



REGIONE
SICILIA



COMUNE DI
CARLENTINI



LIBERO CONSORZIO
COMUNALE DI
SIRACUSA

Proponente

Trina Solar STG S.r.l.
Sede legale: Piazza Borromeo N.14, 20123 Milano



Struttura di Progettazione e sviluppo

Progettazione

IL PROGETTISTA



Ing. Marco Anfuso

Firma digitale
Ing. Anfuso

IL PROGETTISTA



Ing. Paolo Grande

Firma digitale
Ing. Grande

SISTEMA ENERGIA **REGRAN**

R.C. Ing. Alessandro Cappello

Collaboratori

Dott. Ing. Salvatore Falla
Dott. Arch. Mirko Pasqualino Re
Dott. Ing. Valentino Otopacca

Firma digitale
tecnico



Opera

PROGETTO CARLENTINI

Progetto di impianto FV a terra di potenza pari a 50,08 MW in DC e 40,26 MW in immissione e delle opere connesse da installarsi nel territorio del comune di Carlentini -SR-

Oggetto

Folder:
VIA_2

Sez.
R

Nome Elaborato:
VIA2_REL16_Relazione di Calcolo Dimensionamento Cavi CC, BT, MT

Codice Elaborato:
REL_16

Descrizione Elaborato:
Relazione di calcolo elettrico

00	08/07/2022	Emissione per progetto definitivo	Regran	Trina Solar STG S.r.l.
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica e Approvazione

Scala: -
Formato: A4

Sommario

1	Premessa	4
1.1	Inquadramento Generale	5
1.2	Condizioni Ambientali.....	6
2	Tipologia di cavi	7
2.1	Cavi in CC/BT.....	8
2.1.1	Cavi di Stringa – Configurazione e modalità di Installazione.....	9
2.2	Cavi in CA/BT	10
2.2.1	Cavi inverter di stringa – Configurazione e modalità di posa	10
2.3	Cavi in 36 KV	11
2.3.1	Cavi 36 KV – Configurazione e modalità di Installazione.....	12
2.4	Altri cavi.....	14
2.4.1	Cavi nella Cabina di Trasformazione 36 KV/BT.....	14
2.4.2	Cavi di sicurezza e sorveglianza	14
2.4.3	Cavi Dati.....	14
3	Verifica cavi elettrici	15
3.1	Cavi BT – Corrente continua	15
3.1.1	Tensione di esercizio	15
3.1.2	Corrente di esercizio.....	15
3.1.3	Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni	16
3.1.4	Verifica Caduta di Tensione	18
3.1.5	Verifica Tenuta al corto circuito	19
3.1.6	Verifica Perdite	19
3.2	Cavi BT – Corrente alternata	20
3.2.1	Tensione di esercizio	20
3.2.2	Corrente di esercizio.....	20
3.2.3	Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni	21
3.2.4	Verifica Caduta di Tensione	23
3.2.5	Verifica Tenuta al corto circuito	24
3.2.6	Verifica Perdite	24
3.3	Cavi in 36 KV	25
3.3.1	Tensione di esercizio	25
3.3.2	Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni	25
3.3.3	Verifica Caduta di Tensione	28

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.4	Tenuta al corto circuito	30
3.3.5	Perdite	31
4	Conclusioni	32
Appendice 1 – Cavi DC di Stringa.....		33
Appendice 2 – Cavi AC di String Inverter		35
Appendice 3 – Cavi 36 KV		37

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1 Premessa

La presente relazione ha lo scopo descrivere tecnicamente i componenti principali e verificare il corretto coordinamento dell'impianto di generazione di energia elettrica fotovoltaico denominato "Carlentini", da ubicarsi nel Comune di Carlentini (CT), di potenza nominale complessiva pari a circa 50,08 MWp per una potenza di immissione complessiva in rete pari a 40,26 MW.

Per maggiore chiarezza, di seguito riportiamo la struttura della presente relazione tecnica:

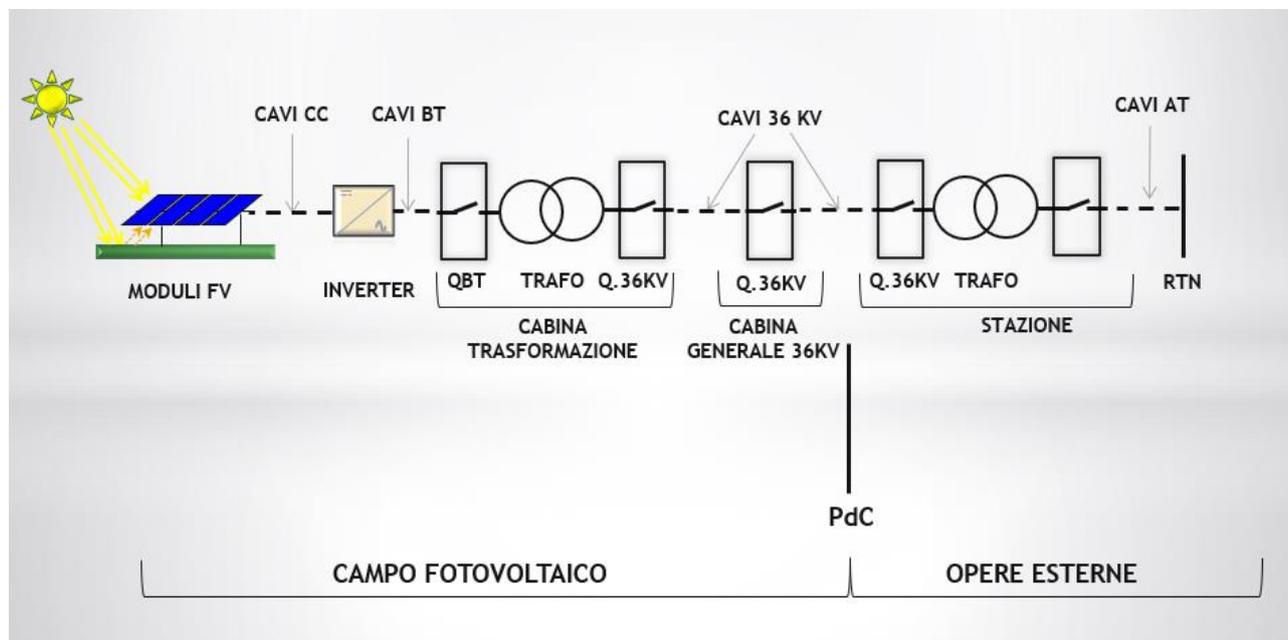
- Definizione della tipologia di cavi utilizzati e della modalità di posa degli stessi
 - o Cavi CC – Cavi di Stringa
 - o Cavi CA – cavi inverter di stringa
 - o Cavi 36 KV – Distribuzione Secondaria
 - o Cavi 36 KV – Distribuzione Primaria
 - o Altri cavi

- Seguono i paragrafi dedicati alle verifiche della correttezza della tipologia di cavo scelto, verificando per ogni tipologia di cavi e per ogni tratta:
 - o Verifica portata di corrente e coordinamento protezioni;
 - o Verifica Caduta di Tensione;
 - o Verifica Tenuta al corto circuito;
 - o Verifica Perdite.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1.1 Inquadramento Generale

L'impianto di generazione di energia elettrica da fonte fotovoltaica è tipicamente molto vasto, poiché l'energia viene generata da ogni modulo fotovoltaico. Compito dei collegamenti elettrici è convogliare tutta l'energia prodotta in un solo punto. Di seguito è illustrato uno schema di principio dell'impianto fotovoltaico:



L'impianto FV ha la capacità di generare energia elettrica dai Moduli FV: ogni singolo Modulo FV trasforma l'irraggiamento solare in energia elettrica, generata in forma di corrente continua.

Per il presente impianto sono stati previsti moduli con tecnologia bifacciale, ovvero in grado di convertire in energia elettrica sia la radiazione diretta dal sole che la radiazione sul lato posteriore dei moduli stessi (prevalentemente radiazione diffusa e riflessa dal terreno).

I pannelli FV sono posizionati su strutture dedicate (strutture FV), che sono in grado di massimizzare l'irraggiamento dal quale è investito il pannello lungo l'arco dell'intera giornata, e collegati elettricamente in serie a formare una "stringa" di moduli.

L'energia prodotta dai moduli FV è raggruppata tramite collegamenti in cavo CC, e successivamente immessa negli inverter di stringa che sono in grado di trasformare l'energia elettrica da corrente continua (CC) a corrente alternata (CA) in Bassa Tensione (BT). L'energia disponibile in corrente alternata BT verrà quindi trasformata in 36 KV in Cabina di Trasformazione.

L'energia disponibile in corrente alternata 36 KV verrà convogliata dalle varie cabine di trasformazione alla cabina di smistamento 36 KV principale.

In uscita dal campo fotovoltaico è previsto un cavidotto esercito a 36 kV che permetterà di far arrivare l'energia generata alla stazione utente di trasformazione (36/150 kV) "Carlentini Nord", condivisa con altri utenti produttori, ed infine verso il punto di consegna con la Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), ovvero la stazione di trasformazione 380/150 kV di Terna.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1.2 Condizioni Ambientali

L'impostazione delle condizioni di esercizio dell'impianto passa inevitabilmente dalla definizione delle condizioni ambientali dell'area dove sorgerà l'impianto fotovoltaico. Suddetta area dista qualche chilometro dal mare (in particolare intorno ai 6 km), per cui potrebbe risentire dell'ambiente marino, particolarmente aggressivo e corrosivo.

