

REGIONE LAZIO

Provincia di Viterbo (VT)

COMUNE DI CELLERE



1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	25/11/21	BASSO G.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	05/11/21	BASSO G.	FURNO C.	NASTASI A.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.

Committente:

IBERDROLA RENEWABLES ITALIA S.p.A.



Società di Progettazione:

Ingegneria & Innovazione



Via Pippo Fava, 1 – 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1813283
Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it

Progetto:

IMPIANTO FOTOVOLTAICO “CELLERE”

Progettista/Resp. Tecnico:

Dott. Ing. Giuseppe Basso
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Siracusa
n° 1860 sez. A

Elaborato:

RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT
IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C21006S05-PD-RT-05-01

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.*



	<p align="center">IMPIANTO FOTOVOLTAICO “CELLERE”</p> <p align="center">RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	 <i>Ingegneria & Innovazione</i>		
		25/11/21	REV: 1	Pag.2



INDICE

1. PREMESSA	3
2. SCOPO	3
3. PROPONENTE.....	4
4. CONNESSIONE ALLA RTN (CODICE PRATICA: 202100720)	4
5. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI DI POSA	4
6. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN ALLUMINIO MT - ARG7H1RNR – 18/30 kV	6
7. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA/CORRENTE DI CORTOCIRCUITO	10
8. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE DI CORTOCIRCUITO.....	11
9. RETE INTERNA MT CON DISTRIBUZIONE A SEMPLICE ANELLO	12
10. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA CADUTA DI TENSIONE.....	13
11. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO	15

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.

Comm.: C21-006-S05



	IMPIANTO FOTOVOLTAICO “CELLERE” RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT IMPIANTO FOTOVOLTAICO	 Antex <small>group</small> Ingegneria & Innovazione		
		25/11/21	REV: 1	Pag.3

1. PREMESSA

Su incarico di Iberdrola Renovables Italia S.p.A., la società ANTEX GROUP Srl ha redatto il progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare, denominato “Impianto Fotovoltaico CELLERE”, da realizzarsi nei territori del Comune di Cellere (VT) – Regione Lazio.

Il progetto prevede l’installazione di una tipologia di impianto fotovoltaico, con una potenza nominale pari a 31.674,24 kWp (@STC) utilizzando moduli bifacciali in silicio monocristallino, installato a terra tramite strutture in acciaio zincato a caldo.

La connessione prevede l’inserimento dell’impianto alla RTN mediante collegamento in antenna a 150 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) di smistamento a 150 kV della RTN, da inserire in entra-esce alla linea a 150 kV RTN “Canino-Arlena”, previa realizzazione dei raccordi della medesima linea alla stazione elettrica RTN 380/150 kV di Tuscania.

Le attività di progettazione definitiva 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.

Sia ANTEX che IBERDROLA pongono a fondamento delle attività e delle proprie iniziative, i principi della qualità, dell’ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e ISO 18001 nelle loro ultime edizioni.

Difatti, le Aziende citate, in un’ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti e fornitori, posseggono un proprio Sistema di Gestione Integrato Qualità-Sicurezza-Ambiente.

2. SCOPO

Scopo della presente relazione tecnica è il dimensionamento dei cavi in media tensione da utilizzare nell’impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare, denominato *Impianto Fotovoltaico “Cellere”* che **Iberdrola Renovables Italia S.p.A.** intende realizzare nei territori del Comune di Cellere (VT) – Regione Lazio. L’impianto fotovoltaico è di tipo fisso, connesso alla RTN in AT ed installato a terra tramite strutture in acciaio zincato a caldo. L’impianto è caratterizzato da una potenza nominale pari a 31.674,24 kWp (@STC) ed utilizza moduli bifacciali in silicio monocristallino.



La potenza in immissione richiesta per l’impianto in esame è pari a 26 MW.

Codice Pratica: 202100720.

La potenza nominale AC degli inverters dell’impianto è pari a 26.970 kVA.

La potenza nominale DC dell’impianto è pari a 31.674,24 kW.

La potenza in prelievo richiesta dell’impianto è pari a 200 kW.

