






REGIONE SICILIA

Libero Consorzio Comunale di Enna

COMUNE DI PIAZZA ARMERINA



01	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	22/12/23	DE LUCA S..	FURNO C.	DI MARI C.
00	EMISSIONE PER COMMENTI	07/12/23	DE LUCA S..	FURNO C.	DI MARI C.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.

Committente:				
DS ITALIA 9 S.r.l.				
Via del Plebiscito, 112, 00186 ROMA (RM) Partiva I.V.A. 16380491007 – P.E.C.: dsitalia9@legalmail.it		EVERWOOD GROUP		
Società di Progettazione:		Ingegneria & Innovazione		
		Via Jonica, 16 – Loc. Belvedere 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409 Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it		
Progetto:		Progettista/Resp. Tecnico:		
IMPIANTO AGRIVOLTAICO “PIAZZA ARMERINA”		Dott. Ing. Antonino Signorello Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catania n° 6105 sez. A		
Elaborato:				
RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT & AT IMPIANTO FOTOVOLTAICO				
Scala:	Nome DIS/FILE:	Allegato:	F.to:	Livello:
N.A.	C 22006S05-PD-RT-20-01	1/1	A4	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	4
3. PARAMETRI DI IMPIANTO PER LA CONNESSIONE – (CODICE PRATICA: 202200316)	4
4. SOLUZIONE DI CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202200316).....	4
5. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN ALLUMINIO MT – ARE4H5EX – 18/30 kV – U _{max} 36 kV.....	5
6. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN RAME AT - RG7H1R – 26/45 kV – U _{max} 56 kV	8
7. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA.....	10
8. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA/CORRENTE DI CORTOCIRCUITO MT & AT	13
9. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE DI C.TO-C.TO.....	13
10. RETE INTERNA MT CON DISTRIBUZIONE A SEMPLICE ANELLO.....	15
11. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	16
12. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO	17
12. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – ATTRAVERSAMENTI DI CANALI	18
13. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – DISTANZE DI RISPETTO DA IMPIANTI E OPERE INTERFERENTI.....	18

1. PREMESSA

Per conto della società proponente, DS Italia 9 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 "Piazza Armerina"** da realizzarsi nel territorio del Comune di Piazza Armerina, appartenente al Libero Consorzio Comunale di Enna. Il progetto prevede l'installazione di n. 80.108 moduli fotovoltaici da 690 Wp ciascuno, su strutture fisse, per una potenza complessiva pari a 55.274 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 una nuova stazione di trasformazione a 150/36 kV della RTN da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 150 kV "Nicoletti – Valguarnera", che dovrà essere collegata, tramite due nuovi elettrodotti RTN a 150 kV, con una futura SE RTN 380/150 kV da inserire sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV "Chiaromonte Gulfi -Ciminna" previsto nel 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.

2. SCOPO

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento dei cavi di media tensione ed alta tensione da impiegare nell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare, denominato **Impianto Agrivoltaico "Piazza Armerina"**, che DS Italia 9 intende realizzare. nei territori del Comune di Piazza Armerina (EN).

3. PARAMETRI DI IMPIANTO PER LA CONNESSIONE – (CODICE PRATICA: 202200316)

La potenza in immissione richiesta per l'impianto in esame è pari a 44.220 kW.

La potenza nominale DC dell'impianto è pari a 55.274,52 kW.

La potenza nominale AC degli inverters dell'impianto è pari a 49.500 kVA.

