

## Calcoli preliminari dimensionamento elettrico

Progetto definitivo

Impianto agrivoltaico "F-SASSA"  
Comune di Sassari (SS)  
Località Predda Bianca



| N. REV. | DESCRIZIONE | ELABORATO | CONTROLLATO         | APPROVATO       | IT/FTV/F-SASSA/PDF/E/RT/002-a                                                               |
|---------|-------------|-----------|---------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| a       | Emissione   | IAT       | Asja Sassari S.r.l. | GF – IAT S.r.l. | 19/02/2024<br>Corso Vittorio Emanuele II, 6<br>10123 Torino - Italia<br>asja.sassari@pec.it |

## INDICE

|          |                                                                         |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUZIONE .....</b>                                               | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>CALCOLI ELETTRICI .....</b>                                          | <b>6</b>  |
| 2.1      | Determinazione della potenza dell'impianto .....                        | 6         |
| 2.2      | Caratteristiche moduli fotovoltaici .....                               | 6         |
| 2.3      | Caratteristiche inverter .....                                          | 7         |
| 2.4      | Potenza nominale del generatore fotovoltaico .....                      | 8         |
| 2.4.1    | Accoppiamento stringhe-inverter .....                                   | 9         |
| 2.5      | Quadri BT .....                                                         | 11        |
| 2.6      | Quadri a 36 kV .....                                                    | 11        |
| 2.7      | Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente continua .....  | 12        |
| 2.8      | Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente alternata ..... | 13        |
| 2.9      | Cavi lato a.c in bassa tensione all'interno degli edifici .....         | 14        |
| 2.10     | Cavi per la distribuzione elettrica a 36 kV .....                       | 14        |
| 2.10.2.1 | Trivellazione orizzontale controllata .....                             | 19        |
| 2.11     | Cavo fibra ottica .....                                                 | 24        |
| 2.12     | Dimensionamento dei circuiti BT e 36 kV .....                           | 25        |
| 2.13     | Protezione dei circuiti a 36 kV .....                                   | 28        |
| 2.14     | Protezione dei circuiti BT .....                                        | 29        |
| 2.15     | Contributo alle correnti di corto circuito al PCC .....                 | 30        |
| <b>3</b> | <b>NORME E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO .....</b>                        | <b>31</b> |
| 3.1      | Norme tecniche .....                                                    | 31        |
| 3.2      | Norme del gestore della rete di trasmissione .....                      | 31        |

## **PROGETTAZIONE:**

I.A.T. Consulenza e Progetti S.r.l.

Ing. Giuseppe Frongia (Direttore Tecnico)

## **GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

Ing. Giuseppe Frongia (Coordinatore e responsabile)

Ing. Marianna Barbarino

Ing. Enrica Batzella

Dott. Pian. Andrea Cappai

Ing. Paolo Desogus

Pian. Terr. Veronica Fais

Dott. Fabio Mancosu

Ing. Gianluca Melis

Dott. Fabrizio Murru

Ing. Andrea Onnis

Pian. Terr. Eleonora Re

Ing. Elisa Roych

Ing. Marco Utzeri

## **COLLABORAZIONI SPECIALISTICHE:**

Aspetti geologici e geotecnici: Dott.ssa Geol. Maria Francesca Lobina

Aspetti faunistici: Dott. Nat. Alessio Musu

Caratterizzazione agro-pedologica: Dott. Agronomo Federico Corona

Acustica: Ing. Antonio Dedoni

Aspetti floristico-vegetazionali: Dott. Nat. Fabio Schirru

Aspetti archeologici: Dott.ssa Anna Luisa Sanna

## 1 INTRODUZIONE

La Società Asja Sassari s.r.l., con sede legale a Torino (TO) in Corso Vittorio Emanuele II n. 6, intende realizzare un impianto agrivoltaico, denominato "F-Sassa", con moduli fotovoltaici installati su inseguitori solari monoassiali ubicato in Comune di Sassari (Regione Sardegna - Città Metropolitana di Sassari), in località *Predda Bianca*.

La centrale solare in progetto avrà una potenza complessiva in immissione di 24,975 MW<sub>AC</sub>, valore ottenuto dalla somma delle potenze nominali dei singoli inverter (potenza nominale lato DC pari a 30,157 MW<sub>P</sub>), e comprenderà n. 895 inseguitori solari monoassiali di cui n. 133 da 2x13 moduli FV e n. 762 da 2x26 moduli FV.

Il preventivo di connessione con codice pratica Terna n. 202204229 prevede che l'impianto sia collegato in antenna sulla sezione a 36 kV di una nuova Stazione Elettrica di Trasformazione 380/150/36 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) da inserire in entra - esce alla linea RTN a 380 kV "Fiumesanto Carbo – Ittiri".

Il campo solare sarà suddiviso elettricamente in n. 2 blocchi di potenza (sottocampi); l'energia prodotta dai moduli FV in corrente continua verrà convogliata agli inverter, opportunamente distribuiti all'interno del campo solare, al fine di essere convertita in alternata ed essere resa disponibile alle cabine di trasformazione, equipaggiate di trasformatori elevatori da 4,0 MVA e 3,15 MVA. All'interno delle suddette cabine la tensione verrà elevata dal livello di 800 V al livello di 36 kV prima del successivo vettoriamento dell'energia, attraverso cavidotti interrati a 36 kV, alla cabina di raccolta prevista all'interno dei confini dell'impianto.

Risulta, inoltre, parte integrante del progetto la realizzazione di una cabina elettrica di utenza da prevedersi all'interno di un'area recintata nei pressi dell'area in cui sorgerà la futura Stazione di Terna in località *Gianna de Mare* (Sassari).

L'elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento alla citata Stazione RTN rappresenta impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Dal punto di vista del dimensionamento dell'impianto, la presente relazione è redatta in conformità alla Norma CEI 0-2 con lo scopo di:

- determinare i parametri elettrici fondamentali di funzionamento dell'impianto, sia in condizioni normali che in condizione di guasto;
- determinare i parametri elettrici di riferimento per l'acquisizione dei principali componenti di impianto, determinando i criteri generali di scelta delle soluzioni impiantistiche adottate;

- definire i criteri e le soluzioni impiantistiche ai fini della sicurezza delle persone nei confronti dei contatti diretti e indiretti.

I criteri progettuali seguiti sono principalmente quelli di pervenire ad una configurazione impiantistica tale da garantire il corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni operative.

Le condizioni ambientali di riferimento nei calcoli di seguito riportati nella presente relazione sono:

- temperatura interna da  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ ,
- temperatura esterna da  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ ,
- umidità interna variabile dal 20 % al 85 %.

In attesa della pubblicazione delle specifiche tecniche da parte di Terna su cavi, celle e apparecchiature per le connessioni a 36 kV (attualmente oggetto di valutazione, indagine di mercato e verifiche di cantiere da parte di Terna), ogni indicazione qui riportata ai cavi a 36 kV deve intendersi riferita a cavi da 20,8/36 kV o cavi da 26/45 kV commercialmente disponibili e idonei allo scopo.

Nel seguito saranno definite le caratteristiche del generatore fotovoltaico e dei circuiti di distribuzione in corrente alternata e corrente continua.

## 2 CALCOLI ELETTRICI

### 2.1 Determinazione della potenza dell'impianto

Ai fini dei calcoli della potenza dell'impianto si è proceduto, in primo luogo, alla definizione del layout d'impianto ottimizzandolo in funzione delle scelte tecnologiche effettuate, dell'orientamento dei confini dei terreni oggetto di intervento e delle limitazioni riscontrate all'interno degli stessi, avuto riguardo della STMG elaborata da Terna.

### 2.2 Caratteristiche moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici che si prevede di utilizzare sono riferibili al modello commerciale "Vertex NEG21C.20" della Trina Solar (o similare), di tipologia bifacciale e con celle in silicio monocristallino, le cui caratteristiche riportate in Tabella 2.1 sono riferite alle seguenti condizioni standard di test (STC):

- Irraggiamento di 1000 W/m<sup>2</sup>;
- Temperatura cella di 25°C;
- Air mass (AM) pari a 1,5.

