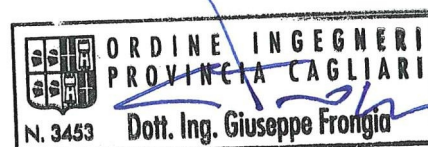


COMMITTENTE IBERDROLA RENEVABLES ITALIA S.P.A. Piazzale dell'industria, 40 – 0144 Roma (RM)	  iat CONSULENZA E PROGETTI	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
ELABORAZIONI I.A.T. Consulenza e progetti S.r.l. con socio unico – Via Michele Giua s.n.c. ZI CACIP, 09122 Cagliari Tel./Fax +39.070.658297 Web www.iatprogetti.it		PAGINA 1 di 29



IMPIANTO AGRIVOLTAICO “MERCURIA”

- COMUNE DI BENETUTTI (SS) -




OGGETTO PROGETTO DEFINITIVO	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO
PROGETTAZIONE I.A.T. CONSULENZA E PROGETTI S.R.L. ING. GIUSEPPE FRONGIA	Gruppo di lavoro: Ing. Giuseppe Frongia (coordinatore e responsabile) Ing. Marianna Barbarino Ing. Enrica Batzella Dott. Pian. Terr. Andrea Cappai Dott. Agronomo Federico Corona Ing. Paolo Desogus Pian. Terr. Veronica Fais Ing. Antonio Dedoni (Rumore) Dott. Geol. Mauro Pompei Dott. Fabio Mancosu Dott. Nat. Maurizio Medda (Fauna) Ing. Gianluca Melis Dott. Fabrizio Murru Dott. Nat. Alessio Musu Pian. Terr. Eleonora Re Ing. Elisa Roych Dott.ssa Anna Luisa Sanna (Archeologia) Agr. Dott. Nat. Fabio Schirru (Flora e vegetazione)

Cod. pratica 2023/0411

Nome File IBER-AVB-RP2_Calcoli preliminari dimensionamento elettrico.docx


0	15/02/2024	Emissione	FM	GF	IBER
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEG.	CONTR.	APPR.

Disegni, calcoli, specifiche e tutte le altre informazioni contenute nel presente documento sono di proprietà della I.A.T. Consulenza e progetti s.r.l. Al ricevimento di questo documento la stessa diffida pertanto di riprodurlo, in tutto o in parte, e di rivelarne il contenuto in assenza di esplicita autorizzazione.

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 2 di 29

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	CALCOLI ELETTRICI	5
2.2	Caratteristiche moduli fotovoltaici	5
2.3	Caratteristiche inverter	6
2.4	Potenza nominale del generatore fotovoltaico	6
	<i>2.4.1 Accoppiamento stringhe-inverter</i>	<i>8</i>
2.5	Quadri BT	10
	<i>2.5.1 Quadri di campo e di parallelo stringhe c.c.</i>	<i>10</i>
	<i>2.5.2 Quadri elettrici BT lato c.a.</i>	<i>10</i>
2.6	Quadri MT	10
2.7	Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente continua	11
2.8	Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente alternata	11
2.9	Cavi lato a.c in bassa tensione all'interno degli edifici	12
2.10	Cavi per la distribuzione elettrica in MT	12
	<i>2.10.1 Modalità posa cavidotti</i>	<i>16</i>
	<i>2.10.1.1 Incroci tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione</i>	<i>17</i>
	<i>2.10.1.2 Parallelismo tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione</i>	<i>17</i>
	<i>2.10.1.3 Parallelismo ed incroci tra cavi elettrici e tubazioni o strutture metalliche interrate</i>	<i>18</i>
2.11	Cavidotto AT	19
	<i>2.11.1 Modalità di posa cavo AT</i>	<i>21</i>
2.12	Cavo fibra ottica	21
2.13	Dimensionamento dei circuiti BT e MT	23
2.14	Protezione dei circuiti MT	26
2.15	Protezione dei circuiti BT	26
2.16	Contributo alle correnti di corto circuito al PCC	27
3	NORME E PRESCRIZIONI DI RIFERIMENTO	29
3.1	Norme tecniche	29
3.2	Norme del gestore della rete di trasmissione	29

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 3 di 29

1 INTRODUZIONE

La Iberdrola Renovables Italia S.p.a, con sede in Piazzale dell'industria n. 40 – 0144 Roma (RM), intende realizzare un impianto agrivoltaico con moduli fotovoltaici installati su inseguitori solari monoassiali ubicato in Comune di Benetutti (Città Metropolitana di Sassari), denominato "Mercuria".

La centrale solare in progetto avrà una potenza nominale AC di 31,25 MW, ottenuta come somma delle potenze nominali dei singoli inverter, e sarà costituita da n. 749 inseguitori monoassiali (di cui n. 124 da 2x14 moduli FV, n. 110 da 2x28 moduli FV e n.515 da 2x42 moduli FV) per una potenza lato DC pari a 37,024 MW_p.