I componenti principali saranno quindi adatti per l'utilizzo in ambiente C4H (Categoria di corrosione in accordo con la norma ISO12944), ovvero in zone definite come: "Fabbricati e componenti adatti a funzionare con un alto grado di umidità atmosferica ed un leggero inquinamento atmosferico derivante per lo più da produttori di alimenti, birrerie, caseifici e lavanderia"

Il sito di realizzazione dell'impianto presenta un'altitudine di poche decine di metri sopra il livello del mare (in particolare tra 5 e 15m slm), per cui elettricamente è una zona standard e non sottoposta ad alcuna limitazione di caratteristiche dielettriche limitate a causa dell'altitudine.

Ai fini del dimensionamento dei cavi elettrici; si considera il seguente intervallo di temperature ambiente:

intervallo temperature di funzionamento → -10 ... + 50°C

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2 Tipologia di cavi

I cavi previsti nell'impianto di generazione fotovoltaica, sono essenzialmente:

- Cavi in CC - Cavi di stringa; ovvero i cavi CC che collegano la stringa all'inverter;
- Cavi in CA/BT – Cavi inverter di stringa; ovvero i cavi CA che collegano gli inverter di stringa alle cabine di trasformazione;
- Cavi in 36 KV – Distribuzione Secondaria; ovvero i cavi 36 KV utilizzati nelle linee radiali di collegamento delle cabine di trasformazione ed interni ai campi fotovoltaici;
- Cavi in 36 KV – Distribuzione Primaria; ovvero i cavi 36 KV utilizzati per il collegamento tra SE Produttore e le Cabine di Smistamento;

Nella relazione “*Relazione tecnica Elettrica e Meccanica*” sono già identificate le configurazioni di ogni singola tratta.

Nell'elaborato dedicato “*Schema Unifilare Generale*” è riportato lo schema di collegamento.

Nell'elaborato “*Cavidotti 36 KV-BT di Campo*” sono riportati i percorsi delle tratte e le lunghezze totali di cavidotti e volumi di scavo.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.1 Cavi in CC/BT

I cavi in corrente continua sono necessari per raggruppare i moduli fotovoltaici e rendere disponibile questa energia in ingresso lato CC dell'inverter di stringa.

I moduli fotovoltaici di per sé stessi sono forniti già dotati di cavi e relativo connettore CC (uno per il polo negativo, uno per il polo positivo), ma di lunghezza tale da permettere il solo collegamento tra moduli fotovoltaici contigui. Verranno quindi collegati in serie tra di loro fino a comporre una stringa, che in questo progetto è composta dalla serie di 32 moduli FV del costruttore Trina Solar, modello TSM-DEG21C.20 da 670Wp ognuno.

Il cavo di collegamento di questa stringa è chiamato cavo di stringa e per questo progetto è stato selezionato un cavo del tipo FG21M21 ed in appendice 1 è riportato il data-sheet di un fornitore primario di questa tipologia di cavo.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.1.1 Cavi di Stringa – Configurazione e modalità di Installazione

Per verificare il corretto dimensionamento del cavo è necessario conoscere la modalità di installazione.

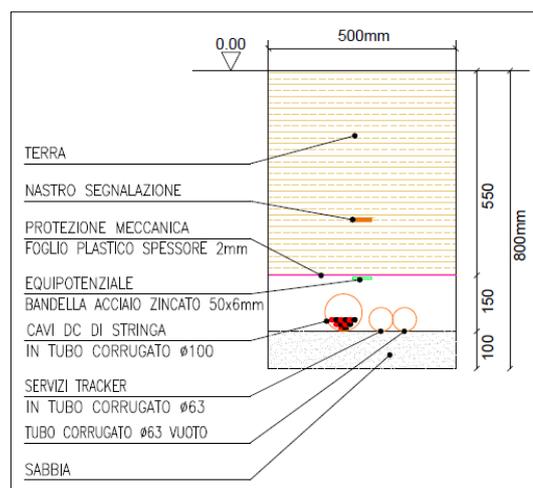
I cavi avranno tratti sia all'aperto (tipicamente lungo la struttura fotovoltaica di sostegno dei moduli fotovoltaici), sia sottoterra per il raggiungimento dell'inverter.

Dato che il cavo avrà tratti in cui verrà esposto all'irraggiamento diretto è necessario che il cavo sia adatto a questo tipo di funzionamento. Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Rame, tipo FG21M21, con la seguente configurazione:

$$2// (1 \times 6) \text{ mm}^2$$

Dal punto di vista termico analizziamo la situazione più gravosa, ovvero l'installazione sottoterra, riportando un estratto delle sezioni tipo dei cavidotti:

Modello	FG21M21
Conduttore	Rame stagnato, flessibile
Isolante	HEPR tipo G21
Guaina	Mescola elastomerica reticolata senza alogeni tipo M21
Temperatura di esercizio	-40°C ÷ +120°C
Tensione massima AC [V]	1200
Tensione massima DC [V]	1800
Sezione conduttore [mm²]	6
Portata corrente in aria [A]	70 (@60°C)



La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione larga 500mm e profonda 800mm, che sarà riempita con:

- Sabbia di fiume nella parte più profonda per evitare che i cavi direttamente interrati possano essere a contatto diretto con sassi e/o detriti che ne possano scongiurare l'integrità durante tutti gli anni di esercizio, con:
 - uno spessore pari a circa 100mm sul fondo;
 - uno spessore pari a circa 200mm nel quale verranno installati cavi e corrugati in base alla specificità di ogni tratta;
- Un foglio plastico per la separazione tra strato inferiore e strato superiore, avente anche la funzione di protezione meccanica;
- Terra di riporto per il riempimento dello strato superiore, fino al livellamento nativo della sezione.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.2 Cavi in CA/BT

I cavi in bassa tensione e corrente alternata sono necessari per collegare gli inverter di stringa installati in campo alle cabine di trasformazione, attestandosi sul Quadro Parallelo Corrente Alternata (di seguito QPCA). Per la realizzazione della rete di distribuzione in corrente alternata, ovvero per il collegamento elettrico in BT degli inverter di stringa al quadro di parallelo (QPCA), posizionato all'interno della cabina di trasformazione, si prevede l'utilizzo di cavi di tipo ARG7OR.

2.2.1 Cavi inverter di stringa – Configurazione e modalità di posa

I cavi BT in corrente alternata saranno installati:

- direttamente interrati lungo tutto il percorso, in formazione a trifoglio;
- all'interno di tubo corrugato agli estremi (un tubo per terna cavi inverter), in uscita dall'inverter per evitare l'irraggiamento diretto e in prossimità della cabina di trasformazione per raggiungere ordine il proprio interruttore scatolato (di seguito MCCB).

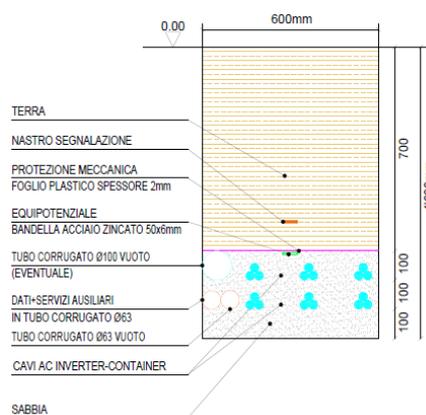
Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Alluminio tipo ARG16R16, mentre la configurazione prevista sarà:

$$3 \times 240 \text{ mm}^2$$

In fase di progettazione esecutiva/costruttiva, potranno essere ottimizzate le configurazioni cavi, prevedendo cavi con sezione inferiore in funzione della distanza del collegamento e della corrente da trasportare.

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche del cavo selezionato.

Modello	ARG7OR
Conduttore	Corda compatta a fili di alluminio (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	HEPR
Guaina	PVC speciale di qualità Rz
Temperatura di esercizio	0 – 90°C
Tensione nominale U_o/U (U_m)	0,6/1 (1,2) kV
Sezione conduttore	240 mm ²
Portata corrente [A]	A trifoglio direttamente interrati: 240 mm ² : 413 A



La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione tipicamente larga da 500mm a 1500mm e profonda 1'000mm, che sarà riempita con:

- Sabbia di fiume nella parte più profonda per evitare che i cavi direttamente interrati possano essere a contatto diretto con sassi e/o detriti che ne possano scongiurare l'integrità durante tutti gli anni di esercizio, con:
 - uno spessore pari a circa 100mm sul fondo;
 - uno spessore pari a circa 200mm nel quale verranno installati cavi e corrugati in base alla specificità di ogni tratta;
- Un foglio plastico per la separazione tra strato inferiore e strato superiore, avente anche la funzione di protezione meccanica;
- Terra di riporto per il riempimento dello strato superiore, fino al livellamento nativo della sezione.