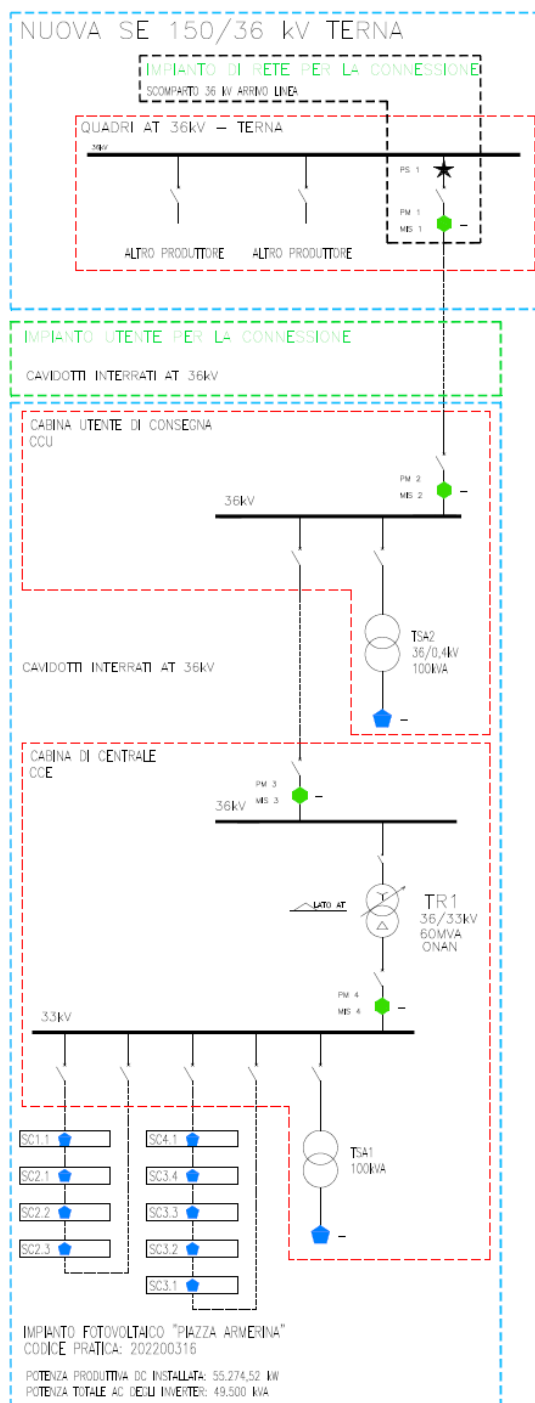
La potenza in prelievo richiesta per i S.A. dell'impianto è pari a 200 kW.

4. SOLUZIONE DI CONNESSIONE ALLA RTN – (CODICE PRATICA: 202200316)

Per la connessione alla RTN è stato richiesto ed accettato il preventivo di connessione rilasciato Terna avente Codice Pratica: 202200316.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che la Vs. centrale venga collegata in antenna a 36 kV con una nuova stazione di trasformazione a 150/36 kV della RTN da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 150 kV "Nicoletti – Valguarnera", che dovrà essere collegata, tramite due nuovi elettrodotti RTN a 150 kV, con una futura SE RTN 380/150 kV da inserire sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV "Chiaramonte Gulfi -Ciminna" previsto nel Piano di Sviluppo Terna. Ai sensi dell'allegato A alla deliberazione Arg/elt 99/08 e s.m.i. dell'Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente, il nuovo elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento della Vs. centrale alla citata SE RTN 36 kV costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 136 kV nella suddetta stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Viene di seguito mostrato lo schema a blocchi per la connessione dell'impianto fotovoltaico alla rete di Terna:



5. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN ALLUMINIO MT – ARE4H5EX – 18/30 kV – Umax 36 kV

La Norma CEI 20-13 “Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV” definisce le principali regole costruttive per i cavi isolati con gomme di qualità G5 e G7 a base di elastomeri etilenpropilenici e stabilisce le prescrizioni di prova a cui devono rispondere nel collaudo. Il paragrafo 4.1.02 “Portate di corrente” afferma che per le portate in regime permanente si deve fare riferimento alla Norma CEI 20-21 “Calcolo delle portate dei cavi elettrici in regime permanente (fattore di carico 100%)” e alle tabelle CEI-UNEL 35027 (nel nostro

caso). La Norma CEI-UNEL 35027 è ricavata dalla serie di Norme CEI 20-21 (recepimento della Norma IEC 60287 - serie) ed incorpora la revisione dei valori delle portate in corrente citate nelle Norme CEI.