Il preventivo di connessione con codice pratica n. 202202123 prevede che l'impianto venga collegato in antenna sulla sezione a 150 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) di smistamento della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "Bono-Buddusò" previo potenziamento/rifacimento della linea RTN a 150 kV "Chilivani-Siniscola 2" e realizzazione di un nuovo elettrodotto RTN a 150 kV tra la SE di Santa Teresa e la nuova SE Buddusò.

La progettazione delle opere finalizzate alla connessione dell'impianto alla RTN ha previsto la realizzazione di una Sottostazione Elettrica (SSE) di trasformazione 150/30 kV asservibile a più impianti, di cui la stessa Iberdrola Renovables ed eventuale Produttore futuro, che costituiranno una connessione in condominio di alta tensione condividendo lo stallo cavo AT, il cavidotto AT e lo stallo produttore nella futura SE di smistamento.


Il campo solare sarà suddiviso in n. 3 blocchi di potenza (sottocampi), ciascuno dei quali invierà l'energia prodotta alle cabine di conversione e trasformazione equipaggiate con inverter centralizzati di potenza nominale pari a 3,125 MVA e n.1 trasformatore elevatore MT/BT da 3,125 MVA. All'interno di suddette cabine si eleverà la tensione dal livello BT di 600 V, fornita in uscita dagli inverter, alla tensione MT di 30 kV per il successivo vettoriamento dell'energia alla sopraccitata SSE di Utenza.

L'elettrodotto AT a 150 kV per il collegamento della centrale alla futura SE di smistamento costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 150 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

Dal punto di vista del dimensionamento dell'impianto, la presente relazione dei calcoli elettrici preliminari 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 condizioni 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


 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 4 di 29

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 0°C a + 50°C,
- temperatura esterna da 0°C a + 50°C,
- umidità interna variabile dal 20 % al 85 %.

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

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 5 di 29

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, avendo 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 TSM-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 condizioni standard di test (STC) di seguito elencate:

- Irraggiamento di 1000 W/m²;
- 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 _p]	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 αP_{max} [%/°C]	-0,30
Coefficiente termico αV_{oc} [%/°C]	-0,24
Coefficiente termico αI_{sc} [%/°C]	+0,04
Efficienza modulo [%]	22,5
Dimensioni [mm]	2384 x 1303 x 33
Numero di celle per modulo	132 [2 x 66]

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 6 di 29

2.3 Caratteristiche inverter

Gli inverter selezionati per l'impianto avranno le caratteristiche individuate dal costruttore Sungrow relative al modello SG3125HV-30 (o similare) di potenza nominale pari a 3125 kW e la cui ubicazione è già prevista all'interno di container semi-aperti completi di trasformatore e di interruttori per le linee in ingresso e uscita, oltre che per la protezione del trasformatore stesso e servizi ausiliari.


Tabella 2.2 - Dati tecnici inverter Sungrow – SG3125HV

Marca e modello inverter	Sungrow - SG3125HV
Potenza nominale [kVA]	3125 (50°C)/3437 (45°C)
Corrente massima DC ($I_{DC,max}$) [A]	3997
Corrente massima AC ($I_{AC,nom}$) [A]	3308
Intervallo tensione MPPT (V_{mpp}) [V]	875-1300
Tensione massima DC ($V_{DC,max}$) [V]	1500
Numero inseguitori MPP indipendenti	12
Numero stringhe massimo per MPPT	18
Connessione di rete AC	600V, 50 Hz, 3F/PE
Fattore di potenza ($\cos\phi$)	>0,99 / $\pm 0,8$ Ind./Cap.
Dimensioni (L x A x P) [mm]	2210 x 2280 x 1190
Efficienza Europea [%]	98,7
Efficienza massima [%]	99,0

2.4 Potenza nominale del generatore fotovoltaico

Il progetto prevede l'installazione di 52.892 moduli FV da 700 Wp che permetteranno di raggiungere, nelle condizioni standard di test, una potenza di picco lato DC pari a 37,024 MWp. L'energia in corrente continua (c.c.) prodotta dai moduli verrà dunque convertita in corrente alternata (c.a.) per mezzo di n. 10 inverter centralizzati di potenza nominale pari a 3125 kVA equipaggiati di trasformatore MT/BT da 3125 kVA.

Nello specifico è prevista l'installazione di un totale di n.10 cabine di conversione e trasformazione ripartite secondo la seguente configurazione:

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 7 di 29

Sottocampo 1

- n. 4 cabine di conversione e trasformazione MT/BT;
- n. 792 stringhe;
- n. 22.176 moduli FV, potenza complessiva generatore fotovoltaico 15.523,2 kWp.

Sottocampo 2

- n. 3 cabine di conversione e trasformazione MT/BT;
- n. 534 stringhe;
- n. 14.952 moduli FV, potenza complessiva generatore fotovoltaico 10.466,4 kWp.