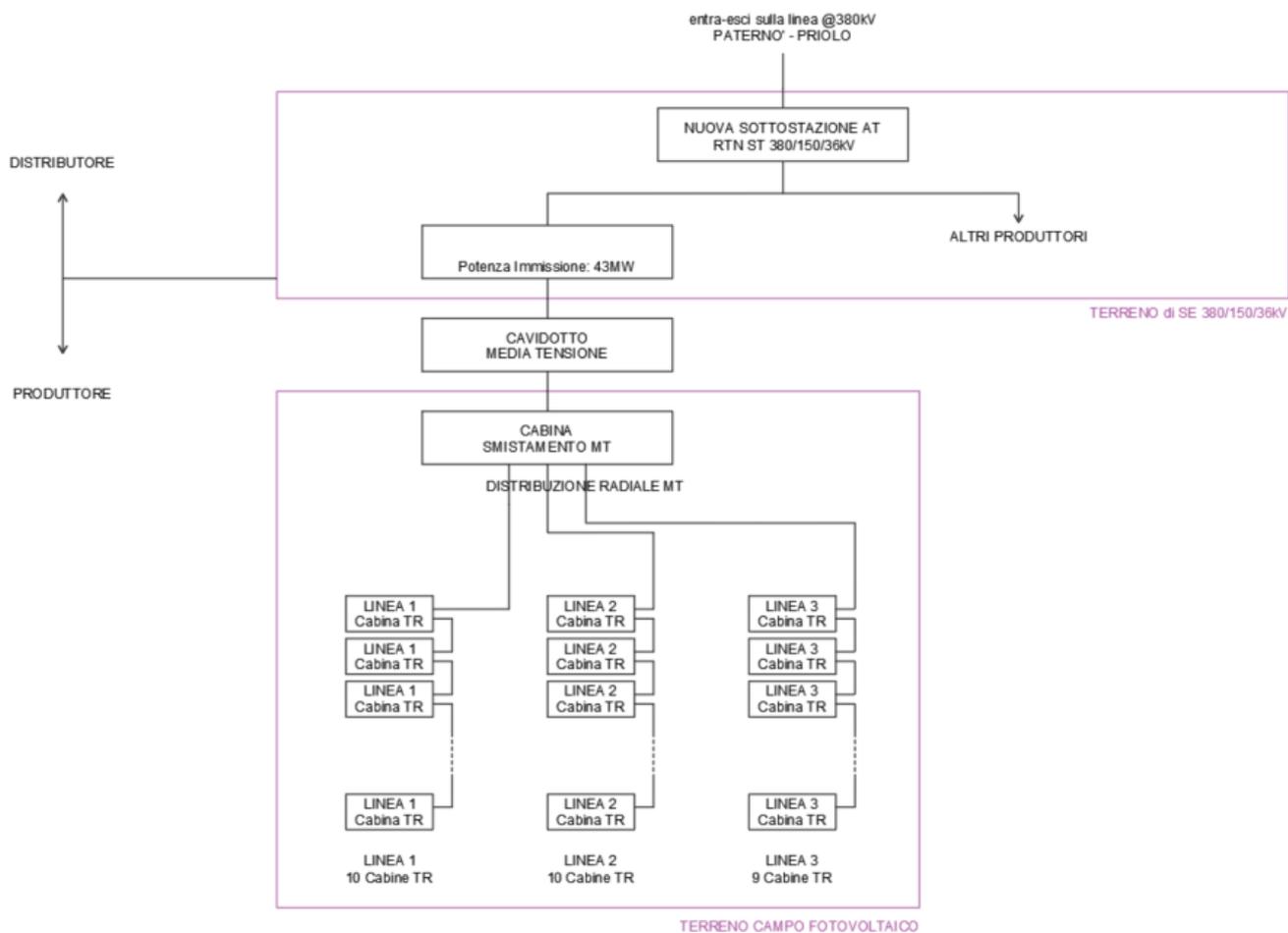
In talune sezioni il cavidotto potrà essere allargato per evitare che i cavi siano troppo vicini.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.3 Cavi in 36 KV

I cavi in 36 KV sono necessari per raggruppare l'energia elettrica uscente dalle cabine di trasformazione 36 KV/BT e renderla disponibile alla cabina di smistamento 36 KV principale ed infine alla sottostazione utente, pronta per la trasformazione in Alta Tensione

Facendo riferimento allo schema unifilare è possibile rappresentare la rete di 36 KV dell'impianto come segue:



00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.3.1 Cavi 36 KV – Configurazione e modalità di Installazione

Per verificare il corretto dimensionamento del cavo è necessario conoscere la modalità di installazione.

I cavi saranno installati:

- direttamente interrati lungo tutto il percorso, disposti a trifoglio nel cavidotto;
- all'interno di tubo corrugato, (un tubo per cavi 36 KV) in entrata/uscita nel tratto di collegamento tra pozzetto e cabine di trasformazione e/o cabine di smistamento; arrivando in fondazione già sottoterra, raggiungerà il fondo dei quadri 36 KV in aria libera.

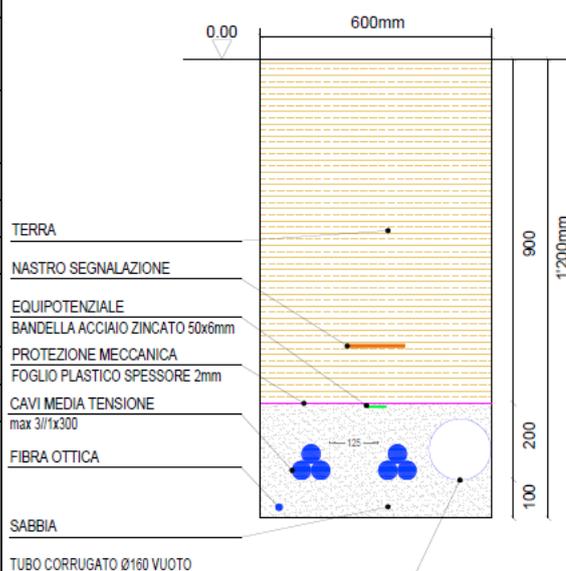
Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Rame tipo RG7H1R, mentre la configurazione prevista sarà in funzione del numero di cabine del quale è necessaria trasportare l'energia. Nello specifico saranno previste le seguenti configurazioni:

Collegamento 1-4 cabine di trasformazione	→	3// (1x95) mm ²
Collegamento 5-8 cabine di trasformazione	→	3// (1x150) mm ²
Collegamento 9-11 cabine di trasformazione	→	3// (1x240) mm ²
Collegamento 12 cabine di trasformazione	→	3// (1x300) mm ²
Collegamento cabine trasformazione verso CS	→	3// (1x300) mm ²
Collegamento CS-SE condivisa	→	1// [3x (1x500)] mm ²

In fase di progettazione esecutiva/costruttiva, potranno essere ottimizzate le configurazioni cavi, prevedendo cavi con sezione inferiore in funzione della distanza del collegamento e della corrente da trasportare.

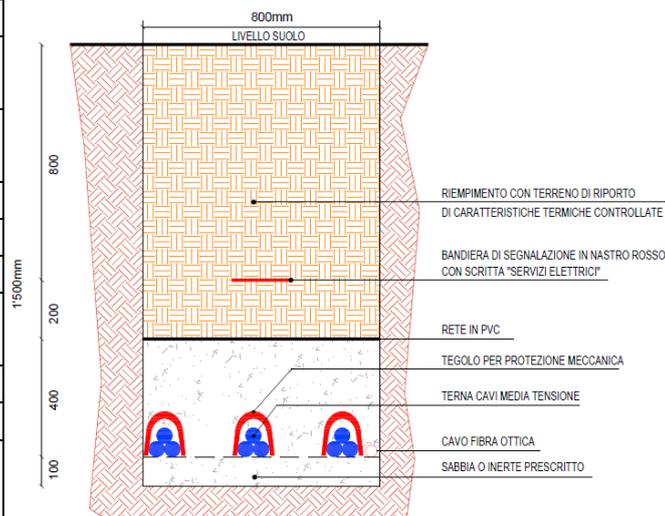
Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche del cavo selezionato.

Modello	RG7H1R
Conduttore	Corda compatta a fili di rame (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	Gomma HEPR (elastomero termoplastico)
Guaina	PVC
Temperatura di esercizio	0 – 105°C
Tensione nominale U_o/U (Um)	26/45 (36) kV
Sezione conduttore	varie
Portata corrente [A]	A trifoglio direttamente interrati: 95 mm ² : 300 A 150 mm ² : 385 A 240 mm ² : 510 A 300 mm ² : 570 A



00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Modello	RG7H1R
Conduttore	Corda compatta a fili di rame (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	Gomma HEPR (elastomero termoplastico)
Guaina	PVC
Temperatura di esercizio	0 – 105°C
Tensione nominale Uo/U (Um)	26/45 (36) kV
Sezione conduttore	varie
Portata corrente [A]	A trifolio direttamente interrati: 500 mm ² : 735 A



La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione tipicamente larga 600mm e profonda 1'200mm, che sarà riempita con:

- Sabbia di fiume nella parte più profonda per evitare che i cavi direttamente interrati possano essere a contatto diretto con sassi e/o detriti che ne possano scongiurare l'integrità durante tutti gli anni di esercizio, con:
 - uno spessore pari a circa 100mm sul fondo;
 - uno spessore pari a circa 200mm nel quale verranno installati cavi e corrugati in base alla specificità di ogni tratta; dovrà essere usata l'accortezza di posizionare i cavi 36 KV opportunamente distanziati tra di loro (>2D con D diametro del cavo 36 KV);
- Un foglio plastico per la separazione tra strato inferiore e strato superiore, avente anche la funzione di protezione meccanica;
- Terra di riporto per il riempimento dello strato superiore, fino al livellamento nativo della sezione.

