

# REGIONE SICILIA

Libero Consorzio Comunale di Enna

COMUNE DI AGIRA



01	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	11/04/23	BAIARDO G.	SIGNORELLO A.	NASTASI A.
00	EMISSIONE PER COMMENTI	03/04/23	BAIARDO G.	SIGNORELLO A.	NASTASI A.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.

Committente:

**DS ITALIA 7 SRL**



Sede legale in Piazza del Popolo 18, CAP 00187 Roma (RM)  
Partita I.V.A. 16295141002 – PEC: dsitalia7@legalmail.it

Società di Progettazione:

Ingegneria & Innovazione



Via Jonica, 16 – Loc. Belvedere 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409  
Web: [www.antexgroup.it](http://www.antexgroup.it) e-mail: [info@antexgroup.it](mailto:info@antexgroup.it)

Progetto:

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO AGIRA**

Progettista/Resp. Tecnico:

Dott. Ing. Antonino Signorello  
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Catania  
n° 6105 sez. A

Elaborato:

RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT-AT

Scala:

N.A.

Nome DIS/FILE:

C21032S05-PD-RT-21-01

Allegato:

1/1

F.to:

A4

Livello:

**DEFINITIVO**

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
4. DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE MINIMA IN FUNZIONE DELLA CORRENTE DI CORTOCIRCUITO.	4
5. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA .....	6
6. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE (C.d.T).....	8
7. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI ESERCIZIO .....	9
8. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI MT IN FUNZIONE DELLA CONDIZIONE DI POSA E DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	9
9. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI AT IN FUNZIONE DELLA CONDIZIONE DI POSA E DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	15

## 1. PREMESSA

Per conto della società proponente, DS Italia 7 S.r.l., la società Antex Group S.r.l. ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare, denominato **Impianto Agrivoltaico "Agira"** da realizzarsi nel territorio del Comune di Agira, appartenente al Libero Consorzio Comunale di Enna. Il progetto prevede l'installazione di n. 91.230 moduli fotovoltaici da 670 Wp ciascuno, su strutture fisse, per una potenza complessiva pari a 61124,1 kWp. Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta 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 36 kV di una futura stazione di trasformazione (SE) della RTN 380/150/36 kV da inserire in entra-esce alla futura linea RTN 380 kV "Chiaramonte Gulfi – Ciminna", di cui al Piano di Sviluppo Terna.

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali, gestionali, legali e di finanza agevolata e pone 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.

Antex Group in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti, è in possesso di un proprio Sistema di Gestione Qualità certificato ISO 9001:2015 per attività di "Servizi tecnico-professionali di ingegneria multidisciplinare.

## 2. SCOPO

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento dei cavi in Media Tensione (MT), per i collegamenti interni delle cabine dell'impianto, ed in Alta Tensione (AT), per la connessione dell'**Impianto Agrivoltaico Agira**, da realizzarsi nel territorio del Comune di Agira, appartenente al Libero Consorzio Comunale di Enna (EN), alla Stazione Elettrica (SE) della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

## 3. RETE INTERNA CAVI MT/AT

L'impianto fotovoltaico sarà costituito complessivamente da 12 Cabine di Sottocampo (CS), di cui 10 con trasformatore da 6300 kVA e 2 da 3250 kVA, 299 inverter e 3041 stringhe, 3 Cabine di Raccolta (CR), 1 Cabina di Centrale (CC) e 1 Cabina di Utente per la Consegna (CUC). Nella tabella seguente viene riportata la rete interna di collegamento delle diverse cabine, la tipologia di rete e la tensione nominale di esercizio, conformemente all'elaborato "C21032S05-PD-EE-15-01 – Schema Elettrico Unifilare".

Da Cabina	A Cabina	Tipologia di Rete	Tensione di Esercizio
CS1	CR1	Ad Anello	Media Tensione
CS2			
CS3			
CS4	CR2	Ad Anello	Media Tensione
CS5			
CS6			
CS7	CR3	Ad Anello	Media Tensione
CS8			
CS9			
CS10	CC	Ad Anello	Media Tensione
CS11			
CS12			
CR1	CC	Radiale	Media Tensione
CR2	CC	Radiale	Media Tensione
CR3	CC	Radiale	Media Tensione
CC	CUC	Radiale	Media Tensione

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

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 16 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<sub>MT</sub> = 92; K<sub>AT</sub>=92).

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 (XLPE), 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.

Mentre, per le linee AT verranno impiegati cavi in alluminio ARE4H5E 20,8/36 kV con isolante in polietilene reticolato (XLPE), aventi massima temperatura di servizio pari a 90 °C e massima temperatura di cortocircuito pari a 250 °C. Pertanto, anche in questo caso la costante termica K che è pari a 92.

Risolvendo la relazione precedente per S:

$$S_{MT} = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [16 * \sqrt{(1)}] / 92 = 173,9 \text{ mm}^2$$

$$S_{AT} = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [16 * \sqrt{(1)}] / 92 = 173,9 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta, in entrambi i casi, è pari a 185 mm<sup>2</sup>.

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

La Norma IEC 60502-2 - "Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1kV (Um = 1,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV)", fornisce i fattori 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, i coefficienti di correzione utilizzati per i cavi in MT saranno utilizzati anche per i cavi in AT.

Per cavi interrati di queste categorie di tensioni viene fornita la portata in corrente di riferimento I<sub>0</sub> nelle seguenti condizioni:

- Ta temperatura ambiente 20 °C;
- Profondità di posa 0,8 m;
- Rt 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<sub>z</sub> portata in corrente nelle condizioni in esame;
- I<sub>0</sub> portata in corrente nelle condizioni di riferimento;
- K<sub>1</sub> fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C;
- K<sub>2</sub> fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano;
- K<sub>3</sub> fattore di correzione per profondità di interrimento diverse da 0,8 m;
- K<sub>4</sub> 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.



**Table B.11 – Correction factors for ambient ground temperatures other than 20 °C**

Maximum conductor temperature °C	Ambient ground temperature °C							
	10	15	25	30	35	40	45	50
90	1,07	1,04	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76

**Table B.21 – Correction factors for groups of three-phase circuits of single-core cables in single-way ducts**

Number of cables in group	Spacing between duct group centres mm				
	Touching	200	400	600	800
2	0,78	0,85	0,89	0,91	0,93
3	0,66	0,75	0,81	0,85	0,88
4	0,59	0,70	0,77	0,82	0,86
5	0,55	0,66	0,74	0,80	0,84
6	0,51	0,64	0,72	0,78	0,83
7	0,48	0,61	0,71	0,77	0,82
8	0,46	0,60	0,70	0,76	–
9	0,44	0,58	0,69	0,76	–
10	0,43	0,57	0,68	–	–
11	0,42	0,56	0,67	–	–
12	0,40	0,55	0,67	–	–

**Table B.12 – Correction factors for depths of laying other than 0,8 m for direct buried cables**

Depth of laying m	Single-core cables		Three-core cables
	Nominal conductor size mm <sup>2</sup>		
	≤185 mm <sup>2</sup>	>185 mm <sup>2</sup>	
0,5	1,04	1,06	1,04
0,6	1,02	1,04	1,03
1	0,98	0,97	0,98
1,25	0,96	0,95	0,96
1,5	0,95	0,93	0,95
1,75	0,94	0,91	0,94
2	0,93	0,90	0,93
2,5	0,91	0,88	0,91
3	0,90	0,86	0,90

**Table B.14 – Correction factors for soil thermal resistivities  
 other than 1,5 K·m/W for direct buried single-core cables**

Nominal area of conductor  mm <sup>2</sup>	Values of soil thermal resistivity K·m/W						
	0,7	0,8	0,9	1	2	2,5	3
16	1,29	1,24	1,19	1,15	0,89	0,82	0,75
25	1,30	1,25	1,20	1,16	0,89	0,81	0,75
35	1,30	1,25	1,21	1,16	0,89	0,81	0,75
50	1,32	1,26	1,21	1,16	0,89	0,81	0,74
70	1,33	1,27	1,22	1,17	0,89	0,81	0,74
95	1,34	1,28	1,22	1,18	0,89	0,80	0,74
120	1,34	1,28	1,22	1,18	0,88	0,80	0,74
150	1,35	1,28	1,23	1,18	0,88	0,80	0,74
185	1,35	1,29	1,23	1,18	0,88	0,80	0,74
240	1,36	1,29	1,23	1,18	0,88	0,80	0,73
300	1,36	1,30	1,24	1,19	0,88	0,80	0,73
400	1,37	1,30	1,24	1,19	0,88	0,79	0,73

**6. 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, per le linee MT, e circa pari a 3%, per le linee AT.

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:

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

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, calcolata in funzione della temperatura di esercizio, (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:

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

## 7. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI ESERCIZIO

La temperatura di esercizio del conduttore viene calcolata mediante la seguente equazione:

$$T_e = T_a + [(T_{e,\text{max}} - T_a) * (I_n / (N * I_z))^2]$$

Dove:

- $T_e$  temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- $T_a$  temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- $T_{e,\text{max}}$  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.