Sottocampo 3

- n. 3 cabine di conversione e trasformazione MT/BT;
- n. 563 stringhe;
- n. 17.862 moduli FV, potenza complessiva generatore fotovoltaico 11.034,8 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.


 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 8 di 29

Tabella 2.3 – Dati principali impianto FV


Modello moduli FV	Trina Solar - Vertex TSM-NEG21C.20
Potenza moduli [W_p]	700
Marca e modello cabina di conv. e trasf.	Sungrow SG3125HV-MV-30
Marca e modello inverter centralizzato	Sungrow SG3125HV-30
Potenza inverter [kVA]	3125
Numero inverter	10
Distanza E-W tra le file [m]	9,0
Distanza N-S tra le file [m]	0,5
Numero tracker da 2 x 14 moduli	124
Numero tracker da 2 x 28 moduli	110
Numero tracker da 2 x 42 moduli	515
Numero totale tracker	749
Numero totale moduli	52.892
Numero stringhe da 28 moduli	1889
Potenza nominale DC [kW_p]	37.024
Potenza nominale AC [kW]	31.250
Rapporto DC/AC	1,18

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 (V_{oc}), stimata alla minima temperatura di funzionamento prevista ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), deve essere inferiore alla tensione massima dell'inverter;

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 9 di 29


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 V_{pm} a 50 °C deve essere maggiore della Tensione MPPT minima.
- La tensione nel punto di massima potenza V_{pm} a 0 °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	0°C	1454 V	<1500V (Moduli)
				<1500V (Inverter)
2	Tensione di MPPT a STC	25°C	1128 V	600V -1300 V
	Tensione di MPPT alla minima temperatura	0°C	1225 V	<1300 V
	Tensione di MPPT alla massima temperatura	50 °C	1034 V	>600 V

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 10 di 29

2.5 Quadri BT

2.5.1 Quadri di campo e di parallelo stringhe c.c.

I quadri elettrici di BT c.c. dovranno avere le caratteristiche riportate in Tabella 2.5.

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

Tensione nominale [V]	1500
Tensione esercizio [V]	800 - 1500
Numero delle fasi	+/-
Livello nominale di isolamento tensione di prova a frequenza industriale per 1 min verso terra e tra le fasi [kV]	2,5
Frequenza nominale [Hz]	0
Corrente nominale sbarre principali [A]	3200

2.5.2 Quadri elettrici BT lato c.a.

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 c.a. dovranno avere le caratteristiche riportate in Tabella 2.6.

Tabella 2.6 - Dati tecnici Quadri Elettrici BT c.a.

Tensione nominale [V]	800
Tensione esercizio [V]	400
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 MT

All'interno di ciascuna cabina di conversione e trasformazione MT/BT è previsto un quadro di media tensione con cella di protezione del trasformatore e i due sezionatori di linea entra-esci che interconnettono le cabine d'impianto.

I dati tecnici principali dei quadri di distribuzione previsti sono riportati in Tabella 2.7.


 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 11 di 29

Tabella 2.7 - Dati tecnici quadri MT

Tensione nominale [kV]	30
Tensione di esercizio [kV]	30
Frequenza nominale [Hz]	50
Numero delle fasi	3
Corrente nominale delle sbarre principali [A]	630/1250
Corrente nominale max delle derivazioni [A]	630/1250
Corrente nominale ammissibile di breve durata [kA]	12,5/16
Corrente nominale di picco [kA]	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.

2.8 Cavi per la distribuzione elettrica in BT lato corrente alternata

Per il collegamento dei quadri di campo agli inverter centralizzati si utilizzeranno cavi del tipo ARG7OR aventi tensione nominale U_0/U di 600/1.000 V c.a. e tensione massima U_m di 1200 V c.a.

I cavi utilizzati sono adatti per il trasporto di energia per installazione su murature e strutture metalliche, su passarelle, tubazioni, canalette e sistemi similari, sarà possibile la posa fissa all'interno, all'esterno e interrata (ammessa diretta e indiretta).

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

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 12 di 29

per effetto Joule.

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 FG18M16-FG18OM16 - 0,6/1 kV, adatti per il trasporto di energia e di segnali, realizzati con isolamento in gomma di qualità G18, sotto guaina in termoplastica LS0H di qualità M16 a ridotta emissione di gas corrosivi.

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 in MT

La distribuzione elettrica d'impianto in MT (per brevità distribuzione interna MT) realizza le interconnessioni delle cabine di conversione e trasformazione e le connette alla cabina di raccolta prevista nei pressi dei confini dell'impianto. Da qui partirà il cavidotto MT di collegamento dell'impianto con la sottostazione di utenza 150/30 kV della lunghezza di circa 2 km.

Nello specifico, i cavi per la distribuzione di impianto saranno del tipo tripolare ad elica visibile (ARG7H1RX-18/30 kV), di cui si riportano in Tabella 2.8 e Tabella 2.9 rispettivamente le caratteristiche tecniche ed elettriche. Discorso differente per la tipologia utilizzata relativamente al cavidotto di collegamento dell'impianto con la succitata SSE in quanto saranno unipolari non elicordati (ARG7H1R-18/30 kV), le cui caratteristiche tecniche ed elettriche sono riportate rispettivamente nella Tabella 2.10 e Tabella 2.11.

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: miscela a base di PVC, qualità Rz di colore rosso
- Caratteristiche funzionali:
 - Tensione nominale U_0/U : 18/30 kV

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 13 di 29

- 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


 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 14 di 29

Tabella 2.8 – Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1RX – 18/30 kV

Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø indicativo anima	Ø circoscritto indicativo	Peso indicativo cavo	Portata di corrente A	
							in aria	interrato ¹⁾
n° x mm ²	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 2.9 – Caratteristiche elettriche cavi tipo ARG7H1RX - 18/30 kV

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz	Reattanza di fase	Capacità a 50Hz
n° x mm ²	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


 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 15 di 29

Tabella 2.10 - Caratteristiche tecniche cavi tipo ARG7H1R – 18/30 kV


Formazione	Ø indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Ø esterno max	Peso indicativo cavo	Portate di corrente A			
					in aria		interrato*	
n° x mm ²	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 2.11 - Caratteristiche elettriche cavi tipo ARG7H1R - 18/30 kV

Formazione	Resistenza elettrica a 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz Ω/km		Reattanza di fase Ω/Km		Capacità a 50Hz μF/km
		a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	
n° x mm ²	Ω/Km	a trifoglio	in piano	a trifoglio	in piano	μF/km
1 x 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

 www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 16 di 29

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 in accordo con l'elaborato grafico IBER-AVB-TP18. 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 1,3 m, salvo diverse necessità riscontrabili in caso di terreni sabbiosi o con bassa consistenza.