In talune sezioni il cavidotto potrà essere allargato per evitare che i cavi siano troppo vicini.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.4 Altri cavi

Di seguito l'indicazione delle caratteristiche degli altri cavi previsti all'interno dell'impianto fotovoltaico.

2.4.1 Cavi nella Cabina di Trasformazione 36 KV/BT

La cabina di trasformazione 36 KV/BT è quell'insieme di componenti atti a rendere disponibile l'energia prodotta da un certo numero di inverter in 36 KV. I componenti principali sono:

- quadro di parallelo in bassa tensione;
- Trasformatore 36 KV/BT, ovvero la macchina elettromeccanica che trasforma l'energia resa disponibile nel QPCA da Bassa a 36 KV;
- Quadro 36 KV, ovvero il quadro che rende disponibile i cavi 36 KV per la distribuzione 36 KV.

Sono previste 29 cabine di trasformazione.

La fornitura ed il dimensionamento dei cavi elettrici all'interno di ogni cabina sono da considerarsi come inclusi nella fornitura della cabina di trasformazione.

2.4.2 Cavi di sicurezza e sorveglianza

Il sistema di sicurezza e videosorveglianza utilizza:

- Telecamere per vigilare l'area della recinzione (motion detection con illuminazione IR notturna);
- Telecamere tipo DOME nei punti strategici ed in corrispondenza delle cabine di trasformazione;
- Sistema di illuminazione da utilizzare come deterrente (nel caso il motion detection rilevi un'intrusione, l'illuminazione relativa a quella zona viene attivata).

2.4.3 Cavi Dati

I cavi dati sono i cavi di trasmissione di tutti i dati dei vari sistemi.

Le tipologie di cavo possono essere di due tipi:

- cavo RS485 per tratte di cavo di lunghezza limitata (tipicamente <100m);
- cavo in fibra ottica, per tratti di cavo più lunghi.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3 Verifica cavi elettrici

Questo capitolo è dedicato alla verifica della correttezza della tipologia di cavo scelto, verificando per ogni tipologia di cavi e per ogni tratta:

- Verifica portata corrente e coordinamento protezioni;
- Verifica caduta di tensione;
- Verifica tenuta al corto circuito;
- Verifica delle perdite.

3.1 Cavi BT – Corrente continua

I cavi in corrente continua del presente impianto sono i cavi di stringa che collegano i moduli agli inverter di stringa.

3.1.1 Tensione di esercizio

In merito alla tensione, il lato continua di un Impianto di Generazione Fotovoltaico ha un valore di tensione di esercizio variabile, a seconda dell'irraggiamento e della regolazione dell'inverter, che impone la tensione di esercizio in ricerca del punto di massima resa (MPP) o, in rarissimi casi, impone una tensione di esercizio che mantenga in uscita (lato CA) un valore imposto di potenza.

Per conoscere i valori di riferimento di tensione bisogna quindi fare riferimento al dimensionamento campo FV, descritto nella relazione tecnica cavi impianto; la tensione si muove all'interno di un intervallo 0...1'419,1V, per cui il valore di riferimento della tensione è pari a:

$$V_e = 1'500 \text{ V}$$

3.1.2 Corrente di esercizio

In merito alla corrente, analogamente a quanto descritto nel paragrafo precedente, bisogna fare riferimento al dimensionamento campo FV, descritto nella relazione tecnica cavi impianto; la corrente si muove all'interno di un intervallo 0...18,55A; in accordo con le Norme di riferimento, la corrente di dimensionamento è pari alla corrente di corto circuito a 70°C di temperatura di cella, per cui il valore di riferimento della corrente è pari a:

$$I_N = 18,88 \text{ A}$$

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.1.3 Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni

Per valutare la portata in corrente devono essere determinati su ogni tratta i coefficienti di declassamento della portata in funzione delle condizioni di installazione.

I coefficienti di declassamento sono in funzione della modalità di posa, che per i cavi in Corrente Continua sono:

- in aria, nei tratti lungo la struttura fotovoltaica di sostegno dei moduli fotovoltaici, con più circuiti;
- all'interno di tubo corrugato nei tratti sotterranei per il collegamento tra diverse file strutture fotovoltaiche, con più circuiti.

I coefficienti sono rispettivamente:

Cavi in aria	Cavi in Tubo Corrugato interrato
Temperatura → $k_1 = 1$	Temperatura → $k_1 = 1$
Tipo di posa: stesso piano, circuiti a contatto → $k_2 = 0,80$	Tipo di posa: più circuiti per tubo in aria → $k_2 = 0,6$
	profondità = 0,7m → $k_3 = 1$
	resistività terreno = 1,5 °K x m/W → $k_4 = 1$
fattore di sicurezza → $k_5 = 1$	fattore di sicurezza → $k_5 = 1$
TOTALE → $k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_5 = 0,8$	TOTALE → $k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,6$

(*) = il valore di portata del cavo solare è già dichiarato a 60°C, per cui in via cautelativa si considera un fattore di temperatura unitario.

È evidente che la condizione peggiorativa sia il tratto in cui i cavi sono posizionati all'interno del tubo corrugato: la verifica della portata di corrente deve essere fatta considerando questa condizione peggiorativa: verrà quindi considerato il fattore $k_{TOT} = 0,6$.

La verifica ha esito positivo per ogni tratta della condizione:

$$I_N < I_Z$$

dove:

- I_N è la corrente nominale della linea da proteggere;
- I_Z è la portata del cavo.

Facendo riferimento alla configurazione cavi riportata in relazione tecnica impianto e nello schema unifilare, e al valore di portata lorda dei cavi (portata in aria libera), riportato nel data sheet in appendice, di seguito la tabella riassuntiva di verifica portata di corrente.

(unità di misura: I_N , I_Z e la portata lorda sono espresse in A, la configurazione cavi è espressa in mm²)

I_N	Configurazione Cavo	Potata lorda	ktot	I_Z	Verifica
18,88	2//(1x6)	70	0,6	42	OK

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.1.3.1 Coordinamento Protezioni

Ogni cavo di corrente continua sarà protetto direttamente dall'inverter, che impone che ogni canale di ingresso abbia una corrente inferiore a 30A.

La verifica del coordinamento ha esito positivo se è rispettata la seguente condizione:

$$I_N < I_r < I_z$$

dove:

- I_N è la corrente nominale di stringa, pari a 18,88A;
- I_r è la corrente regolata, ovvero settaggio della protezione all'interno dell'inverter, pari a 30 A;
- I_z è la corrente del cavo selezionato, calcolata nel precedente paragrafo, pari a 42 A.

Nel presente caso si ha:

$$18,88 < 30 < 42$$

La portata di corrente e la verifica coordinamento di protezioni di tutte le linee è verificata. OK 

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.1.4 Verifica Caduta di Tensione

Per valutare la caduta di tensione sarà applicata la seguente formula:

$$\Delta v\% = \frac{n \times I_e \times L \times r}{V_e}$$

dove:

- n è una costante che dipende dal sistema di distribuzione, che nel caso di corrente continua è pari a 2;
- I_e è la corrente della singola stringa, che non può essere la corrente di dimensionamento, ma quella di funzionamento a massima potenza, pari a 17,43A;
- L è la lunghezza del tratto di stringa espressa in km, data dalla somma del cavo di stringa con i cavi di modulo:
 - o al fine della verifica del valore della caduta di tensione verrà considerato il valore di lunghezza cavi massima, quindi pari a 310m;
 - o i cavi uscenti da ogni modulo hanno una lunghezza pari a 0,3m; dato che la stringa è composta da 32 moduli, i cavi dei moduli hanno lunghezza pari a 19m.
 La lunghezza totale di stringa è quindi pari a 330, ovvero 0,330km;
- r è la resistenza specifica del conduttore, in accordo con data sheet pari a 3,39 Ω /km;
- V_e è la tensione di esercizio della stringa, che come spiegato è variabile durante l'esercizio; si considera il valore di MPP, quindi pari a $V_{MPP} = 1'370,6V$.

Si può quindi applicare la formula del calcolo della caduta di tensione:

$$\Delta v\%_{media} = \frac{2 \times 17,43 \times 0,330 \times 3,39}{1'370,6} = 2,84 \%$$

Il valore di caduta di tensione per ogni sezione è imitato dalle Norme ed il valore limite è pari al 3%, per cui:

$$\Delta v\%_{MAX} = 2,84\% < 3\%$$

Il dimensionamento del cavo CC rispetta le condizioni di massima caduta di tensione della tratta. OK 

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.1.5 Verifica Tenuta al corto circuito

Per valutare la tenuta al corto circuito (energia passante) sarà applicata la seguente formula:

$$S_{\min} = \frac{I_{CC} \times \sqrt{t}}{k_C}$$

Il funzionamento della sezione in corrente continua dell'impianto fotovoltaico prevede una corrente di corto circuito pari a 18,88A e quindi la verifica della tenuta al corto circuito altro non è che la verifica della portata del cavo, già verificata nei paragrafi precedenti.