	IMPIANTO FOTOVOLTAICO “CELLERE” RELAZIONE TECNICA CALCOLI ELETTRICI RETE MT IMPIANTO FOTOVOLTAICO	 Antex <small>group</small> Ingegneria & Innovazione	
		25/11/21	REV: 1

N.B.: Tutti i materiali, le apparecchiature, i manufatti ed i componenti utilizzati per la progettazione, sono indicativi e potranno essere soggetti a variazioni dovute all'evoluzione tecnologica degli stessi ed alle disponibilità di mercato, pur mantenendo le loro caratteristiche funzionali indicate nel progetto.

3. PROPONENTE

Il proponente del progetto è **Iberdrola Renovables Italia S.p.A.**, con sede in Piazzale dell'Industria 40, 00144 Roma (RM).

4. CONNESSIONE ALLA RTN (CODICE PRATICA: 202100720)

La connessione prevede l'inserimento dell'impianto alla RTN mediante collegamento in antenna a 150 kV con una nuova Stazione Elettrica (SE) di smistamento a 150 kV della RTN, da inserire in entra-esce alla linea a 150 kV RTN “Canino-Arlena”, previa realizzazione dei raccordi della medesima linea alla stazione elettrica RTN 380/150 kV di Tuscania, di cui al Piano di Sviluppo Terna e previa realizzazione:

- Di un nuovo elettrodotto RTN a 150 kV di collegamento tra la suddetta SE RTN 150 kV e la stazione di Tuscania, che dovrà essere opportunamente ampliata;
- Potenziamento/rifacimento della linea RTN a 150 kV “Canino-Montalto”.

Si precisa che la nuova stazione RTN a 150 kV di cui sopra dovrà essere realizzata nella futura tratta “Canino-Tuscania”.

5. 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 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 1,5 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;
- 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 interrimento diverse da 0,8 m;
- K_4 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

- È stata considerato un valore di resistività termica del terreno pari a 2 k*m/W (terreno secco): $K_4 = 0,9$

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) due 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:

$$I_z = I_0 * 1 * 0,9 * 0,98 * 1 = I_0 * 0,882$$

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

Valori di I_0 alle condizioni di riferimento:

Sezione nominale [mm ²]	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	281	0,3250	0,13	0,35
150	318	0,2650	0,12	0,29
185	361	0,2110	0,12	0,24
240	418	0,161	0,11	0,19
300	472	0,13	0,11	0,17
400	543	0,102	0,11	0,15
500	621	0,0801	0,1	0,13
630	706	0,0635	0,099	0,12

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

Sezione nominale [mm ²]	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	247,84	0,3250	0,13	0,35
150	280,48	0,2650	0,12	0,29
185	318,40	0,2110	0,12	0,24
240	368,68	0,1610	0,11	0,19
300	416,30	0,1300	0,11	0,17
400	478,93	0,1020	0,11	0,15
500	547,72	0,0801	0,1	0,13
630	622,69	0,0635	0,099	0,12

6. SPECIFICHE TECNICHE CAVI IN ALLUMINIO MT - ARG7H1RNR – 18/30 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. Poiché la sezione massima dei conduttori citata in questa Norma è di 300 mm² (cavi in Cu e Al), per i valori di portata in corrente in regime permanente di cavi di dimensioni superiori rimanda alle specifiche tecniche rilasciate dai costruttori per i cavi costruiti in conformità alla CEI 20-13.

ARG7H1RNR-12/20 kV ÷ 18/30 kV

ARG7H1RNRX-12/20 kV ÷ 18/30 kV

Costruzione, requisiti elettrici,
fisici e meccanici: CEI 20-13

IEC 60502

EN 60228

Non propagazione della fiamma: EN 60332-1-2

Non propagazione dell'incendio: CEI 20-22 III



ARG7H1RNR / Descrizione

- Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore interno: estruso
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guainetta: PVC
- Armatura: due nastri di alluminio, avvolti a coprigiunto
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

