



REGIONE PUGLIA




PROVINCIA DI FOGGIA



COMUNE DI FOGGIA


|   |  |                                   |   |  |                           |
|---|--|-----------------------------------|---|--|---------------------------|
| Proponente  | <b>ARTEMIS SRL</b>   |                                   |   |  |                           |
| Progettista:  |   |                                   | Partnered by:   |  |                           |
| Progettazione   | <b>Ing. Fabio Domenico Amico</b><br>Via Milazzo, 17<br>40121 Bologna<br><a href="mailto:f.amico@green-go.it">f.amico@green-go.it</a>  | Studio ambientale e paesaggistico | <b>Arch. Antonio Demaio</b><br>Via N. delli Carri, 48 - 71121 Foggia (FG)<br>Tel. 0881.756251   Fax 1784412324<br>Email: <a href="mailto:sit.vega@gmail.com">sit.vega@gmail.com</a>  <b>VEGA sas</b> LANDSCAPE ECOLOGY & URBAN PLANNING<br><small>Via delli Carri, 48 - 71121 Foggia - Tel. 0881.756251 - Fax 1784412324<br/> mail: info@studiovega.org - website: www.studiovega.org</small> |  |                           |
| Studio incidenza ambientale Flora fauna ed ecosistema | <b>Dott. Forestale Luigi Lupo</b><br>Corso Roma, 110 - 71121 Foggia<br>E-Mail: <a href="mailto:luigilupo@libero.it">luigilupo@libero.it</a>  | Studio idraulico                  | <b>Ing. Antonella Laura Giordano</b><br>Viale degli Aviatori, 73/F14 - 71122 Foggia (Fg)<br>Tel. 0881.331935<br>E-Mail: <a href="mailto:lauragioradano.ing@gmail.com">lauragioradano.ing@gmail.com</a>  |  |                           |
| Studio agronomico                                     | <b>Dott. Agronomo Giuseppe Caputo</b><br>Via Mazzini, 350 - 71010 Carpino (FG)<br>E-Mail: <a href="mailto:Giuseppecpt92@gmail.com">Giuseppecpt92@gmail.com</a>   | Studio geologico                  | <b>Studio di Geologia Tecnica &amp; Ambientale</b><br><b>Dott.sa Geol. Giovanna Amedei</b><br>Via Pietro Nenni, 4 - 71012 Rodi Garganico (Fg)<br>Tel./Fax 0884.965793   Cell. 347.6262259<br>E-Mail: <a href="mailto:giovannaamedei@tiscali.it">giovannaamedei@tiscali.it</a>   |  |                           |
| Studio archeologico                                   | <b>Dott. Antonio Bruscella</b><br>Piazza Alcide De Gasperi, 27 - 85100 Potenza (Pz)<br>Tel. 340.5809582<br>E-Mail: <a href="mailto:antoniobruscella@hotmail.it">antoniobruscella@hotmail.it</a>                        |                                   |   |  |                           |
| Opera   | Progetto di realizzazione di un impianto agrovoltaico e opere connesse nel comune di Foggia (FG), denominato Duanera   |                                   |   |  |                           |
| Oggetto   | Folder:<br>G1F8PR6_CalcoliPreliminari.zip  |                                   |   |  |                           |
|   | Identificativo file elaborato (pdf):<br>G1F8PR6_CalcoliPreImpianti   |                                   |   |  |                           |
|   | Codice elaborato interno - Titolo elaborato:<br>DNRPD0R06-00 - Calcoli Preliminari Impianti  |                                   |   |  |                           |
|   |  |                                   |   |  |                           |
| 00  | 12/07/2022   | Emissione per progetto definitivo | Ing. Filippo Virdis   | Ing. Fabio Domenico Amico  | Ing. Fabio Domenico Amico |
| Rev.  | Data   | Oggetto della revisione           | Elaborazione  | Verifica   | Approvazione              |