3.1.6 Verifica Perdite

Per valutare le perdite dei cavi corrente continua si applica la seguente formula:

$$\Delta P_{CC} = \frac{n \times r \times L \times I_e^2}{P_N}$$

dove:

- n è il numero di fasi della linea, pari a 2 nelle linee in Corrente Continua;
- r è la resistenza specifica del conduttore, in accordo con data sheet pari a 3,39 Ω/km;
- L è la lunghezza del cavo di stringa, espressa in km, si considera la lunghezza media del cavo di stringa, pari a 150m, ovvero 0,150km;
- I_e è la corrente della singola stringa, che non può essere la corrente di dimensionamento, ma quella di funzionamento a massima potenza, pari a 17,43A;
- P_N è la potenza trasmessa dalla stringa a corrente I_e, quindi pari alla potenza di picco della stringa, pari a 0,670x32= 21,44kW.

In conclusione le perdite di potenza nel cavo di stringa sono pari a:

$$\Delta P_{CC} = \frac{2 \times 3,39 \times 0,150 \times 17,43^2}{21'440} = 1,44\%$$

Nel calcolo delle perdite si potrà quindi considerare in via cautelativa un valore medio di perdite collegamenti CC stringa pari a 1,5%.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.2 Cavi BT – Corrente alternata

3.2.1 Tensione di esercizio

La tensione di esercizio è 800V.

La variazione di tensione di rete ammessa su Bassa Tensione (Allegato A68) è 85% V_N ... 115% V_N . La stabilità della tensione di esercizio sulla rete Bassa Tensione è strettamente dipendente dalla stabilità della rete 36 KV, che è garantita dal commutatore sotto carico che è previsto lato AT su ogni trasformatore 150/36 KV di stazione. Il commutatore prevede 25 posizioni ($\pm 12 \times 1,25\%$) e la posizione sarà selezionata automaticamente in base alla misura della tensione lato media: verrà impostato un valore ed un ritardo di intervento per evitare le oscillazioni – tarato tipicamente con ritardo pari a 30s –, il commutatore garantisce di operare in maniera continuativa un intorno più ristretto, 92% V_N ... 108% V_N .

In conclusione i valori di riferimento della tensione di esercizio sono:

$$V_e = 800 V, \quad \text{con intervallo funzionamento su rete BT pari a } 92\% \dots 108\% V_e$$

3.2.2 Corrente di esercizio

La corrente nominale di ogni singola tratta è determinata dall'inverter che è l'elemento generatore dell'impianto fotovoltaico ed alimenta la singola tratta. Facendo riferimento al data sheet della macchina, la corrente di esercizio è pari a:

$$I_N = 180,5 A$$

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.2.3 Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni

Per valutare la portata in corrente devono essere determinati su ogni tratta i coefficienti di declassamento della portata in funzione delle condizioni di installazione.

I coefficienti di declassamento sono in funzione della modalità di posa, che per i cavi in corrente alternata in BT sono:

- direttamente interrati lungo tutto il percorso, in formazione in piano;
- all'interno di tubo corrugato per brevi tratti di raccordo (un tubo per terna cavi inverter), in uscita dall'inverter per evitare l'irraggiamento diretto e in prossimità della cabina di trasformazione per raggiungere il proprio interruttore scatolato.

I coefficienti sono rispettivamente:

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)
Temperatura $\rightarrow k_1 = 1$	Temperatura $\leq 45 \rightarrow k_1 = 0,87$
Tipo di posa: stesso piano, circuiti a distanza 2D $\rightarrow k_2 = 0,80$	Tipo di posa: un circuito per tubo in aria $\rightarrow k_2 = 0,80$
profondità = 0,7m $\rightarrow k_3 = 1$	
resistività terreno = 1,5 °K x m/W $\rightarrow k_4 = 1$	
fattore di sicurezza $\rightarrow k_5 = 1$	fattore di sicurezza $\rightarrow k_5 = 1$
TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,8$	TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,7$

La condizione peggiorativa è quindi della tratta in tubo corrugato.

La verifica ha esito positivo per ogni tratta della condizione:

$$I_N < I_Z$$

dove:

- I_N è la corrente nominale della linea da proteggere;
- I_Z è la portata del cavo.

I_N	Configurazione Cavo	Portata lorda	k tot	I_Z	Verifica
180,5A	1//(3x240)	413	0,7	289,1	OK

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.2.3.1 Coordinamento Protezioni

Deve essere verificato anche il coordinamento protezioni, ed ogni cavo di corrente alternata sarà protetto dall'interruttore scatolato (MCCB), che avrà anche funzione di Interruttore Generale di Generatore (Inverter), con soglie regolabili in funzione della propria corrente nominale 250A. A lato è riportato un estratto del catalogo ABB che illustra le caratteristiche elettriche principali che deve avere l'interruttore – Tmax T4-L relè PR221DS.

Il settaggio di questo relè per la protezione cavo BT è il seguente:

Protezione linee inverter BT Relè PR221DS

Termica → 200A t=0,7s

Magnetica → $I \geq 5I_N$ t=40ms

		Tmax T4	
Corrente ininterrotta nominale	[A]	250	
Poli		3, 4	
Tensione nominale d'impiego, U _e (AC) 50-60 Hz	[V]	1000	1150
Tensione nominale di tenuta ad impulso, U _{imp}	[kV]	8	
Tensione nominale d'isolamento, U _i	[V]	1000	1150
Tensione di prova a frequenza industriale per 1 min.	[V]	3500	
Potere di interruzione nominale limite in cortocircuito, I _{cu}	[kA]	12	20
(AC) 50-60 Hz 1000 V	[kA]	12	20
(AC) 50-60 Hz 1150 V	[kA]	12	20
Potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito, I _{cs}	[kA]	12	12
(AC) 50-60 Hz 1000 V	[kA]	12	12
(AC) 50-60 Hz 1150 V	[kA]	12	12
Potere di chiusura nominale in cortocircuito, I _{cm}	[kA]	6	
(AC) 50-60 Hz 1000 V	[kA]	24	40
(AC) 50-60 Hz 1150 V	[kA]	24	40
Categoria di utilizzazione (IEC 60947-2)		A	
Attitudine al sezionamento		■	
Norma di riferimento		IEC 60947-2	
Sganciatori termomagnetici	TMD	■	
	TMA	■	
Sganciatori elettronici	PR21DS/LS/I	■	
	PR21DS/I	■	
	PR22DS/P_LSI	■	
	PR22DS/P_LSIG	■	
	PR22DS/PD_LSI	■	
	PR22DS/PD_LSIG	■	
	PR22MP	■	
Terminali		FC Cu - F - EF	
Esecuzione		F, R, W	F
Vita meccanica	[Nr. manovre]	20000	
	[Nr. manovre orarie]	240	
Dimensioni base faso ⁹	3 poli	L [mm]	105
	4 poli	L [mm]	140
		P [mm]	103,5
		H [mm]	295
Peso	fisso	3/4 poli	[kg] 2,95 / 3,05 2,95 / 3,05
	rimovibile	3/4 poli	[kg] 3,6 / 4,65
	estrabile	3/4 poli	[kg] 3,85 / 4,9

La verifica del coordinamento ha esito positivo se è rispettata la seguente condizione:

$$I_N < I_r < I_z$$

dove:

- I_N è la corrente nominale della linea da proteggere, pari a 180,5A;
- I_r è la corrente regolata, ovvero settaggio della protezione, pari a 200A;
- I_z è la corrente calcolata nel precedente paragrafo, pari a 289,1A.

Nel presente caso si ha:

$$180,5 < 200 < 289,1 A$$

La portata di corrente e la verifica coordinamento di protezioni di tutte le linee è verificata. **OK** 

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.2.4 Verifica Caduta di Tensione

Per valutare la caduta di tensione sarà applicata la seguente formula:

$$\Delta v\% = \frac{n \times I_e \times L \times r}{V_e}$$

dove:

- n una costante che dipende dal sistema di distribuzione, che nel caso di corrente continua è pari a $\sqrt{3} = 1,73$;
- I_e è la corrente di esercizio del singolo inverter, pari a 180,5A;
- L è la lunghezza del tratto di inverter, si considera l'inverter che ha il tratto più lungo, con L pari a 200m;
- r è la resistenza specifica del conduttore, in accordo con data sheet pari a 0,164 Ω /km a 20°C che riportati a 60°C sono pari a 0,187 Ω /km;
- V_e è la tensione di esercizio, pari a 800V

Si può quindi applicare la formula del calcolo della caduta di tensione:

$$\Delta v\% = \frac{1,73 \times 180,5 \times 0,200 \times 0,187}{800} = 1,46\%$$

e quindi:

$$\Delta v\%_{CC} = 1,46\% < 3\% = \Delta v\%_{MAX}$$

Il dimensionamento del cavo CA rispetta le condizioni di massima caduta di tensione della tratta. OK 

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.2.5 Verifica Tenuta al corto circuito

Per valutare la tenuta al corto circuito (energia passante) sarà applicata la seguente formula:

$$S_{\min} = \frac{I_{CC} \times \sqrt{t}}{k_C}$$

dove:

- I_{CC} è la corrente di corto circuito a cui è sottoposto il cavo in analisi; in questo caso sarà determinata in base alla taglia del trasformatore 36 KV/BT
- T è il tempo di permanenza del guasto sul cavo, e quindi dipende dal settaggio dell'interruttore di protezione del cavo, in particolare del tempo di intervento
- K_C è una costante che dipende dal tipo di materiale da cui è costituito il cavo.