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

ARE4H5EX COMPACT

Elica visibile 12/20 kV e 18/30 kV
 Triplex 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

Miscela estrusa

Isolante

Miscela di polietilene reticolato (qualità DIX 8)

Semiconduttivo esterno

Miscela 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 (**) ARE4H5EX <tensione> <sezione>
 <fase 1/2/3> <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 (**) ARE4H5EX <rated voltage> <cross-section>
 <phase 1/2/3> <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

ARE4H5EX COMPACT

Elica visibile 12/20 kV e 18/30 kV
 Triplex 12/20 kV and 18/30 kV

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARE4H5EX

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	massa Indicativa del cavo	raggio minimo di curvatura
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	approximate weight	minimum bending radius
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	portata di corrente in aria	posa interrata a trifoglio	
		p=1°C m/W	p=2 °C m/W
conductor cross-section	open air installation	underground installation trefoil	
(mm ²)	(A)	p=1°C m/W	p=2 °C m/W
		(A)	(A)

Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	25,5	34	2480	680
70	9,7	25,6	34	2600	680
95	11,4	26,5	35	2860	700
120	12,9	27,4	36	3120	720
150	14,0	28,1	37	3390	740
185	15,8	29,5	38	3790	760
240	18,2	31,5	42	4440	820
300	20,8	34,7	45	5240	890

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	426	327
300	581	480	369

6. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN RAME AT - RG7H1R – 26/45 kV – U_{max} 56 kV

La scelta del conduttore, RG7H1R 26/45kV da 1x630mm², è stata effettuata in base a considerazioni sui carichi e sui criteri di esercizio della terna e sugli eventuali ampliamenti di potenza della connessione ed è conferme allo standard internazionale: IEC 60840 "Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um= 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV) - Test methods and requirements".

Il conduttore è in rame a corda rotonda compatta di rame rosso. Lo strato semiconduttivo interno è costituito da elastomero estruso. L'isolante è costituito da una miscela di gomma ad alto modulo G7. Lo strato semiconduttivo esterno è costituito da materiale elastomerico estruso pelabile a freddo. Lo schermo metallico esterno è costituito da fili di rame rosso. Il rivestimento protettivo esterno è una guaina in polivinilcloruro (PVC) di colore rosso con qualità Rz.

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

RG7H1R EPRO-SETTE™



Unipolare da 1,8/3 kV a 26/45 kV
 Single core from 1,8/3 kV to 26/45 kV

Norma di riferimento
 CEI 20-13 (IEC 60840 per 26/45 kV)

Descrizione del cavo

Anima

Conduttore a corda rotonda compatta di rame rosso

Semiconduttivo interno

Elastomerico estruso

(solo per cavi con tensione \geq 6/10 kV)

Isolante

Miscela di gomma ad alto modulo G7

Semiconduttivo esterno

Elastomerico estruso (solo per cavi con tensione \geq 6/10 kV)

pelabile a freddo

Schermatura

A filo di rame rosso

Guaina

PVC, di qualità Rz, colore rosso

Marcatura

PRYSMIAN (sigla sito produttivo) RG7H1R

<tensione> <sezione> <anno>

Applicazioni

I cavi possono essere forniti con caratteristiche di:

- non propagazione dell'incendio e ridotta emissione di sostanze corrosive
- ridottissima emissione di fumi opachi e gas tossici e assenza di gas corrosivi (AFUMEX).

Accessori idonei

Terminali

ELTI (pag. 114), ELTI-1C (pag. 115), ELT0-1C (pag. 118), STI RR (pag. 122), STI GT (pag. 124), STE GT (pag. 126), FMCS 250 (pag. 128), FMCE (pag. 130), FMCTs-400 (pag. 132), FMCTxs-630/C (pag. 136)

Giunti

ECOSPEED™ (pag. 140), RETRACFIT (pag. 142)

Standard

CEI 20-13 (IEC 60840 for 26/45 kV)

Cable design

Core

Compact stranded bare copper conductor

Inner semi-conducting layer

Extruded elastomeric compound

(only for rated voltage \geq 6/10 kV)

Insulation

High module rubber compound, G7 type

Outer semi-conducting layer

Extruded cold strippable elastomeric compound

(only for rated voltage \geq 6/10 kV)

Screen

Bare copper wire

Sheath

PVC, type Rz, colour red

Marking

PRYSMIAN (production site label) RG7H1R

<rated voltage> <cross-section> <year>

Applications

Cables can be supplied with the following characteristics:

- fire retardant and with low emission of corrosive substances
- low emission of opaque smoke and toxic gases and without corrosive gases (AFUMEX).