Tabella 2.1 - Dati tecnici moduli Trina Solar - Vertex NEG21C.20 da 700 Wp

|                                                 |                                |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|
| Marca e modello moduli FV                       | Trina Solar - Vertex NEG21C.20 |
| Potenza massima ( $P_{max}$ ) [W <sub>p</sub> ] | 700                            |
| Tolleranza sulla potenza [W]                    | 0~+5                           |
| Tensione alla massima potenza ( $V_{mpp}$ ) [V] | 40,5                           |
| Corrente alla massima potenza ( $I_{mpp}$ ) [A] | 17,29                          |
| Tensione di circuito aperto ( $V_{oc}$ ) [V]    | 48,6                           |
| Corrente di corto circuito ( $I_{sc}$ ) [A]     | 18,32                          |
| Massima tensione di sistema ( $V_{DC}$ ) [V]    | 1500                           |
| Coefficiente termico $\alpha_{Pmax}$ [%/°C]     | -0,30                          |
| Coefficiente termico $\alpha_{V_{oc}}$ [%/°C]   | -0,24                          |
| Coefficiente termico $\alpha_{I_{sc}}$ [%/°C]   | +0,04                          |

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| Efficienza modulo [%]      | 22,5             |
| Dimensioni [mm]            | 2384 x 1303 x 33 |
| Numero di celle per modulo | 132 [2 x 66]     |

### 2.3 Caratteristiche inverter

Gli inverter selezionati per l'impianto avranno le caratteristiche individuate dal costruttore Sungrow, modello SG250HX (o similare), in grado di erogare un valore massimo di potenza pari a 250 kW nelle condizioni di funzionamento a 30°C, in accordo con quanto indicato nelle specifiche tecniche fornite dal costruttore.

Tabella 2.2 - Dati tecnici inverter Sungrow - SG250HX

|                                                              |                                   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Marca e modello inverter                                     | Sungrow - SG250HX                 |
| Potenza massima [kVA]                                        | 250 (30°C)/225 (40°C)/ 200 (50°C) |
| Potenza nominale [kW]                                        | 225                               |
| Corrente massima DC ( $I_{DC,max}$ ) [A]                     | 360                               |
| Corrente massima AC ( $I_{AC,nom}$ ) [A]                     | 180,5                             |
| Intervallo tensione MPPT ( $V_{mpp}$ ) [V]                   | 500-1500                          |
| Intervallo tensione MPPT a $P_{nom}$ ( $V_{mpp, Pnom}$ ) [V] | 860-1300                          |
| Tensione massima DC ( $V_{DC,max}$ ) [V]                     | 1500                              |
| Numero inseguitori MPP                                       | 12                                |
| Numero stringhe massimo per MPPT                             | 2                                 |
| Connessione di rete AC                                       | 800 V, 50 Hz, 3F/PE               |
| Fattore di potenza ( $\cos\phi$ )                            | >0,99 / $\pm$ 0,8 IND/CAP         |
| Dimensioni (A x L x P) [mm]                                  | 660 x 1051 x 363                  |
| Efficienza Europea [%]                                       | 98,8                              |
| Efficienza massima [%]                                       | 99,0                              |

## **2.4 Potenza nominale del generatore fotovoltaico**

Il progetto prevede l'installazione di 43.082 moduli FV da 700 Wp che permetteranno di raggiungere, nelle condizioni standard di test, una potenza di picco lato DC pari a 30,157 MWp. L'energia in corrente continua (c.c.) prodotta dai moduli verrà dunque convertita in corrente alternata (c.a.) per mezzo di n. 111 inverter di potenza nominale pari a 225 kW che convoglieranno l'energia alle corrispondenti cabine di trasformazione dotate di trasformatore elevatore 0,8/36 kV e complete di interruttori per le linee in ingresso e uscita, oltre che per la protezione del trasformatore stesso.

Nello specifico è prevista l'installazione di un totale di n.7 cabine di trasformazione, della tipologia prefabbricata, equipaggiate di trasformatore elevatore 0,8/36 kV e ripartite secondo la seguente configurazione:

### Sottocampo 1

- n. 4 cabine di trasformazione 0,8/36 kV da 4,0 MVA;
- n.66 inverter da 225 kVA, potenza complessiva inverter 14,85 MVA;
- n. 970 stringhe;
- n. 25.220 moduli FV, potenza complessiva generatore fotovoltaico 17.654 kWp.

### Sottocampo 2

- n. 1 cabina di trasformazione 0,8/36 kV da 3,15 MVA;
- n. 2 cabine di trasformazione 0,8/36 kV da 4,0 MVA;
- n. 45 inverter da 225 kVA, potenza complessiva inverter 10,125 MVA;
- n. 687 stringhe;
- n. 17.862 moduli FV, potenza complessiva generatore fotovoltaico 12.503,4 kWp.

Tenuto conto della superficie utile all'installazione dei trackers e delle dimensioni standard degli stessi, aventi caratteristiche costruttive del modello PVH o similare, l'impianto presenta la configurazione funzionale riassunta in Tabella 2.3.

*Tabella 2.3 – Generatore FV*

|                                          |                                |
|------------------------------------------|--------------------------------|
| Marca e modello moduli FV                | Trina Solar - Vertex NEG21C.20 |
| Potenza moduli [W <sub>p</sub> ]         | 700                            |
| Marca e modello inverter                 | Sungrow - SG250HX              |
| Potenza nominale inverter [kW]           | 225                            |
| Numero inverter                          | 111                            |
| Distanza E-W tra le file [m]             | 10,0                           |
| Distanza N-S tra le file [m]             | 0,5                            |
| Numero trackers da 2x13 moduli           | 133                            |
| Numero trackers da 2x26 moduli           | 762                            |
| Numero totale moduli                     | 43.082                         |
| Numero stringhe da 26 moduli             | 1657                           |
| Potenza DC [MW <sub>p</sub> ]            | 30,157                         |
| Potenza nominale AC [MVA <sub>AC</sub> ] | 24,975                         |
| Rapporto DC/AC                           | 1,21                           |

#### *2.4.1 Accoppiamento stringhe-inverter*

Al fine di garantire un funzionamento sicuro ed efficiente dell'inverter è necessario configurare il campo fotovoltaico adattandolo al modello di inverter prescelto, valutandone attentamente le condizioni estreme di funzionamento.

Il dimensionamento delle stringhe connesse agli inverter è stato effettuato considerando i requisiti previsti dalla guida CEI 82-25 ed in particolare verificando, mediante simulatore d'impianto implementato nel software PVSYST, le seguenti condizioni di funzionamento:

**1. Tensione massima stringa a vuoto, alla minima temperatura:**

- La tensione a circuito aperto (Voc), stimata alla minima temperatura di funzionamento prevista (-10 °C), deve essere inferiore alla tensione massima dell'inverter;

**2. Tensioni MPPT:**

- La tensione nel punto STC deve essere compresa nel range di tensione in cui ricade il punto di funzionamento alla massima potenza;
- La tensione nel punto di massima potenza Vpm a 50 °C deve essere maggiore della tensione MPPT minima;
- La tensione nel punto di massima potenza Vpm a -10 °C deve essere minore della tensione MPPT massima.

I risultati delle verifiche di accoppiamento, nelle condizioni più gravose ipotizzate, sono riassunti nella Tabella 2.4.

*Tabella 2.4 – Risultati verifica accoppiamento stringhe-MPPT*

| Ver. n. | Grandezza                                 | Temperatura | Valore grandezza | Valore verifica   |
|---------|-------------------------------------------|-------------|------------------|-------------------|
| 1       | Tensione a Vuoto alla minima Temperatura  | -10°C       | 1383 V           | <1500V (Moduli)   |
|         |                                           |             |                  | <1500V (Inverter) |
| 2       | Tensione di MPPT a STC                    | 25°C        | 1047 V           | 500V -1500 V      |
|         | Tensione di MPPT alla minima Temperatura  | -10°C       | 1171 V           | <1500 V           |
|         | Tensione di MPPT alla Massima Temperatura | 50 °C       | 956 V            | >500 V            |

## 2.5 Quadri BT

I quadri elettrici BT lato corrente alternata (c.a.) saranno realizzati con struttura in robusta lamiera di acciaio con un grado di protezione IP55. I quadri elettrici di BT dovranno avere le caratteristiche riportate in Tabella 2.5.

Tabella 2.5 - Dati tecnici Quadri Elettrici BT c.a.

|                                                                                                               |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tensione nominale [V]                                                                                         | 800     |
| Tensione esercizio [V]                                                                                        | 800     |
| Numero delle fasi                                                                                             | 3F + PE |
| Livello nominale di isolamento tensione di prova a freq. industriale per 1 min verso terra e tra le fasi [kV] | 2,5     |
| Frequenza nominale [Hz]                                                                                       | 50      |
| Corrente nominale sbarre principali [A]                                                                       | 3200    |

## 2.6 Quadri a 36 kV

Nell'impianto saranno dislocati quadri a 36 kV di smistamento e di connessione alle cabine di trasformazione. In ciascuna cabina di trasformazione è previsto un quadro a 36 kV con cella di protezione del trasformatore e i due sezionatori di linea entra-esci per l'interconnessione tra le cabine d'impianto.

I dati tecnici principali dei quadri di distribuzione previsti sono riportati in Tabella 2.6.

