



REGIONE CALABRIA



PROVINCIA DI CROTONE



COMUNE DI CROTONE



COMUNE DI SCANDALE

Proponente

Genera SRL



Partnered by:



Progettazione

**Ing. Fabio Domenico Amico**Via Milazzo, 17  
40121 Bologna  
[f.amico@green-go.net](mailto:f.amico@green-go.net)Studio  
Compatibilità  
Agronomica e  
naturalistica**Dott. Marco di Lieto**Viale T. Campanella n. 186 int. 9/G  
88100 – Catanzaro  
[dilieto@pec.it](mailto:dilieto@pec.it)SIA  
Studio  
paesaggistico**Ing. Fabio Domenico Amico**Via Milazzo, 17  
40121 Bologna  
[f.amico@green-go.net](mailto:f.amico@green-go.net)Studio  
Geologico e  
Idrogeologico**Dott. Antonio Fruci**C.da Frassà snc  
88025 Maida (CZ)  
[a.fruci@libero.it](mailto:a.fruci@libero.it)Rendering  
Fotosimulazioni**Dott. Francesca Paiar**Via Rucci 12  
88044 Marcellinara (CZ)  
[federica.paiar@legalmail.it](mailto:federica.paiar@legalmail.it)**Dott. Carlo Lappano**Via T.Tasso, 8°  
87036-Rende (CS)  
[c.lappano@libero.it](mailto:c.lappano@libero.it)

Opera

Progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico e opere connesse nei Comuni di Crotona (KR) e Scandale (KR), denominato San Biagio

Oggetto

Identificativo file elaborato:  
SNBPDR03-00Titolo elaborato:  
Relazione impianti elettrici e Calcoli preliminari

00

28/09/2021

Emissione per progetto definitivo

P.I.

G.L.P.

F.A.

Rev.

Data

Oggetto della revisione

Elaborazione

Verifica

Approvazione




Tipo:	Documentazione di Progetto		
Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>		
Rev. 00 – 28/09/2021			Pag. 1

## Indice

1. DATI E CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE .....	2
1.1 Premessa .....	2
1.2 Norme e documentazione di riferimento .....	2
2. POSA, LIVELLO DI TENSIONE E TIPO DI CAVO .....	3
3. MODALITÀ DI INSTALLAZIONE PROVE .....	6
3.1 Prescrizioni per la posa dei cavi .....	6
3.2 Accessori, terminazioni e giunzioni .....	6
3.3 Prove .....	7
4. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE E DELLA MASSIMA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE PER I CAVIDOTTI MT .....	8
4.1 Criterio Termico .....	9
4.2 Criterio Elettrico .....	10
5. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE E DELLA MASSIMA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE PER I CAVIDOTTI BT .....	11
5.1 Criterio Termico .....	12
5.2 Criterio Elettrico .....	13
6. SOTTOSTAZIONE UTENTE DI CONNESSIONE ALLA RTN .....	14
7. TIPOLOGIA DEL CAVO AT .....	16
8. ACCORGIMENTI PER LA DISPOSIZIONE DEI CAVI UNIPOLARI .....	18
9. COESISTENZA FRA CAVI ELETTRICI ED ALTRE CONDUTTURE INTERRATE .....	18
9.1 Parallelismi e incroci fra cavi elettrici .....	18
9.2 Parallelismi e incroci fra cavi elettrici e cavi di telecomunicazioni .....	18
9.2.1 Parallelismi .....	18
9.2.2 Incroci .....	19
9.3 Parallelismi ed incroci fra cavi elettrici e tubazioni o strutture metalliche interrate .....	19
9.4 Coesistenza fra cavi di energia e gasdotti .....	20
10. CONCLUSIONI .....	21

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 2

## 1. DATI E CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

### 1.1 PREMESSA

Oggetto della presente è il calcolo in regime permanente della portata dei cavi per il collegamento dell'impianto fotovoltaico dalla potenza di immissione in rete pari a 28,054 MW e potenza di picco pari a 29,16MWp, denominato "San Biagio", da ubicarsi nel Comune di Crotona (KR) con opere connesse ricadenti anche nel comune di Scandale (KR).

L'impianto fotovoltaico sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù della STMG proposta da Terna (Codice Pratica 201901195), nella titolarità della società proponente, con potenza in immissione pari a 28,054 MW. Lo schema di allacciamento alla RTN prevede la connessione in antenna a 150 kV sull'ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 380/150 kV denominata "Scandale".


### 1.2 NORME E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito i riferimenti dei principali documenti utilizzati:

- NORME CEI 11- 17, 11- 1 e 20- 21 ( equivalenti a IEC 60287)
- catalogo e documentazione tecnica PRYSMIAN CAVI
- varia letteratura e documentazione tecnica.

I valori numerici derivanti dalla documentazione PRYSMIAN possono essere considerati validi, per gli elementi considerati, anche per altri prodotti equivalenti purché acquisiti da fabbricanti parimenti qualificati. Ciò in virtù della sostanziale equivalenza dei manufatti in questione la cui tecnologia costruttiva è ormai ben consolidata.