ARG7H1RNRX / Descrizione

- Cavi tripolari precordati, isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.
- Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
- Strato semiconduttore interno: estruso
- Isolamento: gomma HEPR, qualità G7 senza piombo
- Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
- Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guainetta: PVC
- Armatura: due nastri di alluminio, avvolti a coprigiunto
- Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz
- Colore: rosso

Marcatura

Pb free LA TRIVENETA CAVI ARG7H1RNR [tens. nominale] [form.] [anno] [ordine] [metrica]

Pb free LA TRIVENETA CAVI ARG7H1RNRX [tens. nominale] [form.] [anno] [ordine] [metrica] FASE 1/2/3

Caratteristiche funzionali

- Tensione nominale di esercizio
ARG7H1RNR(X) -12/20 kV: U_o/U 12/20 kV
ARG7H1RNR(X) -18/30 kV: U_o/U 18/30 kV
- Tensione U max:
ARG7H1RNR(X) -12/20 kV: U_m 24 kV
ARG7H1RNR(X) -18/30 kV: U_m 36 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C

ARG7H1RNR / Condizioni di posa

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 14 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm² di sezione del conduttore

ARG7H1RNRX / Condizioni di posa

- Temperatura minima di posa: 0°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 10 volte il diametro del cavo
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 50 N/mm² di sezione del rame

Impiego e tipo di posa

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale.

Ammissa la posa interrata anche non protetta, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

ARG7H1RNR - 18/30 kV
U₀/U: 18/30 kV
U max: 36 kV
Caratteristiche tecniche

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Ø esterno max	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A			
					in aria		interato ¹	
n° x mm ²	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano
1 x 50	8,2	8,0	36,1	1600	174	183	168	177
1 x 70	9,8	8,0	38,2	1705	218	229	207	218
1 x 95	11,45	8,0	39,7	1900	268	280	247	260
1 x 120	12,9	8,0	42,4	2045	309	325	281	296
1 x 150	14,2	8,0	43,7	2405	352	371	318	335
1 x 185	16,0	8,0	45,7	2625	406	427	361	380
1 x 240	18,4	8,0	48,3	2985	483	508	418	440
1 x 300	20,5	8,0	51,8	3345	547	576	472	497
1 x 400	23,6	8,0	55,2	4005	640	674	543	572
1 x 500	26,55	8,0	58,35	4440	740	779	621	654
1 x 630	30,1	8,0	62,8	5135	862	907	708	743

(*) I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:

- Resistività termica del terreno: 1 K.m/W
- Temperatura ambiente 20°C
- profondità di posa: 0,8 m

Caratteristiche elettriche

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz		Resistenza di fase		Capacità a 50Hz
		a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	
n° x mm ²	Ω/Km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	μF/km
1 x 50	0,641	0,822	0,822	0,15	0,20	0,15
1 x 70	0,443	0,588	0,588	0,14	0,20	0,16
1 x 95	0,320	0,411	0,411	0,13	0,19	0,16
1 x 120	0,253	0,325	0,325	0,13	0,18	0,19
1 x 150	0,206	0,265	0,265	0,12	0,18	0,20
1 x 185	0,164	0,211	0,211	0,12	0,12	0,22
1 x 240	0,125	0,161	0,161	0,11	0,17	0,24
1 x 300	0,100	0,130	0,129	0,11	0,17	0,27
1 x 400	0,0778	0,102	0,101	0,11	0,16	0,29
1 x 500	0,0625	0,0801	0,0794	0,10	0,16	0,32
1 x 630	0,0489	0,0625	0,0625	0,099	0,16	0,36

ARG7H1RNRX - 18/30 kV
U₀/U: 18/30 kV
U max: 36 kV
Caratteristiche tecniche

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø circoscritto indicativo	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A	
						in aria	interrato ^(*)
n° x mm ²	mm	mm	mm	mm	kg/km	A	A
3 x 1 x 50	8,2	8,0	2,1	77,7	4810	174	168
3 x 1 x 70	9,8	8,0	2,2	82,2	5400	218	207
3 x 1 x 95	11,45	8,0	2,2	85,4	5895	268	247
3 x 1 x 120	12,9	8,0	2,3	91,2	6755	309	281
3 x 1 x 150	14,2	8,0	2,4	94,0	7235	352	318
3 x 1 x 185	16,0	8,0	2,4	98,5	7910	408	381
3 x 1 x 240	18,4	8,0	2,5	103,9	8680	483	418