Tabella 2.6 - Dati tecnici quadri a 36 kV

|                                                    |             |
|----------------------------------------------------|-------------|
| Tensione nominale [kV]                             | 36          |
| Tensione di esercizio [kV]                         | 40,5        |
| Frequenza nominale [Hz]                            | 50          |
| Numero delle fasi                                  | 3           |
| Corrente nominale delle sbarre principali [A]      | Fino a 2500 |
| Corrente nominale max delle derivazioni [A]        | Fino a 2500 |
| Corrente nominale ammissibile di breve durata [kA] | 20          |
| Corrente nominale di picco [kA]                    | 25-31,5     |

|                                                    |         |
|----------------------------------------------------|---------|
| Potere di interruzione alla tensione nominale [kA] | 12,5/16 |
| Durata nominale del corto circuito [s]             | 1       |

## 2.7 Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente continua

I cavi utilizzati sul lato c.c. dell'impianto di produzione devono essere in grado di sopportare severe condizioni ambientali per tutta la durata in vita dell'impianto. Le condutture devono avere un isolamento doppio per ridurre i guasti a terra e i corto circuiti.

Per collegamenti in c.c. tra i moduli costituenti le stringhe FV ed il successivo collegamento tra quest'ultime e gli inverter verranno impiegati cavi unipolari del tipo H1Z2Z2-K, aventi tensione nominale di esercizio pari a 1.5 kV c.c. e tensione massima  $U_m$  pari a 1.8 kV c.c., dotati di guaina esterna di colore nero o rosso, isolati con gomma Z2, sotto guaina Z2 e realizzati con conduttori in rame flessibili stagnati. Sono inoltre cavi non propaganti fiamma, privi di alogeni e del tipo a basso sviluppo di fumi e gas tossici e corrosivi.

La sezione del cavo deve essere tale che la sua portata  $I_z$  non sia inferiore alla corrente d'impiego  $I_b$  e che la caduta di tensione ai suoi capi sia entro il 2-3% per limitare al minimo le perdite di energia per effetto Joule.

Tabella 2.7 - Specifiche tecniche cavo H1Z2Z2-K

| Formazione           | Ø indicativo conduttore | Spessore medio isolante      | Spessore medio guaina    | Ø indicativo produzione | Peso indicativo cavo | Resistenza elettrica max a 20°C    | Portata di corrente in aria libera<br>Current rating free in air |                                               |
|----------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Formation            | Approx. conductor Ø     | Average insulation thickness | Average sheath thickness | Approx. production Ø    | Approx. cable weight | Max. electrical resistance at 20°C | Singolo cavo<br>Single cable<br>60°C                             | 2 cavi adiacenti<br>2 adjacent cables<br>60°C |
| n° x mm <sup>2</sup> | mm                      | mm                           | mm                       | mm                      | kg/km                | ohm/km                             | A                                                                | A                                             |
| 1 x 1,5              | 1,5                     | 0,7                          | 0,8                      | 4,5                     | 34                   | 13,7                               | 30                                                               | 24                                            |
| 1 x 2,5              | 2,1                     | 0,7                          | 0,8                      | 5,0                     | 47                   | 8,21                               | 40                                                               | 33                                            |
| 1 x 4                | 2,5                     | 0,7                          | 0,8                      | 5,5                     | 58                   | 5,09                               | 55                                                               | 44                                            |
| 1 x 6                | 3,0                     | 0,7                          | 0,8                      | 6,0                     | 75                   | 3,39                               | 70                                                               | 70                                            |
| 1 x 10               | 4,0                     | 0,7                          | 0,8                      | 7,2                     | 113                  | 1,95                               | 95                                                               | 95                                            |
| 1 x 16               | 5,0                     | 0,7                          | 0,9                      | 8,4                     | 168                  | 1,24                               | 130                                                              | 107                                           |
| 1 x 25               | 6,2                     | 0,9                          | 1,0                      | 10,3                    | 255                  | 0,795                              | 180                                                              | 142                                           |
| 1 x 35               | 7,6                     | 0,9                          | 1,1                      | 11,5                    | 357                  | 0,565                              | 220                                                              | 176                                           |
| 1 x 50               | 8,9                     | 1,0                          | 1,2                      | 13,3                    | 509                  | 0,393                              | 280                                                              | 221                                           |
| 1 x 70               | 10,5                    | 1,1                          | 1,2                      | 15,3                    | 692                  | 0,277                              | 350                                                              | 278                                           |
| 1 x 95               | 12,5                    | 1,1                          | 1,3                      | 17,3                    | 908                  | 0,210                              | 410                                                              | 333                                           |
| 1 x 120              | 13,7                    | 1,2                          | 1,3                      | 19,2                    | 1130                 | 0,164                              | 480                                                              | 390                                           |
| 1 x 150              | 16,1                    | 1,4                          | 1,4                      | 21,3                    | 1460                 | 0,132                              | 566                                                              | 453                                           |
| 1 x 185              | 17,7                    | 1,6                          | 1,6                      | 24,4                    | 1752                 | 0,108                              | 644                                                              | 515                                           |
| 1 x 240              | 19,9                    | 1,7                          | 1,7                      | 26,6                    | 2296                 | 0,082                              | 775                                                              | 620                                           |

## 2.8 Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente alternata

I cavi utilizzati sul lato c.a. dell'impianto devono essere adatti per il trasporto di energia per installazione su murature e strutture metalliche, su passerelle, tubazioni, canalette e sistemi simili, sarà possibile la posa fissa all'interno, all'esterno e interrata (ammessa diretta e indiretta).

In particolare, i cavi utilizzati per il collegamento degli inverter alle rispettive cabine di trasformazione saranno della tipologia ARG16R16 con tensione nominale  $U_0/U$  di 600/1.000 V c.a. e tensione massima  $U_m$  di 1200 V c.a, realizzati con conduttore in alluminio, isolamento in gomma etilenpropilenica ad alto modulo di qualità G16, sotto guaina di PVC, con particolari caratteristiche di reazione al fuoco e rispondente al Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR).

La sezione del cavo deve essere tale che la sua portata  $I_z$  non sia inferiore alla corrente d'impiego  $I_b$  e che la caduta di tensione ai suoi capi sia entro il 2-3% per limitare al minimo le perdite di energia per effetto Joule.

Tabella 2.8 - Specifiche tecniche cavo ARG16R16 - 0,6/1,0 kV

| Formazione<br>Size   | Ø<br>indicativo<br>conduttore<br>Approx.<br>conduct. Ø | Spessore me-<br>dio isolante<br>Average<br>insulation<br>thickness | Spessore<br>medio guaina<br>Average<br>sheath<br>thickness | Ø<br>esterno<br>max<br>outer Ø | Peso indicati-<br>vo cavo<br>Approx.<br>cable<br>weight | Resist.<br>elettrica max<br>a 20° C<br>Max<br>electrical<br>resist.<br>at 20° C | Portata di corrente<br>Current rating<br>A |                                                      |                                        |       |     |     |
|----------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-----|-----|
|                      |                                                        |                                                                    |                                                            |                                |                                                         |                                                                                 | in aria a<br>in air<br>at<br>30° C         | in tubo in<br>aria a<br>in pipe in<br>air at<br>30°C | interrato a<br>Underground at<br>20° C |       |     |     |
| n° x mm <sup>2</sup> | mm                                                     | mm                                                                 | mm                                                         | mm                             | kg/km                                                   | Ω/km                                                                            | K=1                                        | K=1,5                                                | K=1                                    | K=1,5 |     |     |
| 1 x 16               | 4,90                                                   | 0,7                                                                | 1,4                                                        | 10,0                           | 150                                                     | 1,91                                                                            | 70                                         | 64                                                   | 98                                     | 89    | 75  | 70  |
| 1 x 25               | 6,10                                                   | 0,9                                                                | 1,4                                                        | 11,7                           | 185                                                     | 1,20                                                                            | 102                                        | 88                                                   | 119                                    | 110   | 95  | 88  |
| 1 x 35               | 7,10                                                   | 0,9                                                                | 1,4                                                        | 13,0                           | 220                                                     | 0,868                                                                           | 136                                        | 110                                                  | 141                                    | 131   | 115 | 106 |
| 1 x 50               | 8,20                                                   | 1,0                                                                | 1,4                                                        | 14,7                           | 280                                                     | 0,641                                                                           | 164                                        | 131                                                  | 167                                    | 154   | 134 | 124 |
| 1 x 70               | 9,90                                                   | 1,1                                                                | 1,4                                                        | 16,6                           | 320                                                     | 0,443                                                                           | 218                                        | 175                                                  | 204                                    | 189   | 173 | 160 |
| 1 x 95               | 11,40                                                  | 1,1                                                                | 1,5                                                        | 18,6                           | 460                                                     | 0,320                                                                           | 261                                        | 209                                                  | 245                                    | 226   | 196 | 181 |
| 1 x 120              | 13,10                                                  | 1,2                                                                | 1,5                                                        | 20,5                           | 570                                                     | 0,253                                                                           | 310                                        | 250                                                  | 277                                    | 256   | 238 | 220 |
| 1 x 150              | 14,40                                                  | 1,4                                                                | 1,6                                                        | 22,8                           | 670                                                     | 0,206                                                                           | 350                                        | 280                                                  | 313                                    | 289   | 250 | 231 |
| 1 x 185              | 16,20                                                  | 1,6                                                                | 1,6                                                        | 25,0                           | 810                                                     | 0,164                                                                           | 415                                        | 334                                                  | 350                                    | 324   | 300 | 278 |
| 1 x 240              | 18,40                                                  | 1,7                                                                | 1,7                                                        | 27,9                           | 1025                                                    | 0,125                                                                           | 490                                        | 392                                                  | 413                                    | 382   | 331 | 306 |
| 1 x 300              | 20,65                                                  | 1,8                                                                | 1,8                                                        | 30,7                           | 1205                                                    | 0,100                                                                           | 567                                        | -                                                    | 454                                    | 420   | 400 | 370 |
| 1 x 400              | 23,60                                                  | 2,0                                                                | 1,9                                                        | 35,0                           | 1660                                                    | 0,778                                                                           | 665                                        | -                                                    | 512                                    | 474   | 450 | 417 |
| 1 x 500              | 26,50                                                  | 2,2                                                                | 2,0                                                        | 38,6                           | 1940                                                    | 0,0605                                                                          | 765                                        | -                                                    | 578                                    | 535   | 505 | 468 |
| 1 x 630              | 30,20                                                  | 2,4                                                                | 2,2                                                        | 43,1                           | 2460                                                    | 0,0469                                                                          | 880                                        | -                                                    | 646                                    | 598   | 580 | 537 |