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 3

## 2. POSA, LIVELLO DI TENSIONE E TIPO DI CAVO

La tensione nominale a valle dell'inverter, pari a 1500V DC, è stata scelta per limitare le perdite per effetto Joule nel trasporto dell'energia elettrica dal campo fotovoltaico agli inverter.

I cavi in bassa tensione (1500V DC) vengono utilizzati per i collegamenti tra la stringhe ed i combiner box e per i collegamenti tra i combiner box ed i 7 skid presenti nell'impianto.

Considerando cavi con materiale conduttore in alluminio un prodotto che è possibile utilizzare è il cavo ARE4R, oggetto della presente verifica.

Le principali caratteristiche costruttive sono:

- Cavo unipolare
- Tensione nominale: 0.6/1 kV AC (1.5 kV DC)
- Tensione massima DC: 2.0 kV
- Anima: Conduttore a corda compatta a fili di alluminio in accordo alla norma IEC 60228, classe 2
- Isolante: Mescola di polietilene reticolato
- Guaina: In PVC speciale di qualità ST2, colore nero
- Temperatura di funzionamento in condizione ordinarie: 90°C
- Temperatura di funzionamento ammissibile in cortocircuito: 250°C

I valori di sezione, resistenza e portata sono elencati nella seguente tabella:

CAVO ARE4R 0,6/1kV			
SEZIONE [mmq]	RESISTENZA a 20°C [Ω/m]	RESISTENZA a 40°C [Ω/m]	PORTATA [A]
16	0,00191	0,00206	98
25	0,0012	0,00129	126
35	0,000868	0,00094	151
50	0,000641	0,00069	178
70	0,000443	0,00048	218
95	0,00032	0,00035	261

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>



Tipo:	Documentazione di Progetto		
Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>		
Rev. 00 – 28/09/2021			Pag. 4

120	0,000253	0,00027	296
150	0,000206	0,00022	332
185	0,000164	0,00018	374
240	0,000125	0,00013	432
300	0,0001	0,00011	486
400	0,0000778	0,00008	549

Il tipo di posa considerata è di tipo L (ovvero direttamente interrata senza protezione meccanica addizionale).


La tensione nominale a monte dell'inverter, pari a 30kV AC, è stata scelta per limitare le perdite per effetto Joule nel trasporto dell'energia elettrica dai trasformatori BT/MT alla sottostazione utente.

I cavi in media tensione (30kV AC) vengono utilizzati per i collegamenti in entra-esce tra i vari skid, per i collegamenti tra questi ultimi ed i quadri MT in sottostazione e per i collegamenti tra i quadri MT ed il trasformatore MT/AT.

Per i collegamenti in entra-esce tra i vari skid e per i collegamenti tra questi ultimi ed i quadri MT in sottostazione è stato previsto l'utilizzo del cavo in alluminio ARE4H5E, che presenta le seguenti caratteristiche:

- Cavo unipolare
- Tensione nominale: 18/30kV
- Anima: Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio
- Semiconduttivo interno: Mescola estrusa
- Isolante: Mescola di polietilene reticolato (DIX 8)
- Semiconduttivo esterno: Messcola estrusa
- Rivestimento protettivo: Nastro semiconduttore igroespandente
- Schermatura: Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale ( $R_{max} 3\Omega/km$ )
- Guaina: Polietilene colore rosso (DMP 2)
- Temperatura di funzionamento in condizione ordinarie: 90°C
- Temperatura di funzionamento ammissibile in cortocircuito: 250°C

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 5

Il tipo di posa considerata è di tipo M (ovvero direttamente interrata con tegolo o lastra di CLS/altro materiale quale protezione meccanica addizionale).


Per il collegamento dai quadri MT della sottostazione utente al trasformatore MT/AT è stato previsto l'utilizzo del cavo in rame RG7H1M1, che presenta le seguenti caratteristiche:

- Cavo unipolare
- Tensione nominale: 18/30kV
- Anima: Conduttore a corda rotonda compatta di rame
- Semiconduttivo interno: Mescola estrusa
- Isolante: Gomma, qualità G7 senza piombo
- Semiconduttivo esterno: Mescola estrusa, pelabile a freddo
- Fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
- Guaina: Termoplastica LS0H, qualità M1, colore rosso
- Temperatura di funzionamento in condizione ordinarie: 105°C
- Temperatura di funzionamento ammissibile in cortocircuito: 300°C

Il tipo di posa considerata è di tipo M (ovvero direttamente interrata con tegolo o lastra di CLS/altro materiale quale protezione meccanica addizionale).