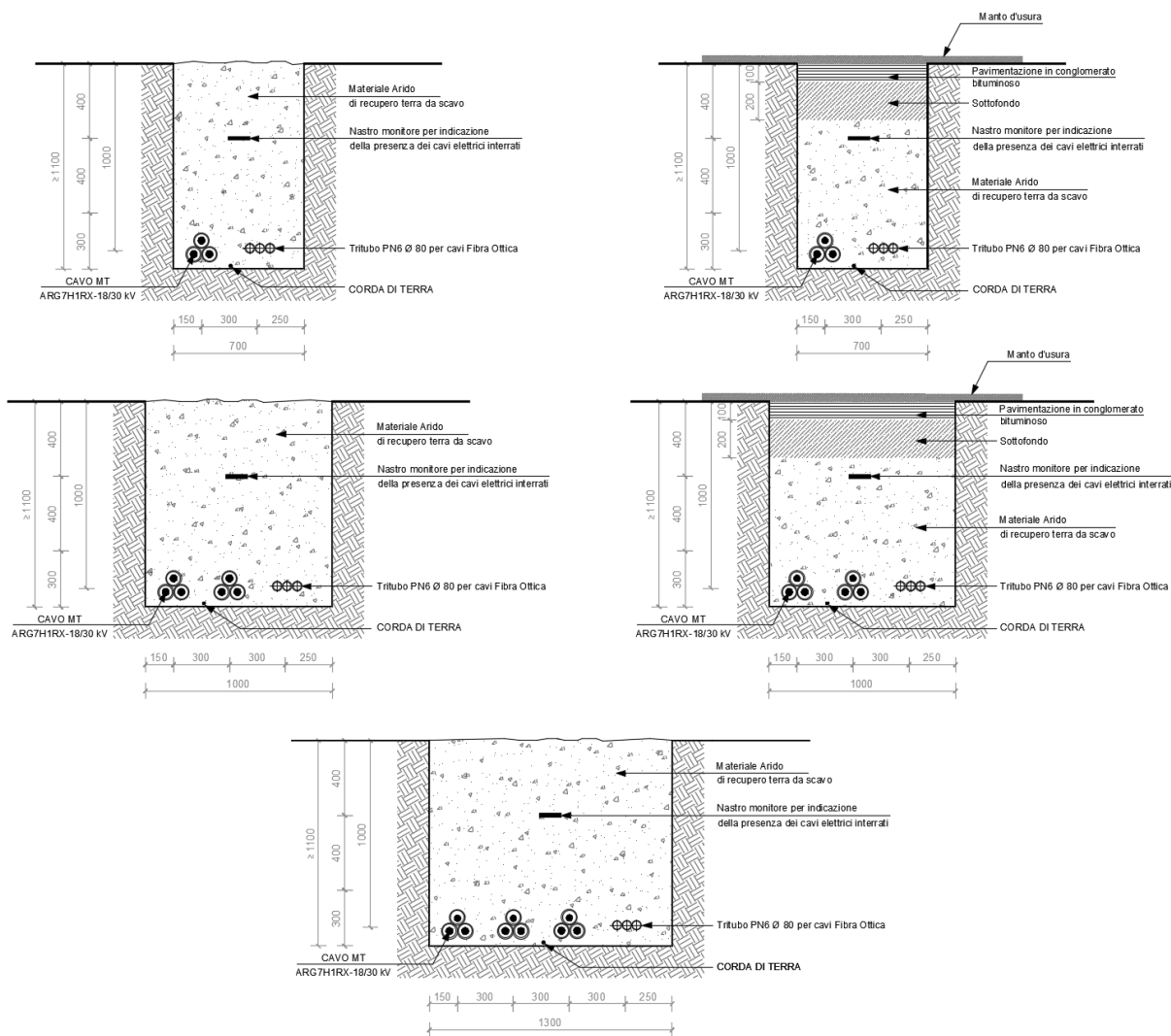



Figura 2.2 – Tipico modalità di posa distribuzione interna MT

 www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTICO	PAGINA 17 di 29

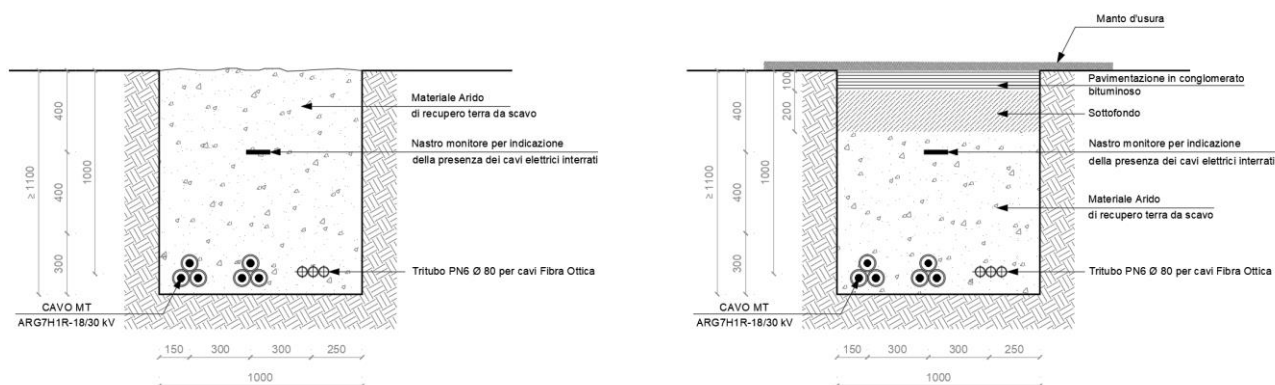


Figura 2.3 - Tipico modalità di posa cavidotto MT di collegamento impianto FV - SSE Utente 150/30 kV

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 monitor 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 e/o telefonico 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.


2.10.1.1 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.

2.10.1.2 Parallelismo tra cavi elettrici e cavi di telecomunicazione

Nei parallelismi con cavi TLC i cavi elettrici devono essere posati, di norma, alla maggiore distanza

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 18 di 29

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.

2.10.1.3 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 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 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

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 19 di 29

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 (IBER-AVB-TP17_ Risoluzione interferenze cavidotto - Particolari costruttivi).

2.11 Cavidotto AT

Il collegamento tra la sottostazione elettrica in progetto e la nuova stazione di smistamento di Terna sarà realizzato tramite l'impiego di una terna di cavi unipolari isolati in polietilene reticolato XLPE (Cross-linked polyethylene) del tipo ARE4H1H5E - 87/150 kV, conforme al documento Cenelec HD 632 ovvero alla norma IEC 60840.


Il conduttore sarà realizzato in alluminio a corda rigida rotonda compatta tamponata di cui alla norma CEI 20 – 29. Tra il conduttore e l'isolante, rispondente alle HD 632 S1, è interposto uno strato di semiconduttore estruso, con eventuale fasciatura semiconduttiva. Tra l'isolante e lo schermo metallico è interposto uno strato di semiconduttore estruso che, a sua volta è coperto da un nastro igroespandente avente la funzione di tamponamento longitudinale all'acqua.

Lo schermo metallico esterno è costituito da fili di rame ricotto non stagnato disposti secondo un'elica unidirezionale con nastro equalizzatore di rame non stagnato o in tubo di alluminio di adeguata sezione; è ammessa la presenza di eventuale nastro igroespandente.

Tra lo schermo metallico esterno (ovvero tra l'eventuale nastro igroespandente) e il rivestimento protettivo esterno è presente un nastro di alluminio longitudinale avente la funzione di tamponamento radiale all'acqua.

Il rivestimento protettivo esterno è una guaina in polietilene (PE) nera debolmente conduttiva (è ammesso l'uso di grafite o guaina semiconduttiva sovraestrusa), rispondente alle norme HD 632 S1; per eventuali installazioni in aria, al fine di evitare il propagarsi della fiamma, il rivestimento è in guaina di PVC nera debolmente conduttiva (è ammesso l'uso di grafite o guaina semiconduttiva sovraestrusa).