N.B. I valori di portata di corrente sono riferiti a:  
- n°3 conduttori attivi  
- profondità di posa 0,8 m per i cavi interrati  
N.B. Permissible current rating values are according to:  
- three-phase circuit  
- laying depth of 0,8 m for buried cables

N.B. K=1: resistività termica del terreno 1,0 K.m/W  
K=1,5: resistività termica del terreno 1,5 K.m/W  
N.B. K=1: thermal resistivity 1,0 K.m/W  
K=1,5: thermal resistivity 1,5 K.m/W

## **2.9 Cavi lato a.c in bassa tensione all'interno degli edifici**

All'interno degli edifici quali cabine elettriche, sale quadri etc. si utilizzeranno cavi del tipo FG16R16 - FG16OR16 - 0,6/1 kV, sono cavi per energia, isolati con gomma etilpropilenica ad alto modulo di qualità G16, sotto guaina di PVC qualità R16.

Le caratteristiche funzionali dei cavi sono: tensione nominale  $U_0/U$ : 600/1.000 V c.a. e 1.500 V c.c., tensione massima  $U_m$  1.200 V c.a. e 1.800 V c.c..

Le caratteristiche tecniche di suddetta tipologia di cavo sono: non propagazione della fiamma e dell'incendio, bassissima emissione alogeni, gas tossici e corrosivi, zero alogeni e buon comportamento alle basse temperature.

## **2.10 Cavi per la distribuzione elettrica a 36 kV**

La distribuzione elettrica d'impianto a 36 kV (anche detta distribuzione interna a 36 kV) realizza le interconnessioni delle cabine di trasformazione ed il successivo collegamento con la cabina di raccolta delle linee di sottocampo.

Invece il cavidotto a 36 kV di collegamento tra la cabina di raccolta e la futura stazione RTN, passando per la cabina elettrica utente prevista in progetto nei pressi della SE, realizza la connessione dell'impianto alla RTN e costituisce l'impianto di utenza per la connessione.

Nello specifico, i cavi per la distribuzione di impianto saranno del tipo tripolare ad elica visibile (ARG7H1RX - 36 kV), di cui si riportano in Tabella 2.9 e Tabella 2.10 rispettivamente le caratteristiche tecniche ed elettriche. Mentre la tipologia di cavo utilizzata per la realizzazione del cavidotto di collegamento dell'impianto con la RTN saranno di tipo unipolare non elicordato (ARG7H1R - 36 kV), le cui caratteristiche tecniche ed elettriche sono riportate rispettivamente nella Tabella 2.11 e Tabella 2.12.

Le principali caratteristiche delle menzionate tipologie di cavo sono di seguito elencate:

- Caratteristiche costruttive:
  - Conduttore: alluminio, formazione rigida compatta, classe 2
  - Strato semiconduttore: estruso
  - Isolamento: gomma HEPR di qualità G7 senza piombo
  - Strato semiconduttore: estruso, pelabile a freddo
  - Schermo: fili di rame rosso con nastro di rame in controspirale
  - Guaina: mescola a base di PVC, qualità Rz di colore rosso

– Caratteristiche funzionali:

- Tensione di esercizio: 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
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 12 volte il diametro del cavo
- Modalità di posa: posa interrata diretta o in aria libera in ambienti umidi o bagnati
- Norme di riferimento: HD 620; IEC 60840; CEI 20-68.



*Figura 2.1 - Cavo di tipo tripolare elicordato ARG7H1RX e cavo unipolare ARG7H1R*

Tabella 2.9 – Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1RX - 36 kV

| Formazione           | Ø<br>indicativo<br>conduttore | Spessore<br>medio<br>isolante | Spessore<br>medio<br>guaina | Ø<br>indicativo<br>anima | Ø<br>circoscritto<br>indicativo | Peso<br>indicativo<br>cavo | Portata di corrente<br>A |                         |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                      |                               |                               |                             |                          |                                 |                            | in aria                  | interrato <sup>7)</sup> |
| n° x mm <sup>2</sup> | mm                            | mm                            | mm                          | mm                       | mm                              | kg/km                      | A                        | A                       |
| 3 x 1 x 35           | 7,0                           | 8,0                           | 1,9                         | 33,5                     | 72,0                            | 3150                       | 144                      | 142                     |
| 3 x 1 x 50           | 8,1                           | 8,0                           | 2,0                         | 34,1                     | 73,3                            | 3480                       | 174                      | 168                     |
| 3 x 1 x 70           | 9,7                           | 8,0                           | 2,0                         | 36,2                     | 77,8                            | 3880                       | 218                      | 207                     |
| 3 x 1 x 95           | 11,4                          | 8,0                           | 2,1                         | 38,2                     | 82,1                            | 4355                       | 266                      | 247                     |
| 3 x 1 x 120          | 12,9                          | 8,0                           | 2,2                         | 40,0                     | 86,0                            | 5020                       | 309                      | 281                     |
| 3 x 1 x 150          | 14,3                          | 8,0                           | 2,2                         | 41,0                     | 88,2                            | 5385                       | 352                      | 318                     |
| 3 x 1 x 185          | 16,0                          | 8,0                           | 2,3                         | 43,1                     | 92,7                            | 6040                       | 406                      | 361                     |
| 3 x 1 x 240          | 18,3                          | 8,0                           | 2,4                         | 45,0                     | 96,8                            | 6910                       | 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

Tabella 2.10 – Caratteristiche elettriche cavi tipo ARG7H1RX - 36 kV

| Formazione           | Resistenza<br>elettrica a 20°C | Resistenza apparente<br>a 90°C e 50Hz | Reattanza di fase | Capacità a 50Hz |
|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------|
| n° x mm <sup>2</sup> | Ω/Km                           | Ω/Km                                  | Ω/Km              | μF/km           |
| 3 x 1 x 35           | 0,868                          | 1,113                                 | 0,14              | 0,17            |
| 3 x 1 x 50           | 0,641                          | 0,822                                 | 0,13              | 0,18            |
| 3 x 1 x 70           | 0,443                          | 0,568                                 | 0,13              | 0,21            |
| 3 x 1 x 95           | 0,320                          | 0,411                                 | 0,12              | 0,23            |
| 3 x 1 x 120          | 0,253                          | 0,325                                 | 0,12              | 0,25            |
| 3 x 1 x 150          | 0,206                          | 0,265                                 | 0,11              | 0,27            |
| 3 x 1 x 185          | 0,164                          | 0,211                                 | 0,11              | 0,29            |
| 3 x 1 x 240          | 0,125                          | 0,161                                 | 0,11              | 0,32            |

Tabella 2.11 - Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1R - 36 kV

| Formazione           | Ø indicativo conduttore | Spessore medio isolante | Ø esterno max | Peso indicativo cavo | Portate di corrente A |          |             |          |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|----------------------|-----------------------|----------|-------------|----------|
|                      |                         |                         |               |                      | in aria               |          | interrato*  |          |
| n° x mm <sup>2</sup> | mm                      | mm                      | mm            | kg/km                | a trifoglio           | in piano | a trifoglio | in piano |
| 1 x 35               | 7,0                     | 8,0                     | 33,5          | 1045                 | 144                   | 152      | 142         | 149      |
| 1 x 50               | 8,1                     | 8,0                     | 34,1          | 1155                 | 174                   | 183      | 168         | 177      |
| 1 x 70               | 9,7                     | 8,0                     | 36,2          | 1545                 | 218                   | 229      | 207         | 218      |
| 1 x 95               | 11,4                    | 8,0                     | 38,2          | 1290                 | 266                   | 280      | 247         | 260      |
| 1 x 120              | 12,9                    | 8,0                     | 40,0          | 1670                 | 309                   | 325      | 281         | 296      |
| 1 x 150              | 14,3                    | 8,0                     | 41,0          | 1790                 | 352                   | 371      | 318         | 335      |
| 1 x 185              | 16,0                    | 8,0                     | 43,1          | 2005                 | 406                   | 427      | 361         | 380      |
| 1 x 240              | 18,3                    | 8,0                     | 45,0          | 2300                 | 483                   | 508      | 418         | 440      |
| 1 x 300              | 21,0                    | 8,0                     | 47,0          | 2570                 | 547                   | 576      | 472         | 497      |
| 1 x 400              | 23,6                    | 8,0                     | 51,1          | 3145                 | 640                   | 674      | 543         | 572      |
| 1 x 500              | 26,5                    | 8,0                     | 53,0          | 3555                 | 740                   | 779      | 621         | 654      |
| 1 x 630              | 30,1                    | 8,0                     | 60,2          | 4195                 | 862                   | 907      | 706         | 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

Tabella 2.12 - Caratteristiche elettriche cavi tipo ARG7H1R - 36 kV

| Formazione           | Resistenza elettrica a 20°C | Resistenza apparente a 90°C e 50Hz |          | Reattanza di fase |          | Capacità a 50Hz |
|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------|-------------------|----------|-----------------|
|                      |                             | Ω/km                               |          | Ω/Km              |          |                 |
| n° x mm <sup>2</sup> | Ω/Km                        | a trifoglio                        | in piano | a trifoglio       | in piano | μF/km           |
| 1 x 35               | 0,868                       | 1,113                              | 1,113    | 0,16              | 0,21     | 0,15            |
| 1 x 50               | 0,641                       | 0,822                              | 0,822    | 0,15              | 0,20     | 0,15            |
| 1 x 70               | 0,443                       | 0,568                              | 0,568    | 0,14              | 0,20     | 0,16            |
| 1 x 95               | 0,320                       | 0,411                              | 0,411    | 0,13              | 0,19     | 0,18            |
| 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              | 0,18     | 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              | 0,0605                      | 0,0801                             | 0,0794   | 0,10              | 0,16     | 0,32            |
| 1 x 630              | 0,0469                      | 0,0635                             | 0,0625   | 0,099             | 0,16     | 0,36            |

### 2.10.1 Modalità posa cavidotti

La tipologia di posa prevista è quella a trifoglio con cavi direttamente interrati in trincea secondo quanto schematizzato in Figura 2.2 e Figura 2.3 e con quanto riportato nell'elaborato grafico IT/FTV/F-SASSA/PDF/E/PAR/045-a.

Le terre saranno interrate ad una profondità media (letto di posa) di 1,1 /1,2 m dal piano di calpestio, valore che potrebbe subire variazioni in relazione al tipo di terreno interessato ma comunque con una quota sempre maggiore o uguale ad 1,0 m all'estradosso. La larghezza dello scavo della trincea è limitata entro 1,0 m, salvo diverse necessità riscontrabili in caso di terreni sabbiosi o con bassa consistenza.

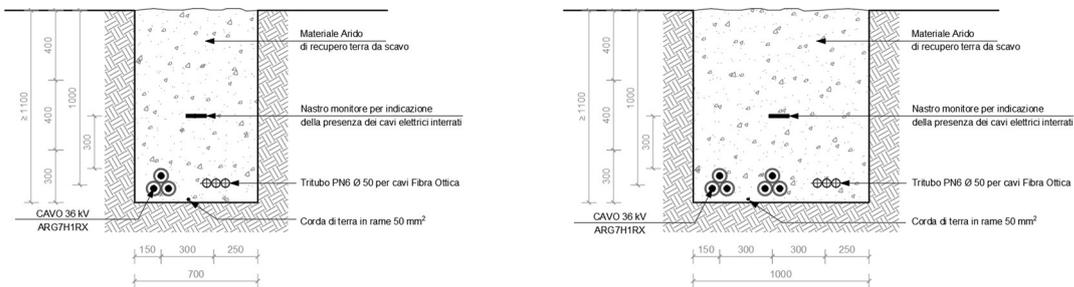


Figura 2.2 – Tipico modalità di posa distribuzione interna a 36 kV

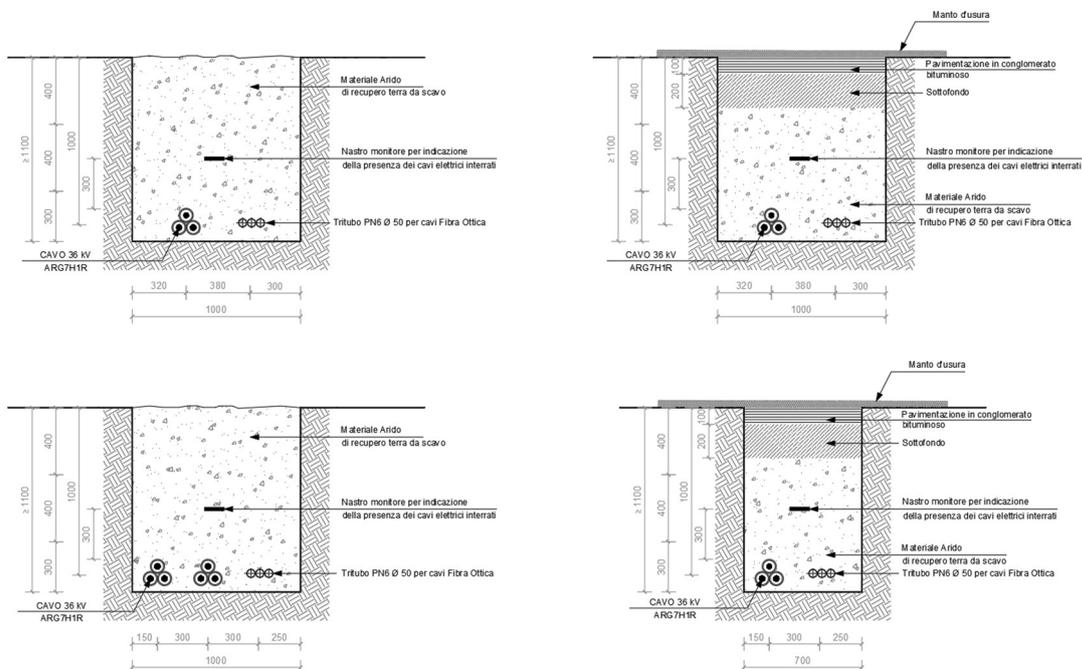


Figura 2.3 - Tipico modalità di posa cavidotto a 36 kV di collegamento impianto FV – SE RTN

Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario, verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata o con cemento "mortar". Le condutture saranno protette e segnalate superiormente da una rete in PVC e da un nastro monitore e, ove necessario, anche da una lastra di protezione in cemento armato dello spessore di 6 cm. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto e le aree interessate saranno risistemate nella condizione preesistente. Inoltre, all'interno dello stesso scavo, potrà essere posato un cavo di fibra ottica per la trasmissione dati.

Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera od in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici.

Per eventuali incroci e parallelismi con altri servizi (cavi di telecomunicazione, tubazioni etc.), saranno rispettate le distanze previste dalle norme, tenendo conto delle prescrizioni che saranno dettate dagli Enti proprietari delle opere interessate e in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17.

### 2.10.2 Interferenze idrografiche

Nei tratti di attraversamento della viabilità principale ad opera del cavidotto a 36 kV, al fine di escludere qualunque interferenza con le ordinarie condizioni di utilizzo della strada, il progetto ha previsto il passaggio dei cavi in sottovia previa trivellazione orizzontale controllata (o per brevità "T.O.C") che consente di installare per mezzo della perforazione orizzontale guidata linee di servizio sotto ostacoli quali strade, fiumi e torrenti, edifici e acquedotti, con scarso o nessun impatto sulla superficie.

In corrispondenza delle interferenze dei cavidotti con gli elementi del reticolo idrografico si prevede che tra il fondo dell'alveo e l'estradosso della condotta sia assicurato almeno un metro di ricoprimento, in accordo con i disposti dell'art. 21 comma 2 lettera C delle NTA del PAI; inoltre, eventuali pozzetti di testata all'attraversamento in subalveo, in destra e/o sinistra idraulica, saranno posizionati esternamente all'alveo in accordo con le disposizioni del R.D. 523/1904.

#### 2.10.2.1 Trivellazione orizzontale controllata

La TOC è una tecnica di scavo idonea alla installazione di nuove condotte senza effettuare scavi a cielo aperto e, quindi, senza interferire con il reticolo idrografico neanche in fase di cantiere.

La caratteristica essenziale di questa tecnologia è quella di permettere l'esecuzione di fori nel sottosuolo che possono avere andamento curvilineo spaziale con lunghezze di tiro che

arrivano anche a 2000 m.

I vantaggi sono dunque molteplici:

- Abbattimento dei costi;
- Tempistiche brevi per l'esecuzione dei lavori rispetto alle altre tecniche tradizionali;
- Non alterazione delle superfici e delle opere preesistenti;
- Riduzione inquinamento atmosferico e acustico.

Al fine di effettuare perforazioni sotterranee per la posa di infrastrutture, è generalmente consigliabile effettuare una indagine radar del sottosuolo per verificare la natura del terreno nonché la presenza di sottoservizi.

Da un punto di vista realizzativo la TOC comprende tre fasi:

- a) perforazione pilota: normalmente di piccolo diametro (100-150 mm) si realizza mediante una batteria di perforazione che viene manovrata attraverso apposito sistema di guida; la perforazione pilota può seguire percorsi plano-altimetrici preassegnati che possono contenere anche tratti curvilinei;
- b) alesatura: una volta completato il foro pilota con l'uscita dal terreno dell'utensile viene montato, in testa alla batteria di aste di acciaio, l'utensile per l'allargamento del foro pilota (alesatore), avente un diametro maggiore a quello del foro pilota, e il tutto viene tirato a ritroso verso l'impianto di trivellazione (entry point). Durante il tragitto di rientro l'alesatore allarga il foro pilota. Questo processo può essere ripetuto più volte fino al raggiungimento del diametro richiesto. La sequenza dei passaggi di alesatura segue precisi criteri che dipendono dal tipo di terreno da attraversare e dalle sue caratteristiche geo-litologiche;
- c) tiro (pullback) della tubazione o del cavo del foro (detto anche "varo"): completata l'ultima fase di alesatura, la tubazione da installare viene assemblata fuori terra e collegata, con un'opportuna testa di tiro, alla batteria di aste di perforazione, con interposizione di un giunto girevole reggispinta (detto girevole o swivel) la cui funzione è quella di trasmettere alla tubazione in fase di varo le trazioni ma non le coppie e quindi le rotazioni. Raggiunto il punto di entrata la posa della tubazione si può considerare terminata.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici IT/FTV/F-SASSA/PDF/E/PLN/041-a e 042\_IT\_FTV\_F-SASSA\_PDF\_E\_PAR\_042-a.

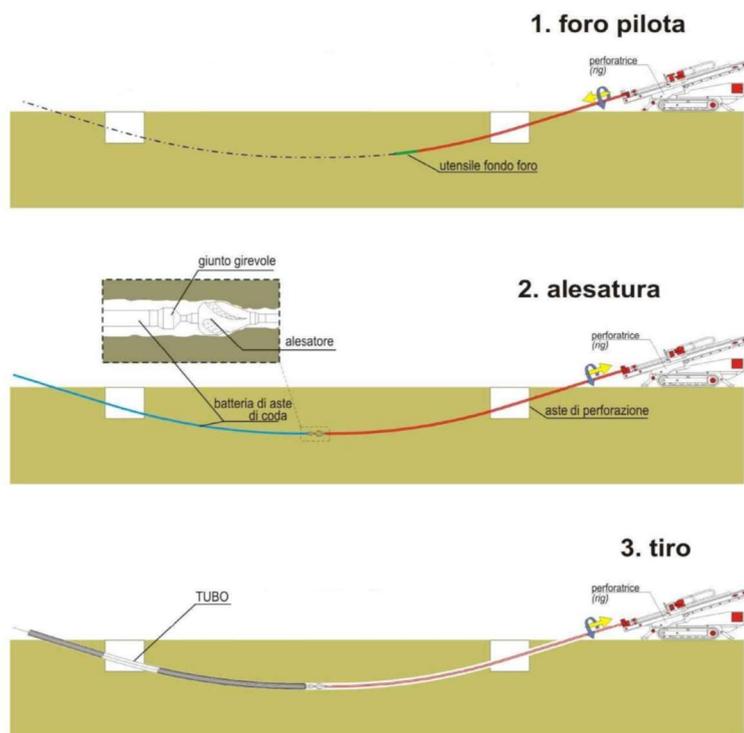


Figura 2.4 - Fasi Trivellazione Orizzontale Controllata

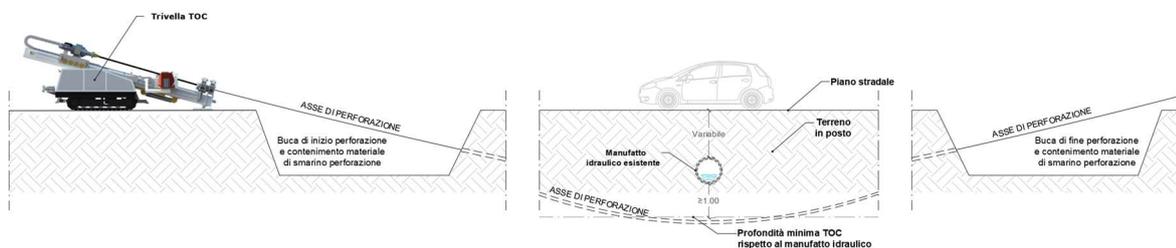


Figura 2.5 - Tipologico rappresentativo intervento - sezione longitudinale

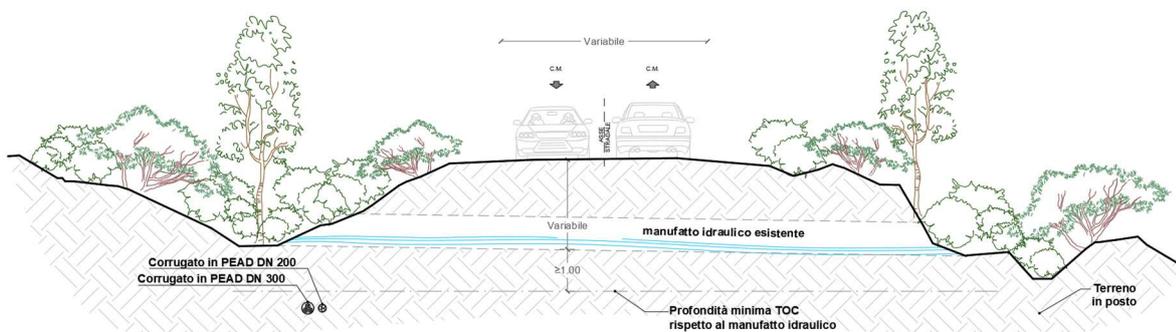


Figura 2.6 - Tipologico rappresentativo intervento - sezione trasversale

### 2.10.3 Incroci tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione

Negli incroci con i cavi di telecomunicazione (TLC) il cavo elettrico, di regola, deve essere situato inferiormente rispetto al cavo TLC e ad una distanza non inferiore ai 0,30 m. Inoltre il cavo posto superiormente deve essere protetto, per una lunghezza non inferiore ad 1 m, mediante un dispositivo di protezione. Qualora 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 superiormente per il cavo.

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

### 2.10.4 Parallelismo tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione

Nei parallelismi con cavi TLC i cavi elettrici devono essere posati, di norma, alla maggiore distanza possibile fra loro e, qualora la posa sia prevista lungo la stessa strada, possibilmente ai lati opposti della strada. Dove per giustificate esigenze tecniche non fosse possibile attuare quanto sopra è ammesso posare i cavi in vicinanza purché sia mantenuta tra i due cavi una distanza minima, in proiezione sul piano orizzontale, 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 PVC o fibrocemento, rivestite esternamente con uno spessore di calcestruzzo non inferiore a 10 cm.

I predetti dispositivi possono essere omessi sul cavo posato alla maggiore profondità 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 rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza la possibilità di effettuare scavi.

### 2.10.5 Parallelismo ed incroci tra cavi elettrici e tubazioni o strutture metalliche interrato

La distanza in proiezione orizzontale tra cavi elettrici e tubazioni metalliche interrato parallelamente ad esse non deve essere inferiore a 0,30 m.

Si può tuttavia derogare dalla prescrizione suddetta previo accordo tra gli esercenti quando la differenza di quota fra le superfici esterne delle strutture interessate:

1. è superiore a 0,50 m;
2. la differenza è compresa tra 0,30 m e 0,50 m, 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 tubi convoglianti fluidi infiammabili; per le tubazioni per altro tipo di posa è invece consentito, previo accordo tra gli Enti interessati, purché il cavo elettrico e la tubazione non siano posti a diretto contatto fra loro.