In fase di rinterro vanno adottate tutte le cure e gli accorgimenti di rito al fine di evitare che i percorsi delle condutture elettriche divengano future vie di ruscellamento superficiale delle acque. Ciò avrebbe l'effetto di erodere gli strati di copertura delle sezioni di scavo. Inoltre col tempo le successive infiltrazioni di acqua potrebbero asportare la sabbia di riempimento trasformando l'elettrodotta in una sorta di "canale". Opportuni accorgimenti devono essere presi per fare sì che ciò non accada.

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 6

### 3. MODALITÀ DI INSTALLAZIONE PROVE

#### 3.1 PRESCRIZIONI PER LA POSA DEI CAVI

In ottemperanza ai dettami della norma CEI 11- 17 sezione 4.3:


- “durante le operazioni di posa o di spostamento dei cavi per installazione fissa, la loro temperatura per tutta la loro lunghezza e per tutto il tempo in cui essi possono venire piegati o raddrizzati non deve essere inferiore a 0°C”
- “durante le operazioni di posa dei cavi per installazione fissa, se non altrimenti specificato dalle norme particolari dei costruttori, i raggi di curvatura dei cavi, misurati sulla generatrice interne degli stessi, non devono essere inferiori a 12D (per cavi senza alcun rivestimento metallico) dove D è il diametro esterno del cavo”
- “gli sforzi di tiro necessari durante le operazioni di posa dei cavi non vanno applicati ai rivestimenti protettivi, bensì ai conduttori, per i quali d'altronde si raccomanda di non superare una sollecitazione di 50 N/mm<sup>2</sup> per conduttori di alluminio”

Le precauzioni riportate sono necessarie al fine di evitare che, durante le operazioni di posa, il cavo si danneggi e conseguentemente si alteri la capacità a svolgere il compito per cui è predisposto. Le stesse vanno integrate con quelle dei costruttori, riportare sulla documentazione tecnica a corredo dei prodotti che, qualora più restrittive, hanno valenza superiore. Inoltre è opportuno che l'installatore conservi e fornisca quanto necessario a dimostrare l'avvenuto rispetto delle prescrizioni in questione (per esempio le temperature e le condizioni presenti durante la posa e la permanenza in magazzino dei prodotti).

#### 3.2 ACCESSORI, TERMINAZIONI E GIUNZIONI

Innanzitutto va detto che è sempre preferibile ridurre al minimo il numero delle giunzioni, solitamente punti deboli delle condutture. Allo scopo è necessario scegliere bobine con avvolta la pezzatura di cavo massima praticabile. In tutti i modi bisogna fare sì che, particolarmente per i tratti brevi, non vi siano giunzioni, ciò è più semplicemente fattibile effettuando ordinazioni mirate delle pezzature sulla base di misure reali. In proposito si potrebbe rivelare conveniente l'impiego di

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 7

conduttori multipolari avvolti ad elica visibile per i tratti brevi e di unipolari, che sono forniti anche con pezzature superiori al chilometro, per quelli lunghi.

Gli accessori dei cavi devono essere idonei a sopportare le sollecitazioni elettriche, termiche e meccaniche previste durante l'esercizio in condizioni ordinarie e anomale.

In particolare ai sensi della CEI 11-17 punto 7.1.3 devono poter sopportare le correnti di cortocircuito previste per la sezione dei conduttori, delle guaine e degli schermi dei cavi su cui vengono montati. Vale in proposito la considerazione riportata nella suddetta norma circa le prove necessarie a qualificare l'accessorio come idoneo.

La tensione di designazione degli accessori deve essere almeno uguale alla tensione nominale del sistema. Le terminazioni devono rispettare le prescrizioni dei produttori di quadri e inverter. Il giunto va adagiato sul fondo dello scavo in modo da avere nel piano di posa un supporto continuo per la sua intera lunghezza, quindi va ricoperto di uno strato di sabbia del tipo a bassa resistività, del tipo silicea preferibilmente verificata previa misura, aggiungendo altro materiale simile sino a sovrastare la sommità di almeno 10cm.

Il giunto deve essere contornato completamente e sui fianchi laterali e superiormente da un cassetto di mattoni e sabbia del tipo indicato. L'ubicazione sarà segnalata sulla planimetrie riportanti il percorso dei cavi in modo tale che sia possibile una rapida e sicura individuazione futura. Auspicabile l'impiego di giunti autorestringenti che, a fronte di un costo superiore, sono di più semplice e rapida installazione e di prestazione funzionale superiore.

### 3.3 PROVE

La norma CEI 11- 17 sezione 8 raccomanda che, prima della messa in servizio, sia eseguito un controllo allo scopo di assicurarsi che il montaggio degli accessori sia stato eseguito senza difetti e che i cavi non siano stati deteriorati durante la posa.

Per la descrizione delle prove da eseguire si rimanda alla sezione della norma citata.

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>




#### 4. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE E DELLA MASSIMA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE PER I CAVIDOTTI MT

Come già detto, i cavi MT utilizzati in questi calcoli preliminari sono il cavo ARE4H5E ed il cavo RG7H1M1, le cui caratteristiche di resistenza, reattanza e portata con posa interrata a trifoglio sono illustrate nelle seguenti tabelle.