Tale verifica sarà eseguita in fase di progettazione esecutiva.

3.2.6 Verifica Perdite

Per valutare le perdite dei cavi corrente continua si applica la seguente formula:

$$\Delta P_{CA} = \frac{n \times r \times L \times I_e^2}{P_N}$$

dove:

- n è il numero di fasi della linea, pari a 3 nelle linee in Corrente Alternata;
- r è la resistenza specifica del conduttore, in accordo con data sheet pari a 0,164 Ω /km a 20°C che riportati a 60°C sono pari a 0,187 Ω /km;
- L è la lunghezza del cavo dell'inverter, si considera la lunghezza media del cavo pari a 50m;
- I_e è la corrente del singolo inverter, pari a 180,5A;
- P_N è la potenza trasmessa dalla singola linea AC a corrente I_e , quindi pari alla potenza inverter, pari a 250,0kW.

Tale verifica sarà eseguita in fase di progettazione esecutiva, tenendo conto di non superare il valore di

$$\Delta P_{CA} = 0,6\%$$

Nel calcolo delle perdite si potrà quindi considerare in via cautelativa un valore medio di perdite collegamenti CA pari a 0,6%.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3 Cavi in 36 KV

I cavi in 36 KV da verificare sono di due tipologie: cavi 36 KV di distribuzione secondaria e cavi 36 KV di distribuzione primaria.

3.3.1 Tensione di esercizio

La tensione di esercizio della rete di 36 KV del presente impianto è 36'000V.

La variazione di tensione di rete ammessa su Alta Tensione (Allegato A68) è 85% V_N ... 115% V_N . La stabilità della tensione di esercizio sulla rete 36 KV è garantita dal commutatore sotto carico che è previsto lato AT su ogni trasformatore 150/36 KV di sottostazione, che è posizionata nelle immediate vicinanze del campo. Il commutatore prevede 25 posizioni ($\pm 12 \times 1,25\%$) e la posizione sarà selezionata automaticamente in base alla misura della tensione lato media: verrà impostato un valore ed un ritardo di intervento per evitare le oscillazioni – tarato tipicamente con ritardo pari a 30s –, il commutatore garantisce di operare in maniera continuativa un intorno più ristretto, 95% V_N ... 105% V_N .

In conclusione i valori di riferimento della tensione di esercizio sono:

$$V_e = 36'000 \text{ V, con intervallo funzionamento su rete 36 KV pari a } 95\% \dots 108\% V_e$$

3.3.2 Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni

La corrente nominale di ogni singola tratta è determinata dalla potenza trasmessa, che in prima approssimazione equivale a dire il numero di inverter che è l'elemento generatore sottesi alla singola tratta.

Per valutare la portata in corrente devono essere determinati su ogni tratta i coefficienti di declassamento della portata in funzione delle condizioni di installazione.

I coefficienti di declassamento sono in funzione della modalità di posa, che per i cavi di 36 KV sono:

- direttamente interrati lungo tutto il percorso, in formazione a trifoglio;
- all'interno di tubo corrugato agli estremi (un tubo per terna cavi inverter), in ingresso ed in uscita dalle varie cabine di collegamento.

I coefficienti sono rispettivamente:

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)
Temperatura $\rightarrow k_1 = 1$	Temperatura $\leq 45^\circ\text{C} \rightarrow k_1 = 0,87$
Tipo di posa: stesso piano, circuiti a contatto $\rightarrow k_2 = 0,80$	Tipo di posa: più circuiti per tubo in aria $\rightarrow k_2 = 0,80$
profondità = 0,7m $\rightarrow k_3 = 1$	
resistività terreno = $1,5 \text{ }^\circ\text{K} \times \text{m/W} \rightarrow k_4 = 1$	
fattore di sicurezza $\rightarrow k_5 = 0,95$	fattore di sicurezza $\rightarrow k_5 = 0,95$
TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,76$	TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,66$

(*) = il valore di portata del cavo solare è già dichiarato a 60°C , per cui in via cautelativa si considera un fattore di temperatura unitario.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Si determina ora la condizione peggiorativa prendendo ad esempio il cavo da 300mm², seguendo l'indicazione fornita dal costruttore a seconda che sia direttamente interrata (570A) o in tubo (695A), calcoliamo la condizione peggiorativa:

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)
Portata Cavo interrato Lorda = 570A	Portata Cavo in aria Lorda = 695A
$k_{TOT} = 0,76$	$k_{TOT} = 0,66$
Portata Cavo Netta = 433,2A	Portata Cavo Netta = 458,7A

La condizione peggiorativa è quindi la tratta direttamente interrata, che verrà verificata per ogni tipologia di cavo e per il cavidotto principale esterno, per il quale non sono previsti tubi corrugati.

La verifica ha esito positivo per ogni tratta se:

$$I_N < I_Z$$

dove:

- I_N è la corrente nominale della linea da proteggere;
- I_Z è la portata del cavo.

3.3.2.1 Coordinamento Protezioni

Nella sezione di verifica della portata di corrente, dovrà essere verificato anche il coordinamento protezioni.

Il criterio per il settaggio delle protezioni lato 36 KV è il seguente:

Protezione linee radiali 36 KV	Relè di protezione elettronica
	51> → $I \geq 1,1I_N$ t=1s
	51>> → $I \geq 3I_N$ t=430ms
	51>>> → $I > 5I_N$ t=100ms

La verifica del coordinamento ha esito positivo se è rispettata la seguente condizione:

$$I_N < I_b < I_Z$$

dove:

- I_N è la corrente nominale della linea da proteggere;
- I_b è la corrente regolata, ovvero settaggio della protezione 51>;
- I_Z è la corrente del cavo, ovvero quella calcolata con la portata del cavo.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Cavo MT		L [m]	Inverter connected (nr)	In (A)	Voltage (kV)	Cable Type	Section	Rating factors		Protection			
								Iz'	Iz	Device	Ib	Ib<In	In<Iz
CS	C10	580	6	237	36	RG7H1R	1x300	570	433	Elt Relay	261	OK	OK
C10	C9	54	6	213	36	RG7H1R	1x300	570	433	Elt Relay	234	OK	OK
C9	C8	25	6	189	36	RG7H1R	1x240	510	388	Elt Relay	208	OK	OK
C8	C7	60	6	165	36	RG7H1R	1x240	510	388	Elt Relay	181	OK	OK
C7	C6	25	6	140	36	RG7H1R	1x240	510	388	Elt Relay	155	OK	OK
C6	C5	130	6	116	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	128	OK	OK
C5	C4	30	5	92	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	102	OK	OK
C4	C3	60	6	72	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	79	OK	OK
C3	C1	130	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	53	OK	OK
C1	C2	20	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	26	OK	OK
CS	C29	190	5	213	36	RG7H1R	1x300	570	433	Elt Relay	234	OK	OK
C29	C24	250	6	193	36	RG7H1R	1x240	510	388	Elt Relay	212	OK	OK
C24	C23	195	6	169	36	RG7H1R	1x240	510	388	Elt Relay	185	OK	OK
C23	C22	25	6	145	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	159	OK	OK
C22	C21	25	6	120	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	132	OK	OK
C21	C20	100	6	96	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	106	OK	OK
C20	C19	25	6	72	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	79	OK	OK
C19	C12	120	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	53	OK	OK
C12	C11	25	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	26	OK	OK
CS	C28	115	6	241	36	RG7H1R	1x300	570	433	Elt Relay	265	OK	OK
C28	C27	25	6	217	36	RG7H1R	1x240	510	388	Elt Relay	238	OK	OK
C27	C26	100	6	193	36	RG7H1R	1x240	510	388	Elt Relay	212	OK	OK
C26	C25	25	6	169	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	185	OK	OK
C25	C18	90	6	145	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	159	OK	OK
C18	C17	25	6	120	36	RG7H1R	1x150	385	293	Elt Relay	132	OK	OK
C17	C16	80	6	96	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	106	OK	OK
C16	C15	25	6	72	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	79	OK	OK
C15	C14	100	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	53	OK	OK
C14	C13	25	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	Elt Relay	26	OK	OK
CS	SE	6900	301	1208	36	RG7H1R	3x(1x500)	2205	1455	Elt Relay	1329	OK	OK

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.3 Verifica Caduta di Tensione

Per valutare la caduta di tensione sarà applicata la seguente formula:

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \times I_N \times L \times (r \times \cos \phi + x \times \sin \phi)}{V_e}$$

dove:

- I_N è la corrente di riferimento per la tratta, calcolata come multiplo della corrente di ogni cabina;
- L è la lunghezza della tratta, espressa in km, ricavata dal lay-out;
- r è la resistenza specifica, espressa in Ω/km , ricavata dalla tipologia di cavo utilizzata;
- x è la reattanza specifica, espressa in Ω/km , ricavata dalla tipologia di cavo utilizzata;
- $\cos \phi$ è il fattore di potenza del carico, posto pari a 0,99 per il tratto 36 KV;
- $\sin \phi$ si deriva dal fattore di potenza;
- V_e è la tensione di esercizio, pari a 36'000V.