Il dimensionamento in funzione della temperatura di esercizio è stato effettuato, in maniera cautelativa, tale che questa non superi i 70°C.

## 8. 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.

CAVI MEDIA TENSIONE - ENERGIA  
 MEDIUM VOLTAGE CABLES - POWER

**ARE4H5E 18/30 kV**

MEDIA TENSIONE - ENERGIA  
 MEDIUM VOLTAGE - POWER

**U max: 36 kV**

Caratteristiche tecniche/Technical characteristics

Formazione Size	Ø nominale cavo Nominal cable Ø	Peso indicativo cavo Approx. cable weight
1 x 70	31,7	908,0
1 x 95	33,4	1034,0
1 x 120	35,0	1160,0
1 x 150	36,4	1284,0
1 x 185	38,3	1449,0
1 x 240	40,6	1677,0
1 x 300	43,1	1931,0
1 x 400	46,3	2283,0
1 x 500	50,0	2723,0
1 x 630	53,5	3254,0
1 x 800	58,9	3990,0

Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics

Corrente Nominale Current rating		
A		
in aria In air	in tubo In duct	interrato* buried*
239	189	232
288	222	278
332	259	320
379	290	354
433	322	405
513	386	468
590	440	526
685	510	605
803	587	684
933	680	794
1075	772	899

Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics

Formazione Size	Resistenza elettrica in CC a 20°C Max. DC electrical resistance at 20°C	Resistenza elettrica CA a 90°C Max. AC electrical resistance at 90°C	Induttanza Inductance	Reattanza a 50Hz Reactance at 50Hz	Capacità a 50Hz Capacitance at 50 Hz	Corrente di carica a 50Hz Charging Current at 50 Hz	Perdite nel dielettrico a 50Hz Dielectric Losses at 50 Hz	Corrente di corto circuito del conduttore per 1 sec. Conductor Short Circuit Current for 1 sec.	Corrente di corto circuito dello schermo metallico per 1 sec. Metallic Screen Short Circuit Current for 1 sec.
n° x mm²	Ω/Km	Ω/Km	mH/Km	Ω/Km	µ/Km	Amp/Km	W/Km/phase	kA	kA
1 x 70	0,443	0,5682	0,4288	0,1347	0,1595	0,9019	64,94	6,6	2,2
1 x 95	0,32	0,4106	0,4108	0,1291	0,1742	0,9851	70,93	9	2,3
1 x 120	0,253	0,3248	0,3968	0,1247	0,1878	1,0621	76,47	11,3	2,4
1 x 150	0,206	0,2646	0,3837	0,1205	0,2013	1,1385	81,97	14,2	2,5
1 x 185	0,164	0,211	0,3711	0,1166	0,2177	1,2309	88,62	17,5	2,7
1 x 240	0,125	0,1612	0,3556	0,1117	0,2396	1,355	97,56	22,7	2,8
1 x 300	0,1	0,1295	0,3456	0,1086	0,2615	1,4786	106,46	28,3	3,1
1 x 400	0,0778	0,1015	0,3282	0,1031	0,2898	1,639	118,01	37,8	3,3
1 x 500	0,0605	0,0799	0,3170	0,0996	0,3228	1,8255	131,43	47,2	3,7
1 x 630	0,0469	0,0632	0,3071	0,0965	0,3538	2,0007	144,05	59,5	3,9
1 x 800	0,0367	0,0512	0,2953	0,0928	0,4006	2,2655	163,11	75,6	4,7

\* Temperatura in aria = 30°C - Temperatura suolo = 20°C - Resistività termica del suolo = 1°C m/W - Profondità interrimento = 0,5 m - Formazione a trifoglio  
 \* Air Temperature = 30°C - Ground Temperature = 20°C - Soil Thermal Resistivity = 1°C.m/W - Burial Depth = 0.5 m - Trefoil Formation  
 \* Tutti i test di routine richiesti da IEC 60502-2 verranno eseguiti sul cavo e un certificato di prova verrà fornito su richiesta.  
 \* All routine tests required by IEC 60502-2 will be performed on the cable and a test certificate will be supplied on request.