CAVO	ARE4H5E COMPACT (alluminio)		
SEZIONE [mmq]	R [ $\Omega$ /m]	X [ $\Omega$ /m]	Iz - trifoglio [A]
50	0.00083	0.00015	175
70	0.00058	0.00014	213
95	0.000416	0.00013	255
120	0.000333	0.00013	291
150	0.00027	0.00012	324
185	0.000218	0.00012	368
240	0.000168	0.00011	426
300	0.000136	0.00011	480
400	0.000109	0.00011	549
500	0.000089	0.0001	624
630	0.0000739	0.000099	709

CAVO	RG7H1M1 (rame)		
SEZIONE [mmq]	R [ $\Omega$ /m]	X [ $\Omega$ /m]	Iz - trifoglio [A]
50	0.000517	0.00014	231
70	0.000358	0.00013	284
95	0.000258	0.00012	339
120	0.000205	0.00012	387
150	0.000166	0.00011	432
185	0.000133	0.00011	489
240	0.000102	0.0001	567
300	0.000082	0.0001	640
400	0.000065	0.000099	725
500	0.000053	0.000095	820
630	0.000043	0.000096	923

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 9

I cavi MT sono suddivisi in 2 linee distinte che si collegano alla sottostazione utente, inoltre sono disposti in entra-esce sugli skid (struttura composta da inverter e trasformatore BT/MT) per diminuire la lunghezza complessiva degli stessi.

Una volta arrivate in sottostazione utente, le 2 linee MT confluiranno entrambe nel trasformatore MT/AT.

È necessario dunque dimensionare i seguenti tratti in modo tale che siano in grado di trasportare le relative potenze rispettando sia il criterio elettrico che quello termico.

LINEA	TRATTO	DISTANZA [m]	S AC [MVA]
L1	A1-A2	1352	4,2
	A2-A3	862	8,4
	A3-SS	8009	12,6
L2	B1-B2	369	4,2
	B2-B3	113	8,4
	B3-B4	698	12,6
	B4-SS	7337	16,8
QP TR		30	29,40

Si è scelto di utilizzare per il tratto “QP TR” il cavo RG7H1M1, mentre per i restanti il cavo ARE4H5E.

#### 4.1 CRITERIO TERMICO

Per soddisfare il criterio termico deve essere verificato che ogni tratto di cavo abbia una sezione tale che la sua portata sia sempre superiore alla corrente di impiego ad esso associata, in modo da non avere una perdita di vita utile del cavo stesso.


La corrente di impiego è data da:

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi}$$

Dove:

- P: potenza attiva transitante sulla linea (W)
- $V_n$ : tensione nominale (V)

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 10

- $\cos\varphi$ : fattore di potenza (ipotizzato a 0.95)

È necessario quindi scegliere una sezione del cavo che abbia una portata, calcolata a valle dell'utilizzo dei coefficienti correttivi, superiore alla  $I_b$ .

La portata  $I_z$  di un cavo viene infatti ricavata dalla seguente formula:

$$I_z = I_0 * k1 * k2 * k3 * k4$$

Dove:

- $I_0$ : portata nominale del cavo relativa al metodo di installazione previsto (A)
- $K1$ : 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 dal valore base (0,8 m)
- $K4$ : fattore di correzione per resistività termica diversa dal valore base (1,5 K m/W)

È stato quindi utilizzato un coefficiente complessivo pari a 0,91 (1 x 1 x 1 x 0,91) per il tratto "QP TR" mentre un coefficiente complessivo pari a 0,77 (1 x 0,85 x 1 x 0,91) per i restanti tratti.

#### 4.2 CRITERIO ELETTRICO

Per soddisfare il criterio elettrico deve essere verificato che ogni linea MT abbia una caduta di tensione complessiva inferiore all'2%.

La caduta di tensione in un singolo tratto è data da:

$$\Delta V\% = \sqrt{3} l \frac{I_b}{n} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \frac{100}{V_n}$$

Dove:

- $l$ : lunghezza del tratto considerato (m)
- $I_b$ : corrente di impiego (A)
- $n$ : conduttori per fase
- $r$ : resistenza unitaria del cavo ( $\Omega/m$ )
- $x$ : reattanza unitaria del cavo ( $\Omega/m$ )

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

- $\cos\varphi$ : fattore di potenza (ipotizzato a 0.95)
- $V_n$ : tensione nominale (V)

Una volta ottenuti i risultati, per ogni tratto di linea si sceglie la più piccola sezione che soddisfa entrambi i criteri sopra descritti.