Suitable accessories

Terminations

ELTI (pag. 114), ELTI-1C (pag. 115), ELT0-1C (pag. 118), STI RR (pag. 122), STI GT (pag. 124), STE GT (pag. 126), FMCS 250 (pag. 128), FMCE (pag. 130), FMCTs-400 (pag. 132), FMCTxs-630/C (pag. 136)

Joints

ECOSPEED™ (pag. 140), RETRACFIT (pag. 142)



Condizioni di posa / Laying conditions



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

RG7H1R EPRO-SETTE™

Unipolare da 1,8/3 kV a 26/45 kV
 Single core from 1,8/3 kV to 26/45 kV

Unipolare da 1,8/3 kV a 45 kV / Single core from 1,8/3 kV to 45 kV

sezione nominale	diámetro indicativo conduttore	spessore isolante	diámetro esterno massimo	peso indicativo del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria in piano	posa in aria a trifoglio	in piano a trifoglio p=1 °C m/W	posa interrata in piano a trifoglio p=2 °C m/W	
conductor cross-section	approximate conductor diameter	insulation thickness	maximum outer diameter	approximate weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation flat	open air installation trefoil	flat p=1 °C m/W	underground installation flat	underground installation trefoil p=2 °C m/W
(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm²)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)

Dati costruttivi / Construction charact. - 26/45 kV

70	9,9	10,0	42,2	2010	550
95	11,6	10,0	44,3	2360	580
120	13,1	10,0	45,9	2660	600
150	14,4	9,0	45,1	2810	590
185	16,1	9,0	46,9	3220	620
240	18,5	9,0	49,3	3840	650
300	21,1	9,0	52,6	4590	690
400	23,9	9,0	55,1	5440	730
500	27,1	9,0	59,1	6640	780
630	30,7	9,0	63,3	8150	840

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 26/45 kV

70	318	285	264	256	205	199
95	385	346	315	305	243	237
120	443	398	358	348	275	269
150	502	449	400	389	305	299
185	576	516	451	441	344	338
240	675	609	520	511	395	390
300	769	698	585	575	442	438
400	881	807	661	654	498	495
500	1014	933	742	739	557	558
630	1178	1069	848	836	635	630

7. 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 le portate in corrente dei cavi unificati MT in funzione delle condizioni di posa in terra ed in aria.

Per cavi interrati di queste categorie di tensioni viene fornita la portata in corrente di riferimento I₀ nelle seguenti condizioni:

- Ta temperatura ambiente 20 °C;
- Profondità di posa 1,0 m;
- Rt resistività termica media radiale del terreno 1,5 k*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;
- I₀ portata in corrente nelle condizioni di riferimento;
- K₁ fattore di correzione per temperature del terreno diverse da 20°C;
- K₂ fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano;

- K3 fattore di correzione per profondità di interrimento diverse da 0,8 m;
- K4 fattore di correzione per resistività termica del terreno diversa da 1,5 k*m/W.

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

- La profondità di interrimento è pari a 1,0 m: $K_3 = 0,98$

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

- Resta invariata la resistività termica del terreno pari a 1,5 k*m/W (terreno secco): $K_4 = 1$

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

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

- È stato considerato il caso peggiore di raggruppamento dei circuiti presenti nello stesso strato (in questo progetto) 2 circuiti nello stesso strato distanziati tra loro 25 cm: $K_2 = 0,9$

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

Numero di cavi	Distanza fra i circuiti ^(a) (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

- Resta invariata la temperatura del terreno pari a 20 °C: $K_1 = 1$

Pertanto la formula diventa:

$$I_z = I_0 * 1 * 1 * 0,98 * 0,90 = I_0 * 0,882$$

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

Per i circuiti di media tensione a 33 kV

Valori di I_0 alle condizioni di riferimento:

ARE4H5EX 18/30kV - Al - Triplex Sezione nominale [mmq]	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]
120	291	0,1960	0,14	0,24
150	324	0,1590	0,13	0,21
185	368	0,1280	0,13	0,18
240	426	0,0985	0,12	0,16
300	480	0,0797	0,12	0,14

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

ARE4H5EX 18/30kV - Al - Triplex Sezione nominale [mmq]	Portata [A]	Resistenza [Ohm/km]	Reattanza [Ohm/km]	Impedenza a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]
120	256,66	0,1960	0,14	0,24
150	285,77	0,1590	0,13	0,21
185	324,58	0,1280	0,13	0,18
240	375,73	0,0985	0,12	0,16
300	423,36	0,0797	0,12	0,14