|   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | 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 .....   | 2  |
| 3. MODALITÀ DI INSTALLAZIONE PROVE .....  | 5  |
| 3.1 Prescrizioni per la posa dei cavi .....   | 5  |
| 3.2 Accessori, terminazioni e giunzioni .....   | 5  |
| 3.3 Prove .....   | 6  |
| 4. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE E DELLA MASSIMA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE PER I CAVIDOTTI MT ..... | 7  |
| 4.1 Criterio Termico .....  | 7  |
| 4.2 Criterio Elettrico .....  | 8  |
| 5. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE E DELLA MASSIMA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE PER I CAVIDOTTI BT ..... | 9  |
| 5.1 Criterio Termico .....  | 10 |
| 5.2 Criterio Elettrico .....  | 10 |
| 6. Stazione utente .....  | 12 |
| 7. ACCORGIMENTI PER LA DISPOSIZIONE DEI CAVI UNIPOLARI .....  | 12 |
| 8. COESISTENZA FRA CAVI ELETTRICI ED ALTRE CONDUTTURE INTERRATE .....   | 12 |
| 9.1 Parallelismi e incroci fra cavi elettrici .....   | 12 |
| 9.2 Parallelismi e incroci fra cavi elettrici e cavi di telecomunicazioni .....                                       | 13 |
| 9.2.1 Parallelismi .....  | 13 |
| 9.2.2 Incroci .....   | 13 |
| 9.3 Parallelismi ed incroci fra cavi elettrici e tubazioni o strutture metalliche interrate .....                     | 14 |
| 9.4 Coesistenza fra cavi di energia e gasdotti .....  | 15 |
| 9. CONCLUSIONI .....  | 15 |

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | 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 25,025 MW e potenza di picco pari a 30,2 MW<sub>p</sub>, denominato "Duanera", da ubicarsi nel Comune di Foggia (FG).

L'impianto fotovoltaico sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù dell'STMG proposta da Terna (Codice Pratica 201901040), nella titolarità della società proponente, con potenza di immissione pari a 25 MW. Lo schema di allacciamento prevede il collegamento alla rete di Trasmissione tramite la realizzazione di una sottostazione di trasformazione 30/150 kV collegata in antenna a 150 kV con l'allargamento della sottostazione elettrica (SE) di Foggia a 380/150 kV della RTN benestariata da Terna.

### 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.

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

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 3 |

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.

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

Considerando cavi con materiale conduttore in alluminio, il cavo tipo ARE4R rappresenta una possibile soluzione, e sarà quindi 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         |
| 120           | 0,000253                | 0,00027                 | 296         |

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |  |        |
|---|----------------------|---|--|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |  |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |  |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   |  | Pag. 4 |

|     |           |         |     |
|-----|-----------|---------|-----|
| 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 |

Tabella 1 - Caratteristiche elettriche cavo BT tipo ARE4R

Rispetto ai collegamenti in media tensione, cavi a 30 kV vengono utilizzati per i collegamenti tra i vari skid e la Stazione Utente, che a sua volta verrà collegata in antenna al futuro ampliamento della Stazione Elettrica "Foggia" 380/150 kV a 150 kV.


Per tali collegamenti MT è stato previsto l'utilizzo del cavo in alluminio ARE4H5E, che presenta le seguenti caratteristiche:

- Cavo unipolare
- Tensione nominale: 18/30 kV
- 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

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

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 5 |

l'elettrodotto in una sorta di "canale". Opportuni accorgimenti devono essere presi per fare si che ciò non accada.

### 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 si che, particolarmente per i tratti

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 6 |

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 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 cassonetto 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>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 7 |

#### 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 è il cavo ARE4H5E, le cui caratteristiche di resistenza, reattanza e portata con posa interrata a trifoglio sono illustrate nella seguente tabella.

| CAVO<br>SEZIONE [mmq] | ARE4H5E COMPACT (alluminio) |                  |                    |
|-----------------------|-----------------------------|------------------|--------------------|
|                       | 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                |

Tabella 2 - Caratteristiche elettriche cavo MT tipo ARE4H5E

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


##### 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:

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |



|   |                      |   |        |
|---|----------------------|---|--------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |        |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |        |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 8 |

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

Dove:

- P: potenza attiva transitante sulla linea (W)
- $V_n$ : tensione nominale (V)
- $\cos \varphi$ : 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 0,77 (1 x 0,85 x 1 x 0,91) per tutti i 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)

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

- n: conduttori per fase
- r: resistenza unitaria del cavo ( $\Omega/m$ )
- x: reattanza unitaria del cavo ( $\Omega/m$ )
- $\cos\varphi$ : 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.