Le linee MT dell'impianto fotovoltaico hanno dunque le seguenti dimensioni:

LINEA	TRATTO	DISTANZA [m]	S AC [MVA]	P DC mono [MW]	P DC bi [MW]	Ib [A]	Sezione [mmq]	IO [A]	Iz [A]	$\Delta U\%$
L1	A1-A2	1352	4,2	4,16	4,61	85,08	3 x 95	255	196,35	0,2894
	A2-A3	862	8,4	8,60	9,53	170,17	3 x 185	368	283,36	0,2071
	A3-SS	8009	12,6	12,66	14,03	255,25	3 x 500	624	480,48	1,3665
L2	B1-B2	369	4,2	4,13	4,58	85,08	3 x 95	255	196,35	0,0790
	B2-B3	113	8,4	8,21	9,10	170,17	3 x 185	368	283,36	0,0272
	B3-B4	698	12,6	12,37	13,71	255,25	3 x 500	624	480,48	0,1191
	B4-SS	7337	16,8	16,51	18,29	340,33	3 x 500	624	480,48	1,6691
QP TR1		30	29,40	29,17	32,31	595,58	3 x 500	820	746,2	0,0083

Nella tabella sono rappresentate sia la potenza DC monofacciale sia quella bifacciale. Secondo la IEC 60904 in corso di attuazione, la definizione di potenza bifacciale (nel nostro caso il fattore di bifaccialità è l'80%) è data da:  $STC \times (1 + 13,5 \times 80\%)$ . Quindi secondo la IEC 60904, considerando anche la faccia posteriore del modulo, la potenza di picco del singolo modulo è di 676 W e quella complessiva dell'impianto è di 32,31 MWp

## 5. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE E DELLA MASSIMA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE PER I CAVI BT

Come già detto, il cavo BT utilizzato in questi calcoli preliminari è il cavo ARE4R, le cui caratteristiche di resistenza e portata per singolo cavo interrato sono illustrate nella seguente tabella.

CAVO	ARE4R 0,6/1kV	
SEZIONE [mmq]	RESISTENZA a 40°C [ $\Omega/m$ ]	PORTATA [A]

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>



Tipo:	Documentazione di Progetto	
Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 12

16	0,00206	98
25	0,00129	126
35	0,00094	151
50	0,00069	178
70	0,00048	218
95	0,00035	261
120	0,00027	296
150	0,00022	332
185	0,00018	374
240	0,00013	432
300	0,00011	486
400	0,00008	549
500	0,00007	619

I cavi BT collegano le stringhe del campo fotovoltaico a dei quadri di stringa (combiner box) in modo da raggruppare più stringhe e minimizzare la lunghezza complessiva dei cavi. A loro volta dai quadri di stringa partono altri cavidotti BT che arrivano fino ai 7 inverter presenti nell'impianto.

È necessario dunque dimensionare tutti i tratti in modo tale che siano in grado di trapostare le relative potenze rispettando sia il criterio elettrico che quello termico.


## 5.1 CRITERIO TERMICO

Per soddisfare il criterio termico deve essere verificato che ogni tratto di cavo abbia una sezione tale che la sua portata sia sempre superiore alla corrente di impiego ad esso associata, in modo da non avere una perdita di vita utile del cavo stesso.

La corrente di impiego è ricavata, in via cautelativa, dalla corrente di corto circuito dei moduli fotovoltaici e dal numero di stringhe collegate ad un singolo combiner box. Nel caso dei pannelli bifacciali, come ulteriori ipotesi cautelativa, viene considerata la corrente nominale maggiorata del 10,8%, considerando il guadagno dovuto al pannello posteriore.

Nel caso in questione abbiamo un massimo di 16 stringhe collegate ad un combiner box ottenendo una corrente di impiego pari a  $I = 14,11 * 1,108 * 16 = 250,14$  A.

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 13

È necessario quindi scegliere una sezione del cavo che abbia una portata superiore alla  $I_b$ .

## 5.2 CRITERIO ELETTRICO

Per soddisfare il criterio elettrico deve essere verificato che ogni linea BT abbia una caduta di tensione inferiore al 2%, considerando sia il tratto “stringhe-combiner box” che il tratto “combiner box – inverter”.

La caduta di tensione in un singolo tratto è data da:

$$\Delta V\% = 2 l \frac{I_b}{n} r \frac{100}{V_n}$$


Dove:

- $l$ : lunghezza del tratto considerato (m)
- $I_b$ : corrente di impiego (A)
- $n$ : conduttori per fase
- $r$ : resistenza unitaria del cavo ( $\Omega/m$ )
- $V_n$ : tensione nominale (V)

Per i cavi BT che collegano le stringhe ai combiner box si è effettuato il dimensionamento con le seguenti ipotesi cautelative:

- Lunghezza del cavo massima:  $l = 105$  m per tutti i tratti;
- Guadagno massimo del modulo bifacciale, pari al 10,8% in più della sua potenza nominale;
- Corrente di impiego ottenuta dalla corrente di corto circuito del modulo fotovoltaico pari a  $I = 14,11$  A, ottenendo una corrente totale pari a  $I = 14,11 * 1,108 = 15,63$  A;

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto		
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>		
	Rev. 00 – 28/09/2021			Pag. 14

A valle di queste condizioni si è scelto di utilizzare una sezione pari a 16 mmq che garantisce una portata molto maggiore alla corrente di impiego ed una c.d.t. pari al 0,48%.