Per i circuiti di alta tensione a 36 kV

Valori di I_0 alle condizioni di riferimento:

RG7H1R 26/45kV - Cu - Unipolare Sezione nominale [mmq]	Portata [A] (Trifoglio)	Resistenza apparente a 90°C e 50 Hz [Ohm/km]	Reattanza di fase [Ohm/km]
300	575	0,0779	0,12
400	654	0,0616	0,11
500	739	0,0489	0,11
630	836	0,0389	0,1

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

RG7H1R 26/45kV - Cu - Unipolare Sezione nominale [mmq]	Portata [A]	Resistenza [Ohm/km]	Reattanza [Ohm/km]
300	513,48	0,0779	0,12
400	584,02	0,0616	0,11
500	659,93	0,0489	0,11
630	746,55	0,0389	0,1

8. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA/CORRENTE DI CORTOCIRCUITO MT & AT

Per i circuiti di media tensione a 33 kV

Considerata la sezione MT a 33 kV dell'impianto, è stato scelto un valore della corrente di cortocircuito pari a 12,5 kA. Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi (e delle apparecchiature MT).

Si fa presente che valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature MT sono: 12,5, 16, 20, 25 kA.

Per i circuiti di alta tensione a 36 kV

Considerata la sezione AT a 36 kV dell'impianto, è stato scelto un valore della corrente di cortocircuito pari a 31,5 kA. Questo è il valore di riferimento per il dimensionamento dei cavi (e delle apparecchiature MT).

Si fa presente che valori tipici del potere d'interruzione delle apparecchiature MT sono: 31,5, 40 kA.

9. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE DI C.TO-C.TO

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 mm²;
- I è la corrente di cortocircuito, pari a 12,5 kA (MT @ 33 kV) e 31,5 kA (AT @ 36 kV) (valore precedentemente calcolato);
- t è la durata della corrente di cortocircuito, pari a 0,5 s (coincide con il tempo di eliminazione del guasto stabilito dal progettista)
- K costante termica del cavo scelto, (K = 92).

I valori del coefficiente K sono riportati nella seguente tabella per conduttori di rame e di alluminio in funzione delle temperature iniziali e finali di cortocircuito.

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 θ_0 (°C)	Temperatura finale θ_{cc} (°C)					
		1	2	3	4	5	6
		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 i circuiti di media tensione a 33 kV

Nel nostro caso verranno impiegati cavi in Alluminio ARE4H5EX – 18/30 kV con isolamento 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. Risolvendo la relazione precedente per *S*:

$$S = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [12,5 * \sqrt{(0,5)}] / 92 = 96,1 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 120 mm².

Per i circuiti di alta tensione a 36 kV

Nel nostro caso verranno impiegati cavi in Alluminio RG7HIR 26/45kV con isolamento PVC 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*:

$$S = (I_{cc} * \sqrt{t}) / K = [31,5 * \sqrt{(0,5)}] / 92 = 242,1 \text{ mm}^2$$

La sezione minima scelta è pari a 300 mm².

10. RETE INTERNA MT CON DISTRIBUZIONE A SEMPLICE ANELLO

La rete interna MT a 33 kV è realizzata mediante due reti di distribuzione a semplice anello. Una rete di distribuzione a semplice anello può essere ricondotta ad una linea aperta alimentata da entrambe le due estremità, con tensioni identiche. Tale linea aperta si può scomporre in due linee con carichi di estremità, o nel nostro caso, in due linee con carichi concentrati lungo il percorso, equivalenti fra loro ai fini del calcolo dell'unica sezione S da assegnare alla rete ad anello. Appliciamo prima il principio di sovrapposizione degli effetti, individuiamo il carico che "effettivamente" richiede di essere alimentato da entrambi i lati e poi procediamo con la scomposizione della linea. Infine, dimensioniamo la rete (sezione della linea) in funzione della massima corrente circolante su uno dei due rami equivalenti mediante il criterio elettrico (massima caduta di tensione) ed il criterio termico (massima sovratemperatura).

