - Trifoglio

In questo caso, la temperatura di regime dei cavi è inferiore alla massima temperatura di esercizio, quindi non sono riportate modifiche. Risultati analoghi sono ottenuti per le altre linee di sottocampo.

Nella tabella seguente è riportato il calcolo per quanto riguarda le linee MT che vanno dalla cabina centrale al trasformatore 36/30 kV.

Linea MT 1 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)					
Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tr [°C]	Posa
16005	CC>>TR <sub>AT</sub>	342,24	400	87,2	ST - Trifoglio
16000	CC>>TR <sub>AT</sub>	342,13	400	87,1	ST - Trifoglio

Anche in questo caso il valore della temperatura di regime è al di sotto della temperatura massima di esercizio, quindi non vengono riportate modifiche sul dimensionamento di tali linee.

## 7. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI AT IN FUNZIONE DELLA CONDIZIONE DI POSA E DELLA CADUTA DI TENSIONE

Si riportano di seguito le specifiche tecniche del cavo scelto per i collegamenti in AT.

**CAVI MEDIA TENSIONE - ENERGIA**  
**MEDIUM VOLTAGE CABLES - POWER**

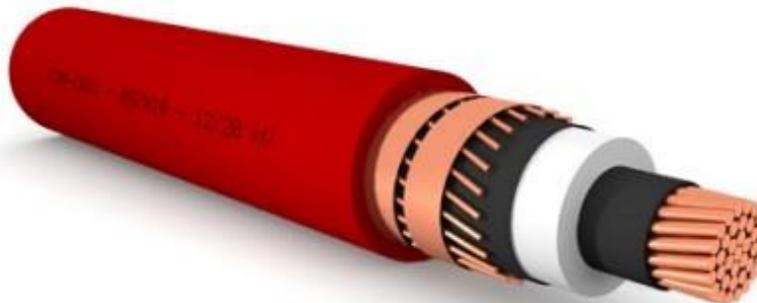
**RG7H1R 1.8/3 kV - 26/45 kV**

**MEDIA TENSIONE - SENZA PIOMBO**  
**MEDIUM VOLTAGE - LEAD-FREE**



**REFERIMENTO NORMATIVO/STANDARD REFERENCE**

Costruzione e requisiti/Construction and specifications	IEC 60502 CEI 20-13
Misura delle scariche parziali/Measurement of partial discharges	CEI 20-16 IEC 60885-3
Propagazione fiamma/Flame propagation	CEI EN 60332-1-2



L'immagine è puramente illustrativa e non rappresenta un prodotto reale.

**DESCRIZIONE:**

Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.

**CARATTERISTICHE FUNZIONALI:**

- Tensione nominale U<sub>0/U</sub>: 1,8/3 + 26/45 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura minima di posa: 0°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 12 volte il diametro del cavo.
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 60 N/mm<sup>2</sup> di sezione del rame

**CONDIZIONI DI IMPIEGO:**

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale. Ammessa la posa interrata anche non protetta, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

**DESCRIPTION:**

Single-core cables, insulated with HEPR rubber of G7 quality, under PVC sheath.

**FUNCTIONAL CHARACTERISTICS**

- Nominal voltage U<sub>0/U</sub>: 1,8/3 + 26/45 kV
- Maximum operating temperature: 90°C
- Min. operating temperature: -15°C (without mechanical shocks)
- Minimum installation temperature: 0°C
- Maximum short circuit temperature: 250°C
- Recommended minimum bending radius: 12 times the cable diameter.
- Recommended maximum tensile stress: 60 N/mm<sup>2</sup> of the cross-section of the copper

**USE AND INSTALLATION**

Suitable for energy transmission between transformer rooms and big power users. For laying an ait, into tube or open pass. Can be laid underground, also if not protected, complying with art. 4.3.11 of CEI 11-17 standard.



CAVI MEDIA TENSIONE - ENERGIA  
 MEDIUM VOLTAGE CABLES - POWER

**RG7H1R 26/45 kV**

Caratteristiche tecniche/Technical characteristics  
**U max: 52 kV**

Formazione Size	Ø indicativo conduttore Approx. conductor 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		A	
					in aria in air	in piano flat	in aria* in air*	in piano* flat*
1 x 70	9,7	10,3	41,9	2150,0	280,0	315,0	255,0	290,0
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	385,0	440,0	355,0	365,0
1 x 150	14,3	9,5	45,1	3020,0	445,0	495,0	385,0	385,0
1 x 185	16,0	9,3	47,1	3365,0	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	870,0	650,0	655,0
1 x 500	26,1	9,0	58,0	6625,0	930,0	1010,0	735,0	740,0
1 x 630	30,3	9,0	62,7	8260,0	1070,0	1160,0	835,0	845,0

\* Resistenza 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 50°C e 50Hz Conductor apparent resistance at 50°C and 50Hz			Resistenza di fase Phase resistance		Capacità a 50Hz Capacity at 50Hz
		in trifase total	in piano flat	in trifase total	in piano flat		
Ø x mm²	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	µF/km	
1 x 70	0,266	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	0,0396	0,0517	0,0499	0,11	0,17	0,31	
1 x 630	0,0283	0,0425	0,0389	0,10	0,16	0,34	



Le condizioni di posa dei cavi AT impiegati nel progetto in oggetto differiscono dalle condizioni di riferimento poiché (si distinguono due casi: 1) dalla CC alla CUC, 2) dalla CUC alla SE):