Lunghezza [m]	Corrente IMPIEGO [A]	R [ $\Omega$ /m]	Sezione [mmq]	Portata cavo [A]	$\Delta U\%$
105	15,63	0,00206	16	98	0,48

Una volta dimensionati i tratti “stringhe-combiner box” si passa ad effettuare il dimensionamento dei tratti “combiner box – inverter”, ipotizzando una lunghezza media dei collegamenti elettrici pari a 190 m.

Lunghezza [m]	Corrente IMPIEGO [A]	R [ $\Omega$ /m]	Sezione [mmq]	Portata cavo [A]	$\Delta U\%$
190	250,14	0,00011	300	486	0,7254

Ottenendo una c.d.t. totale per i tratti in DC pari a  $\Delta U_{tot}\% = 0,7254 + 0,48 = 1,2039$ .


## 6. SOTTOSTAZIONE UTENTE DI CONNESSIONE ALLA RTN

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede il collegamento della sottostazione di trasformazione utente in antenna a 150 kV su l’ampliamento della Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 380/150 kV denominata “Scandale”.

La sottostazione di trasformazione, relativamente alle opere utente, sarà così costituita:

- Sbarra di connessione dei vari produttori con opportuni set di isolatori.
- Adeguati set di TA/TV per le protezioni e misure di montante.
- N° 1 stallo con interruttori di trasformatore e n° 1 stalli con interruttore di linea, entrambi con relativi organi di sezionamento.
- N° 1 trasformatore AT/MT da 33/40 (ONAN/ONAF).
- N° 03 partenze con scaricatori per connessione AT in cavo.
- Partenze in cavo MT dal secondario dei trasformatori AT/MT verso i rispettivi quadri di MT collocati su edifici dedicati.

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 15

Il trasformatore AT/MT provvederà ad elevare il livello di tensione della rete dell'impianto (30kV) al livello di tensione della Rete Nazionale (150kV); detto trasformatore sarà di tipo con isolamento in olio.

All'interno dell'area della sottostazione utente sarà realizzato un edificio atto a contenere le apparecchiature di potenza e controllo relative alla sottostazione stessa; saranno previsti i seguenti locali:

- Locale quadri di controllo e di distribuzione per l'alimentazione dei servizi ausiliari (privilegiati e non); il trasformatore MT/BT previsto per i servizi ausiliari ha una potenza nominale pari a 100 kVA con isolamento in resina avente classe di tenuta al fuoco F0 per il quale non sono previste prescrizioni in materia antincendio;
- Locale contenente il quadro di Media Tensione (completo di trasformatore MT/BT e relativo box metallico di contenimento) per alimentazione utenze ausiliarie;
- Locale quadro misure AT, con accesso garantito sia dall'interno che dall'esterno della SSE;


La sottostazione utente sarà opportunamente recintata e sarà previsto un ingresso carraio collegato al sistema viario più prossimo. Sarà previsto inoltre un adeguato sistema d'illuminazione esterna, gestito da un interruttore crepuscolare. Tutta la sottostazione sarà provvista di un adeguato impianto di terra che collegherà tutte le apparecchiature elettriche e le strutture metalliche presenti nella sottostazione stessa. Nel locale quadri della sottostazione all'interno della sala BT sarà installato il sistema SCADA. Tutti i locali saranno illuminati con plafoniere stagne, contenenti uno o due lampade fluorescenti da 18/36/58 W secondo necessità. Sarà inoltre previsto un adeguato numero di plafoniere stagne dotate di batterie tampone, per l'illuminazione di emergenza.

Tutte le apparecchiature ed i componenti nella sottostazione utente saranno conformi alle relative Specifiche Tecniche TERNA S.p.A.. Le opere in argomento sono progettate e saranno costruite e collaudate in osservanza alla regola dell'arte dettata, in particolare, dalle più aggiornate:

- disposizioni nazionali derivanti da leggi, decreti e regolamenti applicabili, con eventuali aggiornamenti, con particolare attenzione a quanto previsto in materia antinfortunistica;

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>



	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 16

- disposizioni e prescrizioni delle Autorità locali, Enti ed Amministrazioni interessate;
- norme CEL, IEC, CENELEC, ISO, UNI in vigore, con particolare attenzione a quanto previsto in materia di compatibilità elettromagnetica.

I requisiti funzionali generali per la realizzazione della sottostazione utente saranno:

- vita utile non inferiore a 40 anni. Le scelte di progetto, di esercizio e di manutenzione ordinaria saranno fatte tenendo conto di questo requisito;
- elevate garanzie di sicurezza nel dimensionamento strutturale;
- elevato standard di prevenzione dei rischi d'incendio, ottenuta mediante un'attenta scelta dei materiali.