(*) I valori di portata si riferiscono alle seguenti condizioni:

- Resistività termica del terreno: 1 K·m/W
- Temperatura ambiente 20°C
- profondità di posa: 0,8 m

Caratteristiche elettriche

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz	Reattanza di fase	Capacità a 50Hz	Corrente termica di circuito ^(*)
n° x mm ²	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	μF/km	kA
3 x 1 x 50	0,641	0,822	0,15	0,15	8,5
3 x 1 x 70	0,443	0,568	0,14	0,16	9,1
3 x 1 x 95	0,320	0,411	0,13	0,18	12,3
3 x 1 x 120	0,253	0,325	0,13	0,19	15,8
3 x 1 x 150	0,208	0,265	0,12	0,22	19,5
3 x 1 x 185	0,164	0,211	0,12	0,22	24,1
3 x 1 x 240	0,125	0,161	0,11	0,24	31,2

(*) Durata del corto circuito 0,5 secondi

7. DETERMINAZIONE DELLA POTENZA/CORRENTE DI CORTOCIRCUITO

Considerata l'entità 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.

8. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI TERMICHE 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 mm²;
- I è la corrente di cortocircuito, pari a 12,5 kA (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)	1	2	3	4	5	6
		Temperatura finale θ_{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.

Nel nostro caso verranno impiegati cavi in Alluminio ARG7H1RNR – 12/20 kV con isolante in gomma HEPR di qualità G7 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.

9. RETE INTERNA MT CON DISTRIBUZIONE A SEMPLICE ANELLO

Le cabine di sottocampo sono state raggruppate in due sezioni collegate ciascuna da una rete MT 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. Applichiamo 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:

Condizioni di esercizio	CABINA: 1	CABINA: 2	CABINA: 3, 6	CABINA: 4, 5	CABINA: 7	CABINA: 8	CABINA: 9
cos φ=	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
sen φ=	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436
Vn=	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Pn=	4801,68	2316,60	4506,84	4464,72	3495,96	1937,52	1179,36
In=	102,68	49,54	96,37	95,47	74,76	41,43	25,22

ANELLO MT N°1 - RETE MT AD ANELLO (LINEA P-Q, CON VP=VQ)																		
Leq [m]	P	5199											Q					
Cabine	CCE		CS8		CS7		CS9		CS6		CS5		CS4		CS3		913	CCE
L [m]		244		1213		660		859		570		355		385				
In [A]			41,43		74,76		25,22		96,37		95,47		95,47		96,37			
In P [A]			39,49		53,81		14,95		41,21		30,35		23,84		16,92			
In Q [A]			1,94		20,95		10,27		55,16		65,12		71,64		79,45			
I P [A]			220,56															
I Q [A]			304,53															
ΔP [A]			179,13		104,38		79,16		-17,21				17,21		112,68		208,16	
ΔQ [A]									-79,16									
LINEA (P-A) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO																		
Leq [m]	P	2976											A					
Cabine	CCE		CS8		CS7		CS9		CS6									
L [m]		244		1213		660		859										
In [A]			41,43		74,76		25,22		79,16									
I Peq [A]			220,56															
LINEA (A-Q) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO																		
Leq [m]	A	2223											Q					
Cabine	CS6				CS5		CS4		CS3									CCE
L [m]					570		355		385						913			
In [A]					17,21		95,47		95,47		96,37							
I Qeq [A]			304,53															
ANELLO MT N°2 - RETE MT AD ANELLO (LINEA P-Q, CON VP=VQ)																		
Leq [m]	P	6821											Q					
Cabine	CCE		CS2		CS1													CCE
L [m]		3397		782		2642												
In [A]			49,54		102,68													
In P [A]			24,87		39,77													
In Q [A]			24,67		62,91													
I P [A]			64,64															
I Q [A]			87,58															
ΔP [A]			15,10		-87,58													
ΔQ [A]					-15,10													
LINEA (P-A) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO																		
Leq [m]	P	4179											A					
Cabine	CCE		CS2		CS1													
L [m]		3397		782														
In [A]			64,64		15,10													
I Peq [A]			64,64															
LINEA (A-Q) MT EQUIVALENTE CON CARICHI CONCENTRATI LUNGO IL PERCORSO																		
Leq [m]	A	2642											Q					
Cabine	CS1																	CCE
L [m]					2642													
In [A]			87,58															
I Qeq [A]			87,58															