Le superfici esterne di cavi d'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 elettrici e di tubazioni metalliche o fra quelle di eventuali loro manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m. Tale distanza può essere ridotta fino ad un minimo di 0,30 m, quando una delle strutture di incrocio è contenuta in manufatto di protezione non metallico, prolungato per almeno 0,30 m per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura oppure quando fra le strutture che si incrociano si venga interposto un elemento separatore non metallico (ad 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 m di larghezza ad essa periferica.

Le distanze suddette possono ulteriormente essere ridotte, previo accordo fra gli Enti proprietari o Concessionari, se entrambe le strutture sono contenute in un 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.

Per le interferenze con eventuali altre infrastrutture e/o con gli elementi idrici si rimanda agli elaborati progettuali di dettaglio (IT/FTV/F-SASSA/PDF/E/PAR/042-a).

## 2.11 Cavo fibra ottica

All'interno dello stesso scavo delle linee a 36 kV dovrà essere installato un cavo ottico dielettrico costituito da n. 24 fibre ottiche per posa in tubazione rispondente alla tabella di unificazione Enel DC 4677.

In alternativa a quanto prescritto nella tabella contenuta nella DC 4677, possono anche essere installati cavi ottici le cui caratteristiche costruttive prevedano l'alloggiamento delle fibre ottiche costituenti il cavo in tubetti anziché in cave aventi caratteristiche dimensionali e fisiche dei cavi; le caratteristiche dimensionali, trasmissive e costruttive delle singole fibre ottiche devono comunque essere conformi a quanto previsto dalla DC 4677 (Figura 2.7).

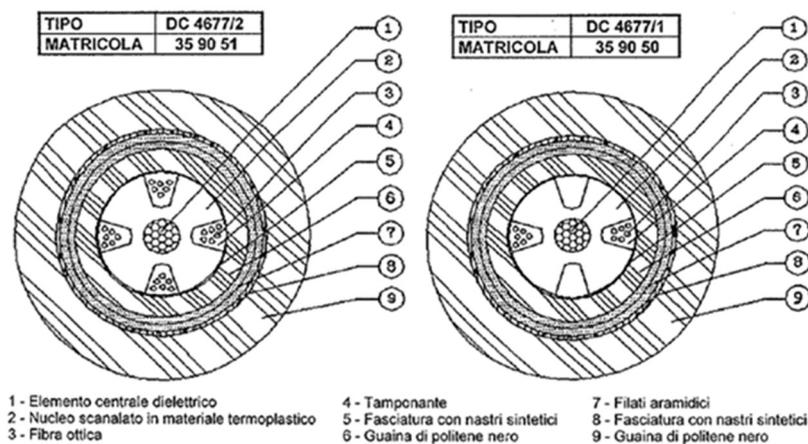


Figura 2.7 – Cavo fibra ottica secondo specifica DC 4677

Il cavo in fibra ottica sarà posato in canalizzazione realizzata sul tracciato del cavo elettrico mediante l'impiego di tritubo in PEHD e, dove necessario, di pozzetti in cls. per consentire il tiro ed il cambio di direzione del cavo e l'alloggiamento dei giunti e della ricchezza di scorta del cavo.

Le suddette prescrizioni permetteranno al gestore della rete nazionale di installare adeguati strumenti che consentano la misurazione in tempo reale e la visibilità, da parte del sistema di controllo della rete, dell'energia immessa dall'impianto, nonché l'interrompibilità istantanea delle immissioni di produzione.

In alternativa a quanto prescritto nella tabella contenuta nella DC 4677, possono anche essere presi in considerazione cavi ottici le cui caratteristiche costruttive prevedano l'alloggiamento delle fibre ottiche costituenti il cavo in tubetti anziché in cave.

Resta inteso che le caratteristiche dimensionali e fisiche dei cavi, nonché le caratteristiche

dimensionali, trasmissive e costruttive delle singole fibre ottiche devono comunque essere conformi a quanto previsto dalla DC 4677.

## 2.12 Dimensionamento dei circuiti BT e 36 kV

I cavi elettrici in corrente continua e in corrente alternata, ossia dalla connessione di stringa agli inverter passando per i quadri a 36 kV fino alla futura Stazione di Terna, sono stati dimensionati in modo tale che risultino soddisfatte le seguenti relazioni:

$$I_b \leq I_z$$

$$\Delta V\% \leq 2\%$$

dove:

- $I_b$  è la corrente di impiego del cavo valutata con fattore di potenza ( $\cos\phi$ ) pari a 0,94;
- $I_z$  è la portata del cavo calcolata tenendo conto del tipo di cavo e delle condizioni di posa:

$$I_b \leq I_{z0} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

- $I_{z0}$  è la portata del cavo in condizioni standard;
  - $k_1$  è fattore di correzione per temperature ambiente diverse da 20°C;
  - $k_2$  è il fattore di correzione per pose ravvicinate;
  - $k_3$  è il fattore di correzione relativo alla resistività termica del terreno;
  - $k_4$  è il fattore di correzione legato alla profondità di posa considerata;
- $\Delta V\%$  è la caduta di tensione percentuale nell'impianto.

I valori di dimensionamento delle tratte di cavidotto sono riassunti in Tabella 2.13 dove sono riportate le sezioni per fase e le portate dei cavi impiegati nelle tratte principali di distribuzione elettrica. Ai fini dei calcoli di seguito riportati si sono considerati i seguenti fattori di correzione  $k_i$ :

- $k_1 = 1$  considerando una temperatura del terreno alla profondità di 1 m pari a 20°C;
- $k_2 = 0,86$  valido per n.2 terne di cavi posate ad un'interdistanza di 25 cm (condizione di posa progettuale più frequente nell'impianto);
- $k_3 = 0,96$  nell'ipotesi che la resistività termica del terreno sia pari a 1,0 °Km/W;

- $k_4 = 0,96$  in relazione alla profondità di posa prevista a circa 1,1/1,2 m dal piano di calpestio.

Per il dimensionamento dei cavi dei circuiti in corrente continua si è valutata la corrente d'impiego  $I_b$  pari alla corrente di corto circuito  $I_{sc}$  erogata dal modulo, con una maggiorazione del 25% per tener conto di valori di irraggiamento superiori rispetto alle condizioni standard di test (STC):

$$I_b = 1,25 \cdot I_{sc}$$

Mentre in Tabella 2.14 sono riportate le cadute di tensione nelle varie tratte di circuito in corrente alternata valutate secondo la seguente espressione:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100 = \frac{K \cdot I_b \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi)}{V} 100$$

in cui:

- $K=1$  per linee trifase a.c.,  $K=2$  per linee in c.c.
- $R$  è la resistenza elettrica del cavo considerato espressa in ohm [ $\Omega$ ];
- $V$  è la tensione nel tratto di circuito considerato.

Infine, nella Tabella 2.15 vengono riportate le cadute di tensione per le tratte di cavo in BT per le quali viene assunta una lunghezza massima per le tratte:

- stringa-inverter pari a 200 m realizzata con cavi di tipo H1Z2Z2-K di formazione 2x10 mm<sup>2</sup>;
- inverter-cabina di trasformazione di 300 m costituita da cavi della tipologia ARG16R16 con formazione 3x1x150 mm<sup>2</sup>.

Tabella 2.13 – Sezioni per fase e portate dei cavi delle tratte principali

| Tratta                             | Potenza [kW] | I <sub>b</sub> [A] | S [mm <sup>2</sup> ] | I <sub>z</sub> [A] |
|------------------------------------|--------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| <b>CONNESSIONE CAMPO FV - RTN</b>  |              |                    |                      |                    |
| SE RTN - Cabina Utente             | 2,50E+04     | 401                | 3x1x630              | 560                |
| Cabina Utente - Cabina di raccolta | 2,50E+04     | 401                | 3x1x630              | 560                |
| <b>SOTTOCAMPO 1</b>                |              |                    |                      |                    |
| Cabina di raccolta - TC04          | 1,49E+04     | 238                | 3x1x185              | 286                |
| TC04 - TC03                        | 1,13E+04     | 181                | 3x1x120              | 223                |
| TC03 - TC02                        | 7,65E+03     | 123                | 3x1x70               | 165                |
| TC02 - TC01                        | 3,83E+03     | 61                 | 3x1x70               | 165                |
| <b>SOTTOCAMPO 2</b>                |              |                    |                      |                    |
| Cabina di raccolta - TC07          | 1,01E+04     | 163                | 3x1x120              | 223                |
| TC07 - TC06                        | 6,53E+03     | 105                | 3x1x70               | 165                |
| TC06 - TC05                        | 2,93E+03     | 47                 | 3x1x70               | 165                |