Dovrà essere calcolata la caduta di tensione di ogni singola linea 36 KV, ovvero dalla cabina SSE all'ultima cabina di trasformazione di ogni linea radiale, sommando i vari contributi di ogni tratta che costituisce la linea 36 KV.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Cavo MT		L [m]	Inverter connected (nr)	In (A)	Voltage (kV)	Cable Type	Section	Rating factors		Voltage drop calculation				
								lz'	lz	R cable Ohm/m (@20°C)	R cable Ohm/m (@60°C)	Voltage drop (V)	Single Path	TOTAL
CS	C10	580	6	237	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,060	0,069	16,516	0,05%	0,08%
C10	C9	54	6	213	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,060	0,069	1,381	0,00%	0,03%
C9	C8	25	6	189	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,075	0,087	0,711	0,00%	0,03%
C8	C7	60	6	165	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,075	0,087	1,490	0,00%	0,03%
C7	C6	25	6	140	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,075	0,087	0,530	0,00%	0,02%
C6	C5	130	6	116	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	3,754	0,01%	0,02%
C5	C4	30	5	92	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	0,687	0,00%	0,01%
C4	C3	60	6	72	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	1,075	0,00%	0,01%
C3	C1	130	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	2,418	0,01%	0,01%
C1	C2	20	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	0,186	0,00%	0,00%
Radiale MT 1 TOT														0,08%
CS	C29	190	5	213	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,060	0,069	4,860	0,01%	0,07%
C29	C24	250	6	193	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,075	0,087	7,266	0,02%	0,05%
C24	C23	195	6	169	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,075	0,087	4,959	0,01%	0,03%
C23	C22	25	6	145	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	0,896	0,00%	0,02%
C22	C21	25	6	120	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	0,747	0,00%	0,02%
C21	C20	100	6	96	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	2,390	0,01%	0,02%
C20	C19	25	6	72	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	0,697	0,00%	0,01%
C19	C12	120	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	2,232	0,01%	0,01%
C12	C11	25	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	0,232	0,00%	0,00%
Radiale MT 2 TOT														0,07%
CS	C28	115	6	241	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,060	0,069	3,330	0,01%	0,05%
C28	C27	25	6	217	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,075	0,087	0,817	0,00%	0,04%
C27	C26	100	6	193	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,075	0,087	2,906	0,01%	0,04%
C26	C25	25	6	169	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	1,046	0,00%	0,03%
C25	C18	90	6	145	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	3,226	0,01%	0,03%
C18	C17	25	6	120	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,124	0,143	0,747	0,00%	0,02%
C17	C16	80	6	96	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	2,976	0,01%	0,02%
C16	C15	25	6	72	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	0,697	0,00%	0,01%
C15	C14	100	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	1,860	0,01%	0,01%
C14	C13	25	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,193	0,223	0,232	0,00%	0,00%
Radiale MT 3 TOT														0,05%
CS	SE	6900	301	1208	36	RG7H1R	3x(1x500)	2205	1455	0,012	0,014	203,480	0,57%	0,57%
Connessione MT (CS-SSE)														0,57%

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.4 Tenuta al corto circuito

Per valutare la tenuta al corto circuito (energia passante) sarà applicata la seguente formula:

$$S_{\min} = \frac{I_{CC} \times \sqrt{t}}{k_C}$$

dove:

- I_{CC} è la corrente di corto circuito sulla tratta in analisi; considerata la specificità del presente impianto, abbiamo un massimo pari a circa 10kA, che sarà poi abbattuto dal cavidotto 36 KV, che nel presente impianto è particolarmente lungo (circa 6,9km), per cui la I_{CC} sarà largamente inferiore ai 5kA;
- t è il tempo di estinzione del guasto, pari a 170ms (100ms ritardo intenzionale del relè protezione 36 KV + 70ms tempo medio dell'effettiva apertura dei circuiti dell'interruttore dal comando del relè);
- k_C è un fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore, dal materiale isolante e dal tipo di conduttore utilizzato; nel presente caso pari a 116.

La verifica della tenuta al corto circuito ha esito positivo se è rispettata la seguente condizione:

$$S_{\text{tratta}} > S_{\min}$$

Tutte le linee hanno l'ultimo tratto di alimentazione di una singola cabina di trasformazione in configurazione 3//(1x95) mm², che è quindi la sezione minima di ogni tratta.

Si può quindi applicare la formula di verifica di tenuta all'energia passante:

$$S_{\min} = \frac{I_{CC} \times \sqrt{t}}{k_C} = \frac{5'000 \times \sqrt{0,170}}{116} = 17,7 \text{ mm}^2$$

e quindi:

$$S_{\text{tratta}} = 95 > 17,7 = S_{\min}$$

Il cavo è in grado di supportare l'energia passante di corto circuito in ogni sua tratta. OK 

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.5 Perdite

Per valutare le perdite della linea si dovrà applicare la seguente formula ad ogni singola linea di alimentazione della cabina x:

$$\Delta P_x = \frac{n \times \sum_0^n (r \times L) \times I_{Nx}^2}{P_{Nx}}$$

dove:

- n è il numero di fasi della linea, pari a 3 nelle linee in 36 KV;
- $\Sigma (r \times L)$ è la sommatoria delle resistenze specifiche di ogni singola tratta di lunghezza L che compone il collegamento tratta x;
- I_{Nx} è la corrente nominale della tratta x;
- P_{Nx} è la potenza attiva nominale della tratta x.

Dovrà essere verificata la sezione di ogni singola linea 36 KV, ovvero dalla cabina SSE all'ultima cabina di trasformazione di ogni linea radiale, sommando le perdite di ogni tratta che costituisce la linea 36 KV.

Non ci sono condizioni di massime perdite imposte dalle Norme di riferimento, ma essendo un impianto di produzione di energia elettrica, si vogliono limitare il più possibile le perdite in modo da massimizzare l'energia in uscita dal contatore di energia nel Punto di Misura Fiscale (Punto di Consegna impianto Utente-Produttore).

Di seguito il calcolo puntuale di ogni radiale 36 KV:

Cavo MT	L [m]	Inverter connected (nr)	In (A)	Voltage (kV)	Cable Type	Section	Rating factors		Power Losses				
							lz'	lz	R cable Ohm/m (@60°C)	Single Path Losses	Relative Losses	TOT	
CS	C10	580	6	237	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,069	6783	0,53%	0,72%
C10	C9	54	6	213	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,069	510	0,04%	
C9	C8	25	6	189	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,087	233	0,02%	
C8	C7	60	6	165	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,087	425	0,03%	
C7	C6	25	6	140	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,087	129	0,01%	
C6	C5	130	6	116	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	758	0,06%	
C5	C4	30	5	92	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	110	0,01%	
C4	C3	60	6	72	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	135	0,01%	
C3	C1	130	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	202	0,02%	
C1	C2	20	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	8	0,00%	
CS	C29	190	5	213	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,069	1793	0,17%	0,55%
C29	C24	250	6	193	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,087	2428	0,19%	
C24	C23	195	6	169	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,087	1450	0,11%	
C23	C22	25	6	145	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	225	0,02%	
C22	C21	25	6	120	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	156	0,01%	
C21	C20	100	6	96	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	399	0,03%	
C20	C19	25	6	72	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	87	0,01%	
C19	C12	120	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	186	0,01%	
C12	C11	25	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	10	0,00%	
CS	C28	115	6	241	36	RG7H1R	1x300	570	433	0,069	1391	0,11%	0,36%
C28	C27	25	6	217	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,087	307	0,02%	
C27	C26	100	6	193	36	RG7H1R	1x240	510	388	0,087	971	0,08%	
C26	C25	25	6	169	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	306	0,02%	
C25	C18	90	6	145	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	809	0,06%	
C18	C17	25	6	120	36	RG7H1R	1x150	385	293	0,143	156	0,01%	
C17	C16	80	6	96	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	497	0,04%	
C16	C15	25	6	72	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	87	0,01%	
C15	C14	100	6	48	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	155	0,01%	
C14	C13	25	6	24	36	RG7H1R	1x95	300	228	0,223	10	0,00%	
CS	SE	6900	301	1208	36	RG7H1R	3x(1x500)	2205	1455	0,014	426338	0,66%	0,66%

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4 Conclusioni

La presente relazione di calcolo dimensionamento cavi ha mostrato criteri di accettabilità e verifica di tutti i parametri elettrici, che hanno avuto tutte esito positivo.

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Appendice 1 – Cavi DC di Stringa

Di seguito si riporta un datasheet di un fornitore primario per la tipologia di cavo selezionata.