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:  $K_3 = 0,96$ ;
- La resistività termica del terreno è pari a  $1 \text{ C}^\circ\text{m/W}$ :  $K_4 = 1$ ;
- È stato considerato il caso peggiore di raggruppamento dei circuiti presenti nello stesso strato (in questo progetto).  
 Tre circuiti nello stesso strato a distanza di 0,25 m fra le terne:  $K_2 = 0,77$ ;
- Resta invariata la temperatura del terreno pari a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $K_1 = 1$

Pertanto, la formula diventa:

$$I_z = I_0 * 1 * 0,77 * 0,96 * 1 = I_0 * 0,7392$$

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:

<b>ARE4H5E 18/30kV Sezione nominale [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Portata [A] (Posa interrata a trifoglio)</b>	<b>Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]</b>	<b>Reattanza di fase [Ohm/km]</b>	<b>Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]</b>
70	232	0,5682	0,1347	0,58
95	278	0,4106	0,1291	0,43
120	320	0,3248	0,1247	0,35
150	354	0,2646	0,1205	0,29
185	405	0,211	0,1166	0,24
240	468	0,1612	0,1117	0,20
300	526	0,1295	0,1086	0,17
400	605	0,1015	0,1031	0,14
500	684	0,0799	0,0996	0,13
630	794	0,0632	0,0965	0,12
800	899	0,0512	0,0928	0,11

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

ARE4H5E 18/30kV Sezione nominale [mm <sup>2</sup> ]	Portata [A]	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	171,5	0,5680	0,13	0,58
95	205,5	0,4110	0,12	0,43
120	236,5	0,3250	0,12	0,35
150	261,7	0,2650	0,11	0,29
185	299,4	0,2110	0,11	0,24
240	345,9	0,1610	0,11	0,19
300	388,8	0,1290	0,1	0,16
400	447,2	0,1000	0,1	0,14
500	505,6	0,0710	0,09	0,11
630	586,9	0,0500	0,08	0,09
800	664,5	0,0512	0,0928	0,11

Di seguito, si riportano i calcoli per il dimensionamento delle linee MT, per il collegamento ad anello delle varie Cabine di Sottocampo alle rispettive Cabine di Raccolta/Centrale, in funzione della corrente di impiego, della temperatura di esercizio e della C.d.T.

ANELLO N°1 - Rete CS1 - CS2 - CS3 - CR1 (LINEA P-Q, CON VP=VQ)									
Leq_ [m]	P		1013					Q	
Cabine	CR1	>>	CS1	>>	CS2	>>	CS3	>>	CR1
Potenza [kW]			5800		5800		5200		
L_ [m]		30		388		92		503	
In_ [A]			124,02		124,02		111,19		
In_P [A]			120,35		72,85		55,21		
In_Q [A]			3,67		51,18		55,98		
I_P [A]	248,41								
I_Q [A]	110,83								
ΔP [A]			124,39		0,36		-110,83		
ΔQ [A]							-0,36		110,83
Rete ad anello - CS1 - CS2 - CS3 - CR1									
TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Te [°C]	Re (T) [Ohm/km]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]
CS3>>CR1	248,41	510	185	68,19	0,24	58,6	0,195	19,9	0,000
CS3>>CR1	110,83	503	185	29,59	0,22	23,8	0,079	3,9	0,000



ANELLO N°2 – Rete ad anello CS4 – CS5 – CS6 – CR2 (LINEA P-Q, CON VP=VQ)										
Leq_ [m]	P		1056						Q	
Cabine	CR2		>>	CS5	>>	CS4	>>	CS6	>>	CR2
Potenza [kW]				5000		5000		5200		
L_ [m]			73		388		92		503	
In_ [A]				106,92		106,92		111,19		
In_P [A]				99,53		60,24		52,96		
In_Q [A]				7,39		46,67		58,23		
I_P [A]	212,73									
I_Q [A]	112,29									
ΔP [A]				105,82		-1,10				
ΔQ [A]						-105,82		1,10		
Rete ad anello - CS4 - CS5 - CS6 – CR2										
TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Te [°C]	Re (T) [Ohm/km]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	
CS4>>CR2	212,73	461,00	185	55,35	0,23	44,2	0,147	13,2	0,000	
CS4>>CR2	112,29	595	185	29,85	0,22	28,5	0,095	4,7	0,000	