Condizioni di esercizio MT		Pn_SC2.1 [kW]= 5400	Pn_SC3.1 [kW]= 5400
cosφ= 0,900		In_SC2.1 [A] 104,97	In_SC3.1 [A] 104,97
senφ= 0,436		Pn_SC2.2 [kW]= 5700	Pn_SC3.2 [kW]= 5400
Vn [V]= 33000		In_SC2.2 [A] 110,80	In_SC3.2 [A] 104,97
		Pn_SC2.3 [kW]= 5700	Pn_SC3.3 [kW]= 5700
		In_SC2.3 [A] 110,80	In_SC3.3 [A] 110,80
Pn_SC1.1 [kW]= 4200		Pn_SC4.1 [kW]= 6300	Pn_SC3.4 [kW]= 5700
In_SC1.1 [A] 81,65		In_SC4.1 [A] 122,47	In_SC3.4 [A] 110,80

Anello MT-1:

CAVIDOTTO INTERRATO MT 33 kV IN SINGOLA TERNA ELICORDATA - ANELLO MT-1 (LINEA P-Q, CON VP=VQ)									
Leq [m]	P	2164							Q
Cabine	CCE	SC1.1		SC2.1		SC2.2		SC2.3	CCE
Potenza [kW]		4200		5400		5700		5700	
L [m]	439		974		166		219		366
In [A]		81,65		104,97		110,80		110,80	
In_P [A]		65,08		36,43		29,95		18,74	
In_Q [A]		16,56		68,54		80,85		92,06	
I_P [A]		150,21							
I_Q [A]		258,02							
ΔP [A]		68,56		-36,41					
ΔQ [A]				-68,56		36,41		147,22	

LINEA (P-A) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO				
Leq [m]	P	1413		A
Cabine	CCE	SC1.1		SC2.1
L [m]	439		974	
In [A]		81,65		68,56
I_Peq [A]		150,21		

LINEA (A-Q) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO					
Leq [m]	A	751			Q
Cabine	SC2.1		SC2.2		CCE
L [m]		166		219	
In [A]	36,41		110,80		110,80
I_Qeq [A]		258,02			

Anello MT-2:

CAVIDOTTO INTERRATO MT 33 kV IN SINGOLA TERNA ELICORDATA - ANELLO MT-2 (LINEA P-Q, CON VP=VQ)										
Leq [m]	P	4385								Q
Cabine	CCE	SC4.1		SC3.4		SC3.3		SC3.2		SC3.1
Potenza [kW]		6300		5700		5700		5400		5400
L [m]	2038		574		147		235		211	
In [A]		122,47		110,80		110,80		104,97		104,97
In_P [A]		65,55		44,80		41,09		33,30		28,25
In_Q [A]		56,92		66,00		69,72		71,67		76,72
I_P [A]		212,99								
I_Q [A]		341,04								
ΔP [A]		90,52		-20,29						
ΔQ [A]				-90,52		20,29		131,09		236,06

LINEA (P-A) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO					
Leq. [m]	P	2612		A	
Cabine	CCE	SC4.1	574	SC3.4	
L. [m]	2038				
In. [A]		122,47	90,52		
I. Peq [A]	212,99				

LINEA (A-Q) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO								
Leq. [m]	A	1773			Q			
Cabine	SC3.4	SC3.3	SC3.2	SC3.1	CCE			
L. [m]	147	235	211	1180				
In. [A]	20,29	110,80	104,97	104,97				
I. Peq [A]	341,04							

11. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE

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. 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.

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

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

Dove:

- ΔV 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 Ω/km ;
- X è la reattanza della linea (rif. 90 °C – 50 Hz) in Ω/km ;
- L è la lunghezza della linea in km.

La caduta di tensione percentuale sarà quindi:

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

Dove:

- V è la tensione ad inizio linea in V.