## 7. TIPOLOGIA DEL CAVO AT


Il dimensionamento del cavo è stato effettuato per una capacità massima pari a 250 MW, idoneo per il trasporto dell'energia prodotta da tutte le iniziative presenti in sottostazione. È pertanto previsto un elettrodotto in cavo interrato dalla lunghezza prevista di circa 720 m con le seguenti caratteristiche:

<b>CARATTERISTICHE DI COSTRUZIONE</b>	
Materiale del conduttore	Aluminum
Isolamento	XLPE (chemical)
Tipo di conduttore	A 6 settori riuniti
Guaina metallica	Alluminio termofuso
<b>CARATTERISTICHE DIMENSIONALI</b>	
Diametro del conduttore	48,9mm
Sezione del conduttore	1600mm <sup>2</sup>

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

Spessore del semi-conduttore interno	2,0mm
Spessore medio dell'isolante	15,8mm
Spessore del semi-conduttore esterno	1,3mm
Spessore guaina metallica, approx	,6mm
Spessore guaina	4,0mm
Diametro esterno nom.	100,0mm
Sezione schermo	180mm <sup>2</sup>
Peso approssimativo	10kg/km
<b>CARATTERISTICHE ELETTRICHE</b>	
Max tensione di funzionamento	170kV
Messa a terra degli schermi - posa a trifoglio	assenza di correnti di circolazione
Portata di corrente, cavi interrati a 20°C, posa a trifoglio	1130A
Portata di corrente, cavi interrati a 30°C, posa a trifoglio	970A
Portata di corrente, cavi in aria a 30°C, posa a trifoglio	1630A
Portata di corrente, cavi in aria a 50°C, posa a trifoglio	1295A
Messa a terra degli schermi - posa in piano	assenza di correnti di circolazione
Portata di corrente, cavi interrati a 20°C, posa in piano	1225A
Portata di corrente, cavi interrati a 30°C, posa in piano	1050A
Portata di corrente, cavi in aria a 30°C, posa in piano	1895A
Portata di corrente, cavi in aria a 50°C, posa in piano	1515A
Massima resistenza el. del cond. a 20°C in c.c.	0,019Ohm/km
Capacità nominale	0,3μF / km
Corrente ammissibile di corto circuito	20kA
Tensione operativa	150kV

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 18

## 8. ACCORGIMENTI PER LA DISPOSIZIONE DEI CAVI UNIPOLARI

I cavi unipolari sono da disporre in formazione a trifoglio in modo tale che sia realizzata, una globale trasposizione. Ciò si realizza scambiando, in corrispondenza dei giunti, la posizione dei conduttori. È inoltre necessario rispettare, come da buona tecnica di posa, la vicinanza delle fasi tra gli elettrodotti affiancati.

## 9. COESISTENZA FRA CAVI ELETTRICI ED ALTRE CONDUTTURE INTERRATE

### 9.1 PARALLELISMI E INCROCI FRA CAVI ELETTRICI

I cavi aventi la stessa tensione nominale, possono essere posati alla stessa profondità a una distanza di circa 2 volte il loro diametro. Tali prescrizioni valgono anche per incroci di cavi aventi uguale o diversa tensione nominale.

### 9.2 PARALLELISMI E INCROCI FRA CAVI ELETTRICI E CAVI DI TELECOMUNICAZIONI

#### 9.2.1 PARALLELISMI


Nei parallelismi con cavi di telecomunicazione, i cavi di energia devono, di norma, essere posati alla maggiore possibile distanza, e quando vengono posati lungo la stessa strada si devono dislocare possibilmente ai lati opposti di questa.

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non sia possibile attuare quanto sopra, è ammesso posare i cavi in vicinanza, purché sia mantenuta fra i due cavi una distanza minima non inferiore a 0,30 m. Qualora detta distanza non possa essere rispettata, è necessario applicare sui cavi uno dei seguenti dispositivi di protezione:

- cassetta metallica zincata a caldo;
- tubazione in acciaio zincato a caldo;
- tubazione in materiale plastico conforme alle norme CEI.

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posato alla profondità maggiore quando la differenza di quota tra i due cavi è uguale o superiore a 0,15 m. Le prescrizioni di cui sopra non si applicano quando almeno uno dei due cavi è posato, per tutta la parte interessata, in appositi

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 19

manufatti (tubazione, cunicoli ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la necessità di effettuare scavi.

Nel caso che i cavi siano posati nello stesso manufatto, non è prescritta nessuna distanza minima da rispettare, purché sia evitata la possibilità di contatti meccanici diretti e siano dislocati in tubazioni diverse.

### 9.2.2 INCROCI

La distanza fra i due cavi non deve essere inferiore a 0,30 metri ed inoltre il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, mediante un dispositivo di protezione identico a quello previsto per i parallelismi. Tali dispositivi devono essere disposti simmetricamente rispetto all'altro cavo.

Ove, per giustificate esigenze tecniche, non possa essere rispettato il distanziamento minimo di cui sopra, anche sul cavo sottostante deve essere applicata una protezione analoga a quella prescritta per il cavo situato superiormente.