Al fine di rispettare i criteri sopra citati, e di utilizzare una pezzatura omogenea del materiale, si è deciso di utilizzare un cavo del tipo  $3 \times 1 \times 185 \text{ mm}^2$  per i collegamenti tra skid interni all'impianto, ed una pezzatura del tipo  $3 \times 1 \times 500 \text{ mm}^2$  per il collegamento dei due sottocampi sino alla Stazione Utente di trasformazione 30/150 kV, come riportato nell'elaborato grafico "G1F8PR6\_ImpiantiDiUtenza\_03".

## 5. CALCOLO DELLA PORTATA IN REGIME PERMANENTE E DELLA MASSIMA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE PER I CAVIDOTTI 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] |
| 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         |

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |         |
|---|----------------------|---|---------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |         |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |         |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 10 |

|     |         |     |
|-----|---------|-----|
| 300 | 0,00011 | 486 |
| 400 | 0,00008 | 549 |
| 500 | 0,00007 | 619 |

Tabella 3 - Caratteristiche elettriche cavo BT tipo ARE4R

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 2 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  $I = 13,48 * 1,108 * 16 = 238,97$  A.

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

## 5.2 CRITERIO ELETTRICO

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |  |         |
|---|----------------------|---|--|---------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |  |         |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |  |         |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   |  | Pag. 11 |

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<sub>b</sub>: corrente di impiego (A)
- n: conduttori per fase
- r: resistenza unitaria del cavo (Ω/m)
- V<sub>n</sub>: 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 = 100 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 = 14,25 A, ottenendo una corrente totale pari a I = 14,25 \* 1,108 = 15,79 A;

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 0,43%.

| Lunghezza [m] | Corrente IMPIEGO [A] | R [Ω/m] | Sezione [mmq] | Portata cavo [A] | ΔU%  |
|---------------|----------------------|---------|---------------|------------------|------|
| 100           | 15,79                | 0,00206 | 16            | 98               | 0,43 |

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 300 m.

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |  |         |
|---|----------------------|---|--|---------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |  |         |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |  |         |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   |  | Pag. 12 |

| Lunghezza [m] | Corrente IMPIEGO [A] | R [ $\Omega$ /m] | Sezione [mmq] | Portata cavo [A] | $\Delta U\%$ |
|---------------|----------------------|------------------|---------------|------------------|--------------|
| 300           | 238,97               | 0,00011          | 300           | 486              | 1,05         |

Ottenendo una c.d.t. totale per i tratti in DC pari a  $\Delta U_{tot}\% = 0,43+1,05 = 1,49\%$ .

## 6. STAZIONE UTENTE

L'impianto fotovoltaico sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù dell'STMG proposta da Terna (Codice Pratica 201901040), nella titolarità della società proponente, con potenza in immissione pari a 25 MW. Lo schema di allacciamento prevede il collegamento alla rete di Trasmissione tramite la realizzazione di una sottostazione di trasformazione 30/150 kV collegata in antenna a 150 kV con l'allargamento della sottostazione elettrica (SE) di Foggia a 380/150 kV della RTN benestariata da Terna.

## 7. 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.

## 8. 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.

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |         |
|---|----------------------|---|---------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |         |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |         |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 13 |

## 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 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.

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |         |
|---|----------------------|---|---------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |         |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |         |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 14 |

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.


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 interrato 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.

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |

|   |                      |   |         |
|---|----------------------|---|---------|
|  | Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |         |
|   | Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |         |
|   | Rev. 00 – 12/07/2022 |   | Pag. 15 |

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).

## 9. 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>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |





|                      |   |  |         |
|----------------------|---|--|---------|
| Tipo:                | Documentazione di Progetto                    |  |         |
| Titolo:              | <b>Calcoli preliminari impianti elettrici</b> |  |         |
| Rev. 00 – 12/07/2022 |   |  | Pag. 16 |

|                |                |            |                |
|----------------|----------------|------------|----------------|
| Comune:        | <b>Foggia</b>  | Provincia: | <b>Foggia</b>  |
| Denominazione: | <b>Duanera</b> | Potenza:   | <b>30,2 MW</b> |