In Figura 2.4 si riporta a titolo illustrativo la sezione della tipologia di cavo in esame.

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTTRICO	PAGINA 20 di 29

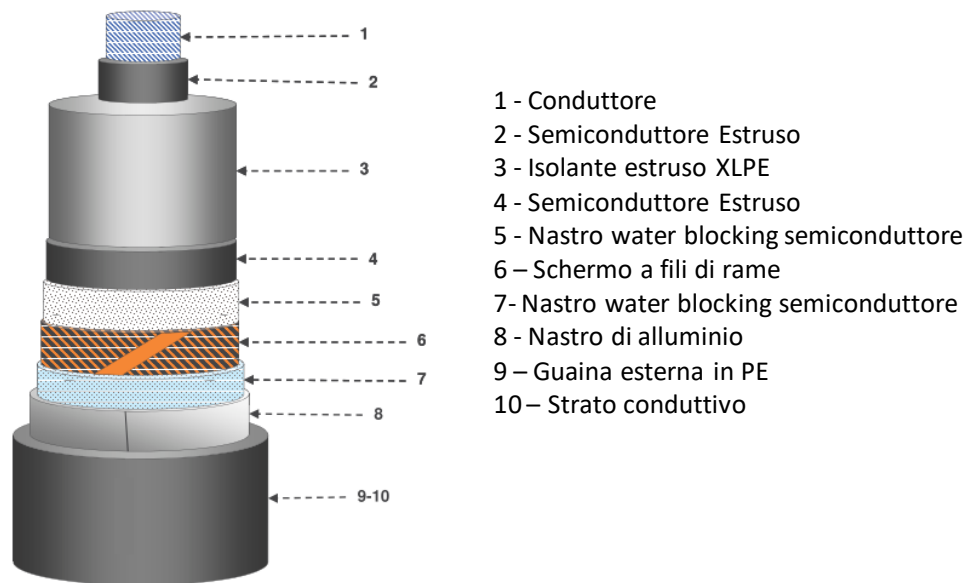



Figura 2.4 - Cavo AT 150 kV tipo ARE4H1H5E 87/150 kV

Le principali caratteristiche tecniche del cavo a 150 kV sono di seguito riportate:

- Materiale conduttore: alluminio
- Materiale isolante: XLPE (polietilene reticolato)
- Diametro isolante (min – max): 65 mm
- Sezione schermo a fili di rame: 70 mm²
- Spessore nastro alluminio: 0,2 mm
- Guaina esterna: PE (polietilene)
- Diametro guaina esterna (min – max): 80 mm
- Corrente termica di cto.cto – conduttore: 53,4 kA – 0,5 sec
- Corrente termica di cto.cto – schermo: 20 kA – 0,5 sec
- Temperatura conduttore in regime permanente: 90°C
- Temperatura conduttore in corto circuito: 250°C
- Frequenza nominale: 50 Hz
- Tensione nominale ($U_0/U/U_m$): 87/150/170 kV
- Corrente nominale: 1000 A
- Sezione nominale del conduttore: 1600 mm²
- Diametro nominale del conduttore: 23.8 mm

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 21 di 29

- Potenza nominale (per terna di conduttori): 140 MVA

Il conduttore di ogni cavo è formato quindi da una corda in alluminio con sezione 1600 mm²; lo schermo è costituito da fili di rame disposti radialmente intorno all'isolante per la protezione meccanica; ogni cavo è inanellato in un nastro di alluminio con copertura in PE. Il diametro esterno di ogni cavo è compreso tra i 150÷109 mm.

2.11.1 Modalità di posa cavo AT

La tipologia di posa prevalente, secondo quanto schematizzato in Figura 2.5, è quella a trifoglio con cavi direttamente interrati in trincea ad una profondità di circa 1,3 metri sotto il piano di calpestio.