Tabella 2.14 – Cadute di tensione delle tratte principali

| Tratta                             | Potenza [kW] | S [mm <sup>2</sup> ] | r [Ω/km] | x [Ω/km] | V [kV] | L [km] | ΔV [V] | ΔV [%] |
|------------------------------------|--------------|----------------------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|
| <b>CONNESSIONE CAMPO FV - RTN</b>  |              |                      |          |          |        |        |        |        |
| SE RTN - Cabina Utente             | 2,50E+04     | 3x1x630              | 0,05     | 0,09     | 36     | 0,35   | 10,48  | 0,03   |
| Cabina Utente - Cabina di raccolta | 2,50E+04     | 3x1x630              | 0,05     | 0,09     | 36     | 15,90  | 476,20 | 1,32   |
| <b>SOTTOCAMPO 1</b>                |              |                      |          |          |        |        |        |        |
| Cabina di raccolta - TC04          | 1,49E+04     | 3x1x185              | 0,16     | 0,11     | 36     | 0,35   | 15,67  | 0,04   |
| TC04 - TC03                        | 1,13E+04     | 3x1x120              | 0,25     | 0,12     | 36     | 0,67   | 33,38  | 0,09   |
| TC03 - TC02                        | 7,65E+03     | 3x1x70               | 0,44     | 0,13     | 36     | 0,40   | 22,49  | 0,06   |
| TC02 - TC01                        | 3,83E+03     | 3x1x70               | 0,44     | 0,13     | 36     | 0,56   | 15,75  | 0,04   |
| <b>SOTTOCAMPO 2</b>                |              |                      |          |          |        |        |        |        |
| Cabina di raccolta - TC07          | 1,01E+04     | 3x1x120              | 0,25     | 0,12     | 36     | 0,17   | 7,62   | 0,02   |
| TC07 - TC06                        | 6,53E+03     | 3x1x70               | 0,44     | 0,13     | 36     | 0,77   | 36,93  | 0,10   |
| TC06 - TC05                        | 2,93E+03     | 3x1x70               | 0,44     | 0,13     | 36     | 0,52   | 11,18  | 0,03   |

Tabella 2.15 – Cadute di tensione delle tratte tipo BT

| Tratta BT          | I <sub>b</sub> [A] | S [mm <sup>2</sup> ] | I <sub>z</sub> [A] | R [Ω/km] | V [kV] | L [km] | ΔV [V] | ΔV [%] |
|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------|--------|--------|--------|--------|
| Stringa - Inverter | 22,9               | 2 x 10               | 95                 | 1,95     | 1,26   | 0,20   | 8,93   | 0,71   |
| Inverter - Cabina  | 172,9              | 3x(1x150)            | 313                | 0,21     | 0,80   | 0,30   | 10,90  | 0,79   |

### **2.13 Protezione dei circuiti a 36 kV**

Le unità di protezione elettrica dei circuiti a 36 kV saranno basate su tecnologia a microprocessore e adatte a garantire elevata affidabilità e disponibilità di funzionamento.

Le unità di protezione saranno di tipo espandibile e potranno essere dotate, anche in un secondo tempo, di ulteriori accessori che permetteranno di realizzare:

- automatismi di richiusura per linee a 36 kV;
- gestione dei segnali dai trasformatori;
- acquisizione dei valori di temperatura da sonde termiche;
- emissione di una misura analogica associabile ad una delle grandezze misurate dall'unità stessa (correnti, temperature, ecc.).

La regolazione delle soglie avverrà direttamente in valori primari nelle relative grandezze espresse in corrente o tempo rendendo più semplice l'utilizzo e la consultazione all'operatore.

Saranno implementate le seguenti protezioni:

- massima tensione concatenata (59 - senza ritardo intenzionale);
- massima tensione omopolare (59N - ritardata);
- minima tensione concatenata (27- ritardo tipico: 300 ms);
- massima frequenza (81> senza ritardo intenzionale);
- minima frequenza (81< senza ritardo intenzionale);
- protezione contro la perdita di rete con PLC di richiusura DDI con rete presente;
- protezione direzionale di terra 67N;
- massima corrente 50/51;
- massima corrente di terra 50N/51N;
- sequenza negativa / squilibrio 46;
- mancata apertura interruttore 50BF.

I valori di taratura delle diverse protezioni saranno definiti in fase di progettazione esecutiva.

## 2.14 Protezione dei circuiti BT

### 2.14.1 Protezione contro i sovraccarichi

La protezione dei sovraccarichi è effettuata secondo la norma CEI 64-8/4 rispettando le condizioni seguenti:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z$$

Dove:

- $I_b$  = corrente di impiego del circuito
- $I_n$  = corrente nominale del dispositivo di protezione
- $I_z$  = portata in regime permanente della conduttura
- $I_f$  = corrente di funzionamento del dispositivo di protezione

La protezione contro i sovraccarichi può essere omessa sui cavi delle stringhe FV e dei moduli FV poiché la portata dei cavi è superiore a 1,25 volte  $I_{SC}$  (712.433.1 della Norma CEI 64-8/7), dove  $I_{SC}$  è la corrente di cortocircuito del generatore fotovoltaico a STC.

La protezione contro i sovraccarichi può essere omessa sul cavo principale FV poiché la portata è superiore a 1,25 volte il valore  $I_{SC}$  del generatore FV (712.433.2 della Norma CEI 64-8/7).

### 2.14.2 Protezione contro i cortocircuiti

La protezione dei cortocircuiti sarà effettuata secondo la norma CEI 64-8/4 rispettando le condizioni seguenti:

$$I_{cc,max} \leq P.d.I.$$

$$I^2 t \leq K^2 S^2$$

Dove:

- $I_{cc,max}$  = corrente di cortocircuito massima
- P.d.I. = potere di interruzione apparecchiatura di protezione
- $I^2 t$  = integrale di Joule della corrente di cortocircuito presunta (valore letto sulle curve delle apparecchiature di protezione)
- $K$  = coefficiente della conduttura utilizzata pari a:
  - 115 per cavi isolati in PVC;

- 135 per cavi isolati in gomma naturale e butilica;
  - 143 per cavi isolati in gomma etilenpropilenica e polietilene reticolato.
- S = sezione della conduttura.

### **2.15 Contributo alle correnti di corto circuito al PCC**

Il calcolo del contributo dell'impianto alla corrente di corto circuito al punto di consegna (*Point of Common Coupling - PCC*) è fatto considerando la situazione più gravosa valutando il contributo al corto circuito nei morsetti del generatore fotovoltaico.

Il contributo alla corrente di corto circuito degli inverter lato c.a. è in genere di valore molto inferiore rispetto al contributo della rete. Infatti, gli inverter sono dotati di dispositivi di protezione interna che limitano ad un valore dell'ordine di circa due volte la propria corrente nominale e sono in grado di portare in stand-by gli inverter in pochi decimi di secondo.

Il contributo al corto circuito sul lato c.a. può essere pertanto calcolato considerando il contributo alla corrente di cortocircuito dei singoli inverter, considerato pari alla somma del doppio della corrente nominale degli inverter. Tale valore di corrente di corto circuito, riportata al valore di tensione del punto di connessione, risulta pari a 802 A.

### 3 NORME E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO

Di seguito è riportato un elenco, certamente non esaustivo, dei principali riferimenti di legge e delle norme tecniche applicabili per la progettazione e la realizzazione dell'intervento in esame. L'elenco normativo è riportato soltanto a titolo di promemoria informativo, per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, andranno comunque applicate.

Infine, qualora le sopra elencate norme tecniche siano modificate o aggiornate, si dovranno applicare le norme più recenti.

#### 3.1 Norme tecniche

- CEI 11-17 - Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica. Linee in cavo;
- CEI EN 61936-1 (CEI 99-2): Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a. - Parte 1: Prescrizioni comuni;
- CEI EN 50522 -2: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- CEI EN 61000: Compatibilità elettromagnetica (EMC);
- CEI EN 62305: Protezioni contro i fulmini;
- CEI 81-29: Linee Guida per l'applicazione delle Norme CEI EN 62305;
- CEI EN IEC 62858 (CEI 81-31) "Densità di fulminazione. Reti di localizzazione fulmini (LLS) – Principi generali";
- CEI 20-89 - Guida all'uso e all'installazione dei cavi elettrici e degli accessori di MT;
- CEI 64-8 - Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.

#### 3.2 Norme del gestore della rete di trasmissione

- Codice di rete Terna - Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete;
- Guida Tecnica Terna. Allegato A68 CENTRALI FOTOVOLTAICHE. Condizioni generali di connessione alle reti AT. Sistemi di protezione regolazione e controllo. Marzo 2023. Aggiornamento per schemi di connessione a 36 kV e revisione generale.