ANELLO N°3 - Rete ad anello CS7 – CS8 – CS9 – CR3 (LINEA P-Q, CON VP=VQ)										
Leq_ [m]	P		1172						Q	
Cabine	CR3			CS8		CS7		CS9		CR3
Potenza [kW]				5000		3000		5600		
L_ [m]			23		341		345		463	
In_ [A]				106,92		64,15		119,75		
In_P [A]				104,82		44,23		47,31		
In_Q [A]				2,10		19,92		72,44		
I_P [A]	196,35									
I_Q [A]	94,46									
ΔP [A]				89,43		25,28		-94,46		
ΔQ [A]								-25,29		94,46
Rete ad anello - CS7 - CS8 - CS9 – CR3										
TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Te [°C]	Re (T) [Ohm/km]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	
CS9>>CR3	196,35	709	185	50,11	0,23	62,0	0,207	17,3	0,000	
CS9>>CR3	94,46	463	185	26,97	0,22	18,5	0,062	2,6	0,000	

ANELLO N°4 – Rete ad anello CS10 – CS11 – CS12 - CC (LINEA P-Q, CON VP=VQ)										
Leq_ [m]	P		762						Q	
Cabine	CC			CS12		CS11		CS10		CC
Potenza [kW]				5600		3000		5600		
L_ [m]			84		210		90		378	
In_ [A]				119,75		64,15		119,75		
In_P [A]				106,55		39,40		59,40		

In_Q [A]			13,20		24,75		60,34		
I_P [A]	205,35								
I_Q [A]	98,30								
ΔP [A]			85,60		21,45		-98,30		
ΔQ [A]							-21,45		98,30
<b>Rete ad anello - CS10 - CS11 - CS12 - CC</b>									
TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Te [°C]	Re (T) [Ohm/km]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]
CS10>>CC	205,35	384	185	52,93	0,23	35,4	0,118	10,2	0,000
CS10>>CC	98,30	378	185	27,55	0,22	15,8	0,053	2,3	0,000

La sezione minima da utilizzare per le linee MT in funzione della corrente di cortocircuito, pari a 185 mm<sup>2</sup>, risulta essere idonea alla corrente circolante nelle linee stesse. Di conseguenza, la temperatura di esercizio risulta essere inferiore al valore limite scelto, pari a 70°C. Inoltre, la C.d.T. risulta inferiore al valore minimo scelto, pari al 2%. Dunque, la sezione minima risulta soddisfare tutti i criteri per il dimensionamento dei cavi MT, nei casi analizzati.

Di seguito, si riportano i calcoli per il dimensionamento delle linee MT, per il collegamento delle varie Cabine di Raccolta alla Cabina di Centrale, in funzione della corrente di impiego, della temperatura di esercizio e della C.d.T.

Rete radiale MT N°1 - CR1 - CC										
Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Te [°C]	Re (T) [Ohm/km]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]
16800	CR1>>CC	359,24	4900	400	65,17	0,11	452,0	1,507	192,6	0,001

Rete radiale MT N°2 - CR2 - CC										
Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Te [°C]	Re (T) [Ohm/km]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]
15200	CR2>>CC	325,03	1680	300	68,91	0,15	170,6	0,569	69,0	0,000

Rete radiale MT N°3 - CR3 - CC										
Pn [kVA]	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mm <sup>2</sup> ]	Te [°C]	Re (T) [Ohm/km]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]
13600	CR3>>CC	290,81	1020	240	69,47	0,18	110,2	0,367	41,7	0,000

Dai risultati ottenuti è possibile vedere che la sezione minima non soddisferebbe il valore percentuale limite della C.d.T., per la rete radiale n°1, e il valore della temperatura limite, per le tre linee MT considerate. Dunque, la sezione del cavo è stata dimensionata in maniera tale che vengano rispettati tutti i parametri di progettazione delle linee MT.