10. 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:

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

La perdita di potenza percentuale è calcolata tramite la relazione:

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

Dove:

- N_{SC} è il numero di sottocampi fotovoltaici considerati nella linea
- P_{SC} è la potenza nominale del singolo sottocampo fotovoltaico

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

Condizioni di esercizio:

Condizioni di esercizio	CABINA: 1	CABINA: 2	CABINA: 3, 6	CABINA: 4, 5	CABINA: 7	CABINA: 8	CABINA: 9
$\cos\phi=$	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
$\sin\phi=$	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436	0,436
Vn=	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Pn=	#####	2316,60	4506,84	4464,72	3495,96	1937,52	1179,36
In=	102,68	49,54	96,37	95,47	74,76	41,43	25,22

ANELLO MT N°1 (LINEA P-Q, CON VP=VQ) - Linee MT in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)

Linea	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
P-A	CCE>>CS9	220,56	2976	185	275,4	0,918	91,6	0,001	ST - Trifoglio
A-Q	CS9>>CCE	304,53	2223	185	284,0	0,947	130,5	0,001	ST - Trifoglio
TOTALE			5199		559,36	1,865	222,14	0,002	

ANELLO MT N°2 (LINEA P-Q, CON VP=VQ) - Linee MT in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)

Linea	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
P-A	CCE>>CS1	64,64	4179	120	163,4	0,545	17,0	0,001	ST - Trifoglio
A-Q	CS1>>CCE	87,58	2642	120	139,9	0,466	19,8	0,000	ST - Trifoglio
TOTALE			6821		303,29	1,011	36,78	0,001	

LINEA MT (CCE-CSTAZ) - Linee MT in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)

Sottocampi	TRATTA	In [A]	Lunghezza [m]	Sez. cavo [mmq]	C.d.t. [V]	C.d.t. [%]	Ploss [kW]	Ploss [%]	Posa
9	CCE>>CSTAZ	677,30	7640	400	626,3	2,088	268,1	0,001	DT - Trifoglio
TOTALE			21282		626,25	2,088	268,11	0,001	

11. DIMENSIONAMENTO DEI CAVI IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA DI FUNZIONAMENTO

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

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

Dove:

- T_r temperatura di regime (o di funzionamento) in °C;
- T_a temperatura ambiente del terreno, 20 °C;
- T_c 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.

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

ANELLO MT N°1 (LINEA P-Q, CON VP=VQ) - Linee MT in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)					
LINEA	TRATTA	I_n [A]	Sez. cavo [mmq]	T_r [°C]	Posa
P-A	CCE>>CS9	220,56	185	53,6	ST - Trifoglio
A-Q	CS9>>CCE	304,53	185	84,0	ST - Trifoglio
ANELLO MT N°2 (LINEA P-Q, CON VP=VQ) - Linee MT in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)					
LINEA	TRATTA	I_n [A]	Sez. cavo [mmq]	T_r [°C]	Posa
P-A	CCE>>CS1	64,64	120	24,8	ST - Trifoglio
A-Q	CS1>>CCE	87,58	120	28,7	ST - Trifoglio
LINEA MT (CCE-CSTAZ) - Linee MT in cavo unipolare posato a trifoglio (Impianto Utente)					
-	CCE>>CSTAZ	677,30	400	55,0	DT - Trifoglio

Il Progettista:

Dott. Ing. Giuseppe Basso