La perdita di potenza è calcolata tramite la relazione:

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

La perdita di potenza percentuale è calcolata tramite la relazione:

$$P_{loss}\% = 100 * P_{loss} / N_{sc} * P_{sc}$$

Dove:

- NSC è il numero di sottocampi considerato nella linea
- PSC è la potenza nominale del singolo sottocampo

Si riportano di seguito i dimensionamenti per le linee elettriche MT dell'impianto:

Condizioni di esercizio MT		Pn_SC2.1 [kW]= 5400	Pn_SC3.1 [kW]= 5400
cosφ=	0,900	In_SC2.1 [A] 104,97	In_SC3.1 [A] 104,97
senφ=	0,436	Pn_SC2.2 [kW]= 5700	Pn_SC3.2 [kW]= 5400
Vn [V]=	33000	In_SC2.2 [A] 110,80	In_SC3.2 [A] 104,97
		Pn_SC2.3 [kW]= 5700	Pn_SC3.3 [kW]= 5700
		In_SC2.3 [A] 110,80	In_SC3.3 [A] 110,80
Pn_SC1.1 [kW]=	4200	Pn_SC4.1 [kW]= 6300	Pn_SC3.4 [kW]= 5700
In_SC1.1 [A]	81,65	In_SC4.1 [A] 122,47	In_SC3.4 [A] 110,80

Anello MT-1:

CAVIDOTTO INTERRATO MT 33 kV IN SINGOLA TERNA ELICORDATA - ANELLO MT-1 (LINEA P-Q, CON VP=VQ)									
TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa	
P-A	150,21	1413	150	73,4	0,223	15,2	0,000	ST - Elicordato	
A-Q	258,02	751	150	67,0	0,203	23,8	0,000	ST - Elicordato	
TOTALE		2164		140,5	0,43	39,06	0,000		

Anello MT-2:

CAVIDOTTO INTERRATO MT 33 kV IN SINGOLA TERNA ELICORDATA - ANELLO MT-2 (LINEA P-Q, CON VP=VQ)									
TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa	
P-A	212,99	2612	240	135,8	0,412	35,0	0,000	ST - Elicordato	
A-Q	341,04	1773	240	147,6	0,447	60,9	0,000	ST - Elicordato	
TOTALE		4385		283,4	0,86	95,95	0,001		

Circuito AT:

Condizioni di esercizio AT	
cosφ=	0,900
senφ=	0,436
Vn [V]=	36000
Pn [kW]=	49500

CAVIDOTTO INTERRATO AT 36 kV IN DOPPIA TERNA - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)									
TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa	
CCE-CUC	882,06	23940	630	1437,4	3,99	543,42	0,001	DT - Trifoglio	
TOTALE		23940		1437,4	3,99	543,42	0,001		

12. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI 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:

- Tr temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- Ta temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- Te temperatura massima di esercizio, 90 °C;
- In è la corrente nominale di linea in A;
- Iz è la portata nominale di linea (corretta dai coefficienti) in A;
- N è il numero di conduttori per fase, 1.

Si riportano di seguito i valori delle temperature di regime per le quattro linee dell'impianto:

Condizioni d'esercizio					
		$T_0=$ 20	[°C]	$T_{e,max}=$	90 [°C]

Anello MT-1:

CAVIDOTTO INTERRATO MT 33 kV IN SINGOLA TERNA ELICORDATA - ANELLO MT-1 (LINEA P-Q,				
TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
P-A	150,21	150	39,3	ST - Elicordato
A-Q	258,02	150	77,1	ST - Elicordato

Anello MT-2:

CAVIDOTTO INTERRATO MT 33 kV IN SINGOLA TERNA ELICORDATA - ANELLO MT-2 (LINEA P-Q,				
TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
P-A	212,99	240	42,5	ST - Elicordato
A-Q	341,04	240	77,7	ST - Elicordato

Circuito AT:

CAVIDOTTO INTERRATO AT 36 kV IN DOPPIA TERNA - in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto				
TRATTA	In [A]	Sez. cavo [mmq]	Tr [°C]	Posa
CCE-CUC	882,1	630	44,4	DT - Trifoglio

12. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – ATTRAVERSAMENTI DI CANALI

Qualora il tracciato delle linee MT dovesse presentare degli attraversamenti di canale, saranno eseguiti con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale, conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.

13. LINEE MT IN CAVO INTERRATO – DISTANZE DI RISPETTO DA IMPIANTI E OPERE INTERFERENTI

Le interferenze che si dovessero presentare lungo il tracciato delle linee MT saranno trattate con una delle soluzioni tecniche descritte nelle tavole allegate nella documentazione progettuale, conformi a quanto indicato nella Norma CEI 1-17.