## 9. 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.

UNI EN ISO 9001:2015

**ARE4H5E**  
**20,8/36kV**  
**1x... SR/0,2**

**MEDIUM VOLTAGE POWER CABLES**  
**SINGLE CORE CABLES WITH ALUMINIUM CONDUCTOR, REDUCED THICKNESS XLPE INSULATION, ALLUMINIUM TAPE SCREEN AND PE OUTER SHEATH, LONGITUDINAL AND RADIAL WATERTIGHTNESS**

**APPLICATIONS**  
 In MV energy distribution networks for voltage systems up to **42kV**. Suitable for fixed installation indoor or outdoor laying in air or directly or indirectly buried, also in wet location.

**FUNCTIONAL CHARACTERISTICS**

Rated voltage $U_0/U$ :	<b>20,8/36 kV</b>
Maximum voltage $U_m$ :	<b>42 kV</b>
Test voltage:	<b>3,5 <math>U_0</math></b>
Max operating temperature of conductor:	<b>90 °C</b>
Max short-circuit temperature:	<b>250 °C (max duration 5 s)</b>
Max short-circuit temperature (screen):	<b>150 °C</b>

**CONSTRUCTION**

- 1. Conductor**  
*stranded, compacted, round aluminium - class 2 acc. to IEC 60228*
- 2. Conductor screen**  
*extruded semiconducting compound*
- 3. Insulation**  
*extruded XLPE compound*
- 4. Insulation screen**  
*extruded semiconducting compound - fully bonded*
- 5. Longitudinal watertightness**  
*semiconducting water blocking tape*
- 6. Metallic screen and radial water barrier**  
*aluminium tape longitudinally applied (nominal thickness = 0,20 mm)*
- 7. Outer sheath**  
*extruded PE compound - colour: red*

**INSTALLATION DATA**

**Max pulling force during laying**  
50 N/mm<sup>2</sup> (applied on the conductors)

**Min bending radius during laying**  
14 D<sub>cable</sub> (dynamic condition)

**Min temperature during laying**  
- 25 °C (cable temperature)

**STANDARDS**

IEC 60840 where applicable (*testing*)  
 Nexans Design  
 HD 620 where applicable (*materials*)

**MARKING by ink-jet of the following legend:**  
 "MANUFACTURER <Year> **ARE4H5E 20,8/36kV 1x<S>** <meter marking>"  
 <Year> = year of manufacturing  
 <S> = section of the conductor

Longitudinal waterproof

Radial waterproof

Max operating temp. of conductor: **90 °C**

Max short-circuit temperature: **250 °C**

Max short-circuit temperature screen: **150 °C**

Minimum installation temperature: **-25 °C**

La Presente è conforme a quella del produttore depositata presso i nostri uffici

ARE4H5E 20,8/36kV 1x...														
Type	Conductor diameter nominal mm	Insulation		Sheath thickness nominal mm	Cable		Electrical resistance		X at 50 Hz Ω/km	C μF/km	Current capacity		Short circuit current	
		thickness min mm	diameter nominal mm		diameter approx mm	weight indicative kg/km	at 20 °C - d.c. Ω/km	at 90 °C - a.c. Ω/km			in ground at 20 °C A	in free air at 30 °C A	conductor Tmax 250°C kA x 1,0 s	screen Tmax 150°C kA x 0,5 s
1x185	16,0	7,4	32,6	2,2	40,7	1.450	0,1640	0,211	0,115	0,221	321	429	17,5	2,3
1x240	18,5	7,1	34,5	2,3	42,8	1.660	0,1250	0,161	0,109	0,252	372	508	22,7	2,3
1x300	20,7	6,8	36,1	2,3	44,5	1.850	0,1000	0,129	0,104	0,283	419	583	28,3	2,4
1x400	23,5	6,9	39,1	2,4	47,9	2.190	0,0778	0,101	0,101	0,308	479	680	37,8	2,6
1x500	26,5	7,0	42,6	2,5	51,7	2.630	0,0605	0,079	0,098	0,337	547	792	47,2	2,9
1x630	30,0	7,1	46,3	2,6	56,0	3.190	0,0469	0,063	0,095	0,367	622	920	59,5	3,0

**Note**  
 Laying condition: trefoil formation  
 depth (m): 0,8  
 soil thermal resistivity (°Cm/W): 1,5  
 metallic layers connection: solid bonding (earthed at both ends)