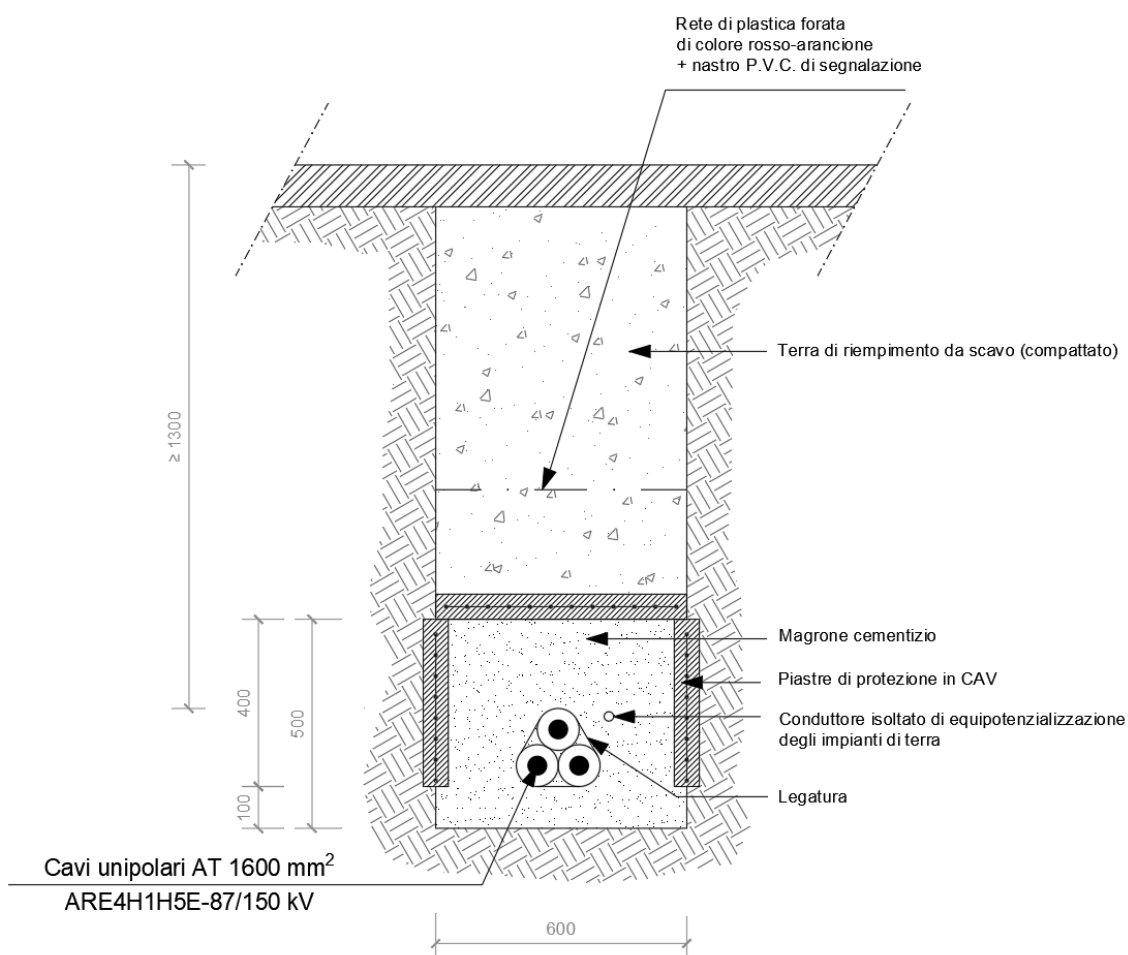



Figura 2.5 - Modalità di posa Cavo AT 150 kV

2.12 Cavo fibra ottica

All'interno dello stesso scavo delle linee MT 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

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 22 di 29

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 2.6).

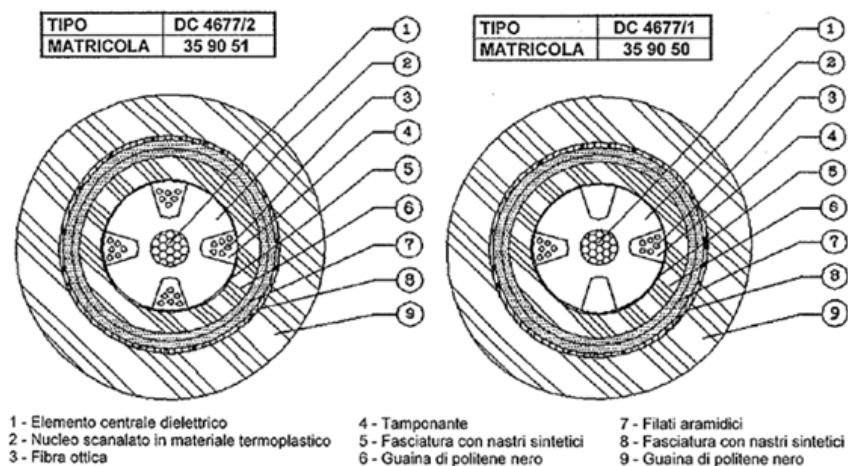



Figura 2.6 – Cavo fibra ottica secondo specifica DC 4677

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.

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 23 di 29

2.13 Dimensionamento dei circuiti BT e MT

I cavi elettrici in corrente continua e in corrente alternata, ossia dalla connessione di stringa agli inverter, passando per i quadri MT fino alla sottostazione di utenza, sono stati dimensionati in modo tale che risultino soddisfatte la relazioni:

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

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

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 2.12 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 (in via cautelativa si considera la condizione di posa prevalente);
- $k_3 = 0,96$ 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 2.13 sono riportate le cadute di tensione nelle varie tratte di circuito in corrente alternata valutate secondo la seguente espressione:

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 24 di 29

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

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 [Ω];
- V è la tensione nel tratto di circuito considerato.