- La profondità di interramento è pari a 1,5 m:  $K_3 = 0,94$ ;
- La resistività termica del terreno è pari a
  - 2,5 K\*m/W:  $K_{4, caso 1} = 0,82$ ;
  - 1,5 K\*m/W:  $K_{4, caso 2} = 1$ ;
- Sono stati considerati due casi di raggruppamento dei circuiti:
  - 2 circuiti nello stesso strato a distanza di 0,35 m fra le terne:  $K_{2, caso1} = 0,925$ ;
  - 1 circuito:  $K_{2, caso2} = 1$ ;
- Resta invariata la temperatura del terreno pari a 20 °C:  $K_1 = 1$

Pertanto, la formula diventa:

$$I_{z, caso 1} = I_0 * 1 * 0,925 * 0,94 * 0,82 = I_0 * 0,74$$

$$I_{z, caso 2} = I_0 * 1 * 1 * 0,94 * 1 = I_0 * 0,94$$

Si riporta di seguito la tabella delle portate in corrente dei cavi scelti alle condizioni di riferimento e alle condizioni operative impiegate nel progetto.

Valori di  $I_0$  alle condizioni di riferimento:

RG7HIR 26/45kV Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
70	255	0,3420	0,15	0,37
95	300	0,2460	0,14	0,28
120	355	0,1960	0,14	0,24
150	385	0,1590	0,13	0,21
185	440	0,1280	0,13	0,18
240	510	0,0985	0,12	0,16
300	570	0,0797	0,12	0,14
400	650	0,0638	0,11	0,13
500	735	0,0517	0,11	0,12
630	835	0,0425	0,1	0,11

Valori di  $I_{z, caso 1}$  alle condizioni operative del caso 1, (applicando i relativi coefficienti correttivi):

RG7H1R 26/45kV Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
70	187,61	0,3420	0,15	0,37
95	220,72	0,2460	0,14	0,28
120	261,19	0,1960	0,14	0,24
150	283,26	0,1590	0,13	0,21
185	323,73	0,1280	0,13	0,18
240	375,23	0,0985	0,12	0,16
300	419,37	0,0797	0,12	0,14
400	478,23	0,0638	0,11	0,13
500	540,77	0,0517	0,11	0,12
630	614,35	0,0425	0,1	0,11

Valori di  $I_{z, caso 2}$  alle condizioni operative del caso 2, (applicando i relativi coefficienti correttivi):

RG7H1R 26/45kV Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
70	239,70	0,3420	0,15	0,37
95	282,00	0,2460	0,14	0,28
120	333,70	0,1960	0,14	0,24
150	361,90	0,1590	0,13	0,21
185	413,60	0,1280	0,13	0,18
240	479,40	0,0985	0,12	0,16
300	535,80	0,0797	0,12	0,14
400	611,00	0,0638	0,11	0,13
500	690,90	0,0517	0,11	0,12
630	784,90	0,0425	0,1	0,11

Data la potenza dell'impianto, la corrente che attraversa le linee AT dalla CC alla CUC è pari a circa 342,13 A.

Quindi, un cavo di sezione di 150 mm<sup>2</sup> risulterebbe adeguato alla portata in corrente nominale. Tuttavia, data la lunghezza della tratta, si è scelto di utilizzare un cavo di sezione pari a 300 mm<sup>2</sup>, per ridurre le C.d.T. e conseguentemente la potenza persa. Per quanto riguarda la linea dalla CUC alla SE, la sezione sarà pari a 500 mm<sup>2</sup> (corrente nominale pari a 673 A).

Di seguito, si riporta il calcolo ed il dimensionamento in funzione della C.d.T. per le linee elettriche MT dell'impianto:

<b>Condizioni di esercizio</b>	cosφ=	0,900
	senφ=	0,436

	Vn [V]=	36000
--	---------	-------

Linea AT 1 e 2 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)							
Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]
16000	CC>>CUC	342,13	5847,33	300	429,8	1,433	264,9
16005	CC>>CUC	342,24	5874,33	300	431,9	1,440	266,3
32005	CUC>>SE	684,4	100	500	11,0	0,037	10,8

Poiché i valori della C.d.T. e della potenza persa sono ritenuti ammissibili, non vengono effettuate modifiche nel dimensionamento.

### 7.1. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI AT IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO

Per il dimensionamento alla temperatura di funzionamento si è utilizzata la seguente relazione:

$$T_r = T_a + [(T_e - T_a) * (I_n / (N * I_z))^2]$$

Dove:

- $T_r$  temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- $T_a$  temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- $T_e$  temperatura massima di esercizio, 90 °C;
- $I_n$  è la corrente nominale di linea in A;
- $I_z$  è la portata nominale di linea (corretta dai coefficienti) in A;
- $N$  è il numero di conduttori per fase, 1.

Si riporta di seguito esempio del valore di temperature di regime ottenuta per le linee in AT dell'impianto:

Condizioni d'esercizio							
	T <sub>0</sub> =	20	[°C]		Te,max=	90	[°C]
Linea AT 1 e 2 - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)							
Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Tr [°C]	Posa		
16005	CC>>CUC	342,13	300	48,6	ST - Trifoglio		

16000	CC>>CUC	342,13	300	48,5	ST - Trifoglio
32005	CUC>>SE	673,02	500	86,4	ST - Trifoglio

La temperatura di regime dei cavi è inferiore alla massima temperatura di esercizio, quindi non sono riportate modifiche.