X = phase reactance  
 C = capacitance

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 interrimento è pari a 1,5 m:  $K_3 = 0,93$ ;
- La resistività termica del terreno è pari a 1,5 K\*m/W  $K_4 = 1$ ;
- Sono stati considerati due casi di raggruppamento dei circuiti:
  - 3 circuiti nello stesso strato a distanza di 0,4 m fra le terne:  $K_{2, caso1} = 0,81$ ;
  - 2 circuiti nello stesso strato a distanza di 0,4 m fra le terne:  $K_{2, caso2} = 0,9$ ;
- Resta invariata la temperatura del terreno pari a 20 °C:  $K_1 = 1$

Pertanto, la formula diventa:

$$I_{z, caso 1} = I_0 * 1 * 0,81 * 0,93 * 1 = I_0 * 0,7533$$

$$I_{z, caso 2} = I_0 * 1 * 0,9 * 0,93 * 1 = I_0 * 0,837$$

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 20,8/36 kV - Al unipolare 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]
185	321	0,2110	0,1166	0,24
240	372	0,161	0,1117	0,20

300	419	0,129	0,1086	0,17
400	479	0,101	0,1031	0,14
500	547	0,079	0,0996	0,13
630	622	0,063	0,10	0,12

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

<b>ARE4H5E 20,8/36 kV - Al unipolare Sezione nominale [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Portata [A] (Trifoglio)</b>	<b>Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]</b>	<b>Reattanza di fase [Ohm/km]</b>	<b>Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]</b>
185	241,8	0,2110	0,1166	0,24
240	280,2	0,161	0,1117	0,20
300	315,6	0,129	0,1086	0,17
400	360,8	0,101	0,1031	0,14
500	412,1	0,079	0,0996	0,13
630	468,6	0,063	0,10	0,12

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

<b>ARE4H5E 20,8/36 kV - Al unipolare Sezione nominale [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Portata [A] (Trifoglio)</b>	<b>Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]</b>	<b>Reattanza di fase [Ohm/km]</b>	<b>Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]</b>
185	268,7	0,2110	0,1166	0,24
240	311,4	0,1612	0,1117	0,20
300	350,7	0,1295	0,1086	0,17
400	400,9	0,1015	0,1031	0,14
500	457,8	0,0799	0,0996	0,13
630	532,4	0,0632	0,10	0,12

Data la potenza dell'impianto, la corrente che attraversa le linee AT dalla CC alla CUC è pari a circa 355,2 A. Quindi, un cavo di sezione di 240 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 630 mm<sup>2</sup>, per ridurre le C.d.T. e conseguentemente le perdite di potenza. Per quanto riguarda le linee dalla CUC alla SE (2 terne), la sezione sarà pari a 630 mm<sup>2</sup>, con una corrente nominale di impiego pari a 510 A, calcolata al netto delle perdite di potenza lungo l'impianto.

Di seguito, si riporta il calcolo per le linee elettriche AT dell'impianto, in funzione della corrente di impiego, della temperatura di esercizio e della C.d.T.



<b>Condizioni di esercizio</b>	cosφ=	0,900
	senφ=	0,436
	Vn [V]=	36000

<b>Rete radiale AT N°1, N°2 e N°3 – CC - CUC</b>										
<b>Pn [kVA]</b>	<b>TRATTA</b>	<b>In [A]</b>	<b>Lunghezza [m]</b>	<b>Sez. cavo [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Te [°C]</b>	<b>Re (T) [Ohm/km]</b>	<b>C.d.t. [V]</b>	<b>C.d.t. [%]</b>	<b>Ploss [kW]</b>	<b>Ploss [%]</b>
19933,33	CC>>CUC	355,20	15500	630	60,23	0,07	1006,8	2,797	370,8	0,002
19933,33	CC>>CUC	355,20	15500	630	60,23	0,07	1006,8	2,797	370,8	0,002
19933,33	CC>>CUC	355,20	15500	630	60,23	0,07	1006,8	2,797	370,8	0,002
<b>Rete radiale AT N°4 e N°5 – CUC - SE</b>										
29150,00	CUC>>SE	519,44	200	630	68,82	0,07	19,3	0,053	10,2	0,000
29150,00	CUC>>SE	519,44	200	630	68,82	0,07	19,3	0,053	10,2	0,000

Dai risultati ottenuti si è verificato che la sezione del cavo scelta per la rete AT rispettano i criteri di dimensionamento considerati.