Non è necessario osservare le prescrizioni sopraindicate quando almeno uno dei due cavi è posto dentro appositi manufatti (tubazioni, cunicoli, ecc.) che proteggono il cavo stesso e ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione, senza necessità di effettuare scavi.

### 9.3 PARALLELISMI ED INCROCI FRA CAVI ELETTRICI E TUBAZIONI O STRUTTURE METALLICHE INTERRATE


La distanza in proiezione orizzontale fra i cavi di energia e le tubazioni metalliche interrato, adibite al trasporto e alla distribuzione di fluidi (acquedotti, oleodotti e simili), posate parallelamente ai cavi medesimi non deve essere inferiore a 0,30 metri.

Si può tuttavia derogare dalla prescrizione suddetta previo accordo fra gli esercenti quando:

- la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate è superiore a 0,50 metri;
- tale differenza è compresa fra 0,30 e 0,50 metri, ma si interpongono fra le due strutture elementi separatori non metallici nei tratti in cui la tubazione non è contenuta in un manufatto di protezione non metallico.

Non devono mai essere disposti nello stesso manufatto di protezione cavi di energia e tubazioni convoglianti fluidi infiammabili; per le tubazioni adibite ad altro uso tale tipo di posa è invece consentito, previo accordo fra i soggetti interessati, purché il cavo di energia e la tubazione non siano posti a diretto contatto fra loro.

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 20

Le superfici esterne di cavi di energia interrati non devono distare meno di 1 m dalle superfici esterne di serbatoi contenenti liquidi o gas infiammabili.

L'incrocio fra cavi di energia e tubazioni metalliche interrate non deve essere effettuato sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni stesse.

Non si devono effettuare giunti sui cavi a distanza inferiore ad 1 m dal punto di incrocio. Nessuna prescrizione è data nel caso in cui la distanza minima, misurata fra le superfici esterne di cavi di energia e di tubazioni metalliche o fra quelle di eventuali manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m.


Tale distanza può essere ridotta fino a un minimo di 0,30 metri, quando una delle strutture di incrocio è contenuta in manufatto di protezione non metallico, prolungato per almeno 0,30 metri per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura oppure quando fra le strutture che si incrociano venga interposto un elemento separatore non metallico (a esempio, lastre di calcestruzzo o di materiale isolante rigido); questo elemento deve poter coprire, oltre alla superficie di sovrapposizione in pianta delle strutture che si incrociano, quella di una striscia di circa 0,30 metri di larghezza ad essa periferica.

Le distanze sopraindicate possono essere ulteriormente ridotte, previo accordo fra gli soggetti interessati, se entrambe le strutture sono contenute in manufatto di protezione non metallico. Prescrizioni analoghe devono essere osservate nel caso in cui non risulti possibile tenere l'incrocio a distanza uguale o superiore a 1 m dal giunto di un cavo oppure nei tratti che precedono o seguono immediatamente incroci eseguiti sotto angoli inferiori a 60° e per i quali non risulti possibile osservare prescrizioni sul distanziamento.

#### 9.4 COESISTENZA FRA CAVI DI ENERGIA E GASDOTTI

Le distanze da rispettare nei parallelismi e incroci fra cavi elettrici e tubazioni di cui al precedente paragrafo 6.3 sono applicabili, ove non in contrasto con il D.M. 24.11.1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8", ai cavi direttamente interrati con le modalità di posa "L" (senza protezione meccanica) e "M" (con protezione meccanica) definite dalle Norme CEI 11-17 (art. 2.3.11 e fig. 1.2.06).

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>

	Tipo:	Documentazione di Progetto	
	Titolo:	<b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b>	
	Rev. 00 – 28/09/2021		Pag. 21

## 10. CONCLUSIONI

L'intero sistema di elettroconduzione è stato dimensionato, in virtù delle ipotesi formulate e riportate in precedenza, allo scopo di ottenere le configurazioni ottimizzate migliori possibili sia in termini di sezioni di cavi sia di larghezza/profondità scavo che, infine, in termini di consumo e/o trasporto di materiali complementari (sabbia, rinterri, ecc).

Si rinnovano tutte le raccomandazioni riportate nel corpo della presente che sono da intendersi integralmente qui trascritte.

Ad esse si aggiunge che è opportuno verificare, in fase di esecuzione, il rispetto delle geometrie delle sezioni di elettrodotto ed anche la scelta dei giunti e la loro esecuzione. Specialmente i giunti sono un aspetto molto delicato e da non sottovalutare, pertanto è imperativo l'impiego di materiali di ottima fattura prodotti da primaria marca riconosciuta a livello internazionale e che i giuntisti siano qualificati e forgiati da robusta esperienza.

Comune:	<b>Crotone e Scandale</b>	Provincia:	<b>Crotone</b>
Denominazione:	<b>San Biagio</b>	Potenza:	<b>29,16 MW</b>