Infine, nella Tabella 2.14 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-quadri di campo pari a 200 m realizzata con cavi di tipo H1Z2Z2-K di formazione 2x10 mm²;
- quadri di campo-inverter di 300 m costituita da cavi della tipologia ARG7OR con formazione 3x150 mm².


 www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 25 di 29

Tabella 2.12 – Sezioni per fase e portate dei cavi delle tratte principali


Tratta	Potenza [kW]	I_b [A]	S [mm ²]	I_z [A]
Trafo - QMT	31250	641	3x1x630	677
CONNESSIONE CAMPO FV - SSE UTENTE				
QMT - Cabina di raccolta	12500	256	3x1x500	513
QMT - Cabina di raccolta	18750	384	3x1x500	513
SOTTOCAMPO 1				
Cabina di raccolta - MVS04	12500	256	3x1x240	345
MVS04-MVS03	9375	192	3x1x150	263
MVS03-MVS02	6250	128	3x1x70	171
MVS02-MVS01	3125	64	3x1x70	171
SOTTOCAMPO 2				
Cabina di raccolta - MVS07	9375	192	3x1x150	263
MVS07-MVS06	6250	128	3x1x70	171
MVS06-MVS05	3125	64	3x1x70	171
SOTTOCAMPO 3				
Cabina di raccolta - MVS08	9375	192	3x1x150	263
MVS08-MVS09	6250	128	3x1x70	171
MVS09-MVS10	3125	64	3x1x70	171

Tabella 2.13 – Cadute di tensione delle tratte principali

Tratta	Potenza [kW]	S [mm ²]	r [Ω/km]	x [Ω/km]	V [kV]	L [km]	ΔV [V]	ΔV [%]
Trafo - QMT	31250	3x1x630	0,05	0,10	30	0,50	25,94	0,09
CONNESSIONE CAMPO FV - SSE UTENTE								
QMT - Cabina di raccolta	12500	3x1x500	0,06	0,10	30	2,10	48,64	0,16
QMT - Cabina di raccolta	18750	3x1x500	0,06	0,10	30	2,10	72,96	0,24
SOTTOCAMPO 1								
Cabina di raccolta - MVS04	12500	3x1x240	0,13	0,11	30	1,12	45,80	0,15
MVS04-MVS03	9375	3x1x150	0,21	0,12	30	0,20	9,15	0,03
MVS03-MVS02	6250	3x1x70	0,44	0,13	30	0,10	5,86	0,02
MVS02-MVS01	3125	3x1x70	0,44	0,13	30	1,15	33,72	0,11
SOTTOCAMPO 2								
Cabina di raccolta - MVS07	9375	3x1x150	0,21	0,12	30	0,25	11,44	0,04
MVS07-MVS06	6250	3x1x70	0,44	0,13	30	0,18	10,56	0,04
MVS06-MVS05	3125	3x1x70	0,44	0,13	30	0,58	17,01	0,06
SOTTOCAMPO 3								
Cabina di raccolta - MVS08	9375	3x1x150	0,21	0,12	30	0,60	27,46	0,09
MVS08-MVS09	6250	3x1x70	0,44	0,13	30	0,16	9,38	0,03
MVS09-MVS10	3125	3x1x70	0,44	0,13	30	0,30	8,80	0,03

Tabella 2.14 – Cadute di tensione delle tratte tipo BT

Tratta BT	I_b [A]	S [mm ²]	I_z [A]	R [Ω/km]	V [kV]	L [km]	ΔV [V]	ΔV [%]
Stringa - Quadro di campo	22,9	2 x 10	95	1,95	1,36	0,20	8,93	0,66
Quadro di campo - Inverter	269,3	3 x 150	313	0,21	1,36	0,30	16,96	0,72

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 26 di 29

2.14 Protezione dei circuiti MT

Le unità di protezione elettrica dei circuiti MT 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 MT;
- 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.

2.15 Protezione dei circuiti BT

2.15.1 Protezione contro i sovraccarichi

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

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 27 di 29

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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

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).

2.15.2 Protezione contro i cortocircuiti

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

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


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

Dove:

- $I_{cc,max}$ = Corrente di cortocircuito massima
- P.d.I. = Potere di interruzione apparecchiatura di protezione
- I^2t = 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.


2.16 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.

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 28 di 29

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 1281 A.

 iat CONSULENZA E PROGETTI www.iatprogetti.it	OGGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO "MERCURIA" PROGETTO DEFINITIVO	COD. ELABORATO IBER-AVB-RP2
	TITOLO CALCOLI PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	PAGINA 29 di 29

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;
- Guida Tecnica per la progettazione esecutiva, realizzazione, collaudo ed accettazione di Stazioni Elettriche di smistamento della RTN a tensione nominale 132÷220 kV di tipo AIS, MTS e GIS. TERNA. Codifica INS GE G 01. Rev. 00 del 22/02/12.