BASSA TENSIONE / LOW VOLTAGE

Energia solare
Solar energy

FG21M21 

0,6/1 kV



Norma di riferimento

CEI 20-91 febbraio 2010; V1 ottobre 2010 e V2 marzo 2013

Descrizione del cavo

Conduttore

Flessibile rame stagnato secondo CEI 20-29 classe 5

Isolante

HEPR - tipo G21

Identificazione anima isolata

Colore naturale

Guaina

Mescola elastomerica reticolata senza alogeni tipo M21

Colori della guaina

Nero, rosso, blu

Marcatura

PRYSMIAN (*) P-Sun™ FG21M21 - 1 x sez. mm²
anno IEMMEQU

(*) sigla sito produttivo

Applicazioni

Progettati per l'impiego e l'interconnessione dei vari elementi in impianti fotovoltaici per la produzione di energia. Possono essere installati sia all'interno che all'esterno in posa fissa o mobile (non gravosa), senza protezione. Posa possibile anche in canaline e tubazioni in vista o incassate. Adatti anche per posa direttamente interrata o in tubi interrati secondo le prescrizioni della norma CEI 11-17

Standard

CEI 20-91 february 2010; V1 october 2010 and V2 march 2013

Design features

Conductor

Tinned copper, flexible, according to CEI 20-29 class 5

Insulation

HEPR - type G21

Core identification

Natural colour

Sheat

Cross-linked elastomeric halogen free compound type M21

Sheath-colours

Black, red, blue

Marking

PRYSMIAN (*) P-Sun™ FG21M21 - 1 x sez.mm² year
IEMMEQU

(*) production site label

Applications

Intended for use in photovoltaic power supply systems and similar applications. Suitable for fixed and mobile installation (not heavy) both indoor and outdoor, without protection. Can also be installed in raceways and conduits either visible or covered. Also suitable for installation directly underground, or buried in tubes underground according to CEI 11-17

Informazioni per la scelta dei cavi / Cables selection data

Formazione nominale <i>Nominal cross-section</i>	Diametro conduttore indicativo <i>Conductor diameter (approx.)</i>	Spessore isolante minimo medio <i>Insulation thickness (min. medium)</i>	Spessore guaina minimo medio <i>Sheath thickness (min. medium)</i>	Diametro esterno massimo <i>Outer diameter (max.)</i>	Peso indicativo <i>Weight (approx.)</i>	Resistenza elettrica in c. c. a 20 °C massima <i>Electrical D.C. resistance at 20 °C (max.)</i>	Portata di corrente a 60 °C in aria singolo cavo <i>Current carrying capacity at 60 °C in air 1 cable</i>
(n x mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ω/km)	(A)
1 x 1,5	1,5	0,7	0,8	5,1	35	13,7	30
1 x 2,5	2,0	0,7	0,8	5,7	46	8,21	41
1 x 4	2,5	0,7	0,8	6,2	60	5,09	55
1 x 6	3,0	0,7	0,9	6,9	85	3,39	70
1 x 10	3,9	0,7	1,0	8,2	130	1,95	98
1 x 16	5,0	0,7	1,0	9,3	195	1,24	132
1 x 25	6,4	0,9	1,1	11,4	290	0,795	176
1 x 35	7,7	0,9	1,1	12,8	376	0,565	218
1 x 50	9,2	1,0	1,2	14,8	535	0,393	276
1 x 70	11,0	1,1	1,2	16,9	740	0,277	347
1 x 95	12,5	1,1	1,3	18,7	940	0,210	416
1 x 120	14,2	1,2	1,3	20,7	1215	0,164	488
1 x 150 (*)	15,8	1,4	1,4	23,5	1530	0,132	566
1 x 185 (*)	17,5	1,6	1,4	25,2	1820	0,108	644
1 x 240 (*)	20,1	1,7	1,5	28,3	2340	0,0817	775

Per portate di corrente in diverse condizioni di posa vedi CEI 20-91; V2

For current carrying capacity in different installation conditions refer to CEI 20-91; V2

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Parametri elettrici / Electrical parameters

Tensione massima in c.a. (U_{m}) / Rated voltage in a.c. U_0/U (U_{m})	1200 V
Tensione massima in c.c. (U_{m}) / Maximum permissible operating voltage in DC systems	1800 V anche verso terra / also to earth
Tensione di prova / Test voltage	6,5 kV
Altre prove / Tests	Resistenza del conduttore, spark test, prova di tensione sui cavi finiti, resistenza superficiale della guaina, resistenza d'isolamento a 20 °C e 90 °C, stabilità in corrente continua CEI EN 50305 parte 6.7 Conductor resistance, test voltages AC and DC, electric strength, surface resistance, spark test on insulation, insulation resistance 20 °C and 90 °C, DC stability according to CEI EN 50305 part 6.7

Parametri termici / Thermal parameters

Temperatura ambiente / Ambient temperature	Min. - 40 °C; max. + 90 °C
Max temperatura del conduttore / Maximum permissible operating temperature of the conductor	+ 120 °C (in condizioni di sovraccarico) / (in overload conditions)
Temperatura di cortocircuito / Short-circuit temperature	+ 250 °C (sul conduttore, max. 5 sec.) / (on the conductor, max 5 sec.)
Resistenza freddo / Resistance to cold	Prove di piegatura e allungamento a -40 °C, secondo EN 60811-1-4 Resistenza all'impatto a -25 °C, secondo EN 60811-1-4 Bending and elongation test at -40 °C, according to EN 60811-1-4 Impact test at -25 °C according to EN 60811-1-4
Verifica comportamento a lungo termine / Long term behaviour	+ 120 °C - 20.000 h, secondo EN 60216-1 / EN 60216-2 + 120 °C - 20.000 h, according to EN 60216-1 / EN 60216-2

Parametri meccanici / Mechanical parameters

Sforzo di trazione durante la posa / Tensile load during installation	50 N/mm ² max.
Sforzo di trazione in esercizio / Tensile load in operation	15 N/mm ² max.
Raggio di curvatura minimo / Minimum bending radius	≤ 8 mm posa fissa 3 x D, movimento libero 4 x D > 8 mm posa fissa 4 x D, movimento libero 6 x D ≤ 8 mm fixed installation 3 x D, free movement 4 x D > 8 mm fixed installation 4 x D, free movement 6 x D

Parametri chimici / Chemical parameters

Resistenza all'olio minerale / Mineral oil resistance	4 h, 100 °C prova secondo EN 60811-2-1 4 h, 100 °C according to EN 60811-2-1
Resistenza agli agenti atmosferici / Weather resistance	Resistenza ozono secondo EN 50396 art. 8.1.3 Resistenza UV, metodo secondo HD 605 par. 2.4.20 Assorbimento acqua (metodo gravimetrico) secondo EN 60811-1-3 Ozone resistance according to EN 50396 art. 8.1.3 UV-resistance according to HD 605 par. 2.4.20 Absorption of water (gravimetric) according to EN 60811-1-3
Comportamento in caso di incendio / Behaviour in case of fire	Non propagazione della fiamma, prova su singolo cavo secondo EN 60332-1-2 Basse emissioni di fumi secondo CEI EN 61034-2 Corrosività secondo CEI EN 50267-2. Tossicità secondo CEI 20-37/4 Flame propagation, single cable according to EN 60332-1-2 Low smoke emission according to CEI EN 61034-2 Corrosivity according to CEI EN 50267-2. Toxicity according to CEI 20-37/4
Compatibilità ambientale / Ambient compatibility	In accordo alle norme sulla riciclabilità ed lo smaltimento (in assenza di sostanze inquinanti ed alogene) Given in terms of recycling, disposal and energy-saving production (free of pollutants and halogens)

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Appendice 2 – Cavi AC di String Inverter

Di seguito si riporta un datasheet di un fornitore primario per la tipologia di cavo selezionata.

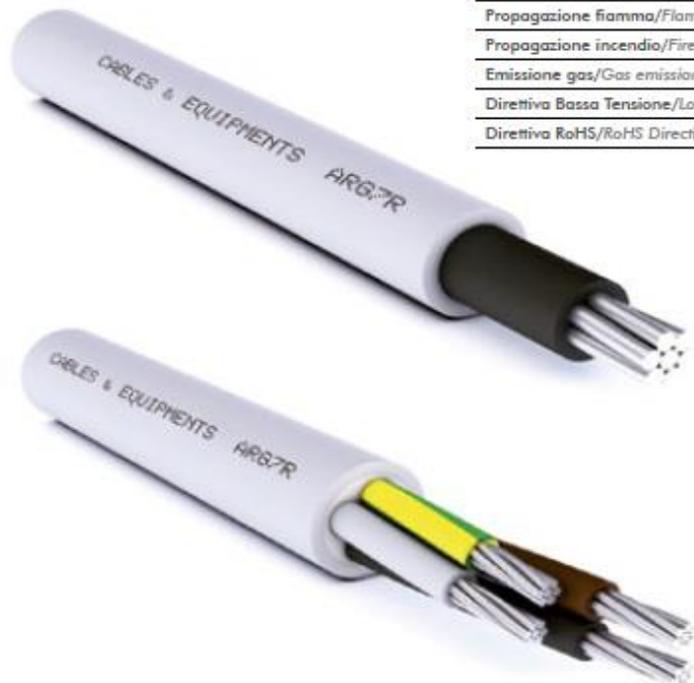
CAVI BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - POWER

ARG7R - ARG7OR 0,6/1 kV

BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - ENERGY



RIFERIMENTO NORMATIVO/STANDARD REFERENCE	
Costruzione e requisiti/Construction and specifications	CEI 20-13
Propagazione fiamma/Flame propagation	CEI EN 60332-1-2
Propagazione incendio/Fire propagation	CEI EN 20-22 II
Emissione gas/Gas emission	CEI EN 50267-2-1
Direttiva Bassa Tensione/Low Voltage Directive	2006/95/CE
Direttiva RoHS/RoHS Directive	2011/65/CE



CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U_0/U : 0,6/1 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura minima di posa: 0°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C fino alla sezione 240 mm², oltre 220°C
- Sforzo massimo di trazione: 50 N/mm²
- Raggio minimo di curvatura: 6 volte il diametro esterno massimo

CARATTERISTICHE PARTICOLARI:
Buona resistenza agli oli e ai grassi industriali. Buon comportamento alle basse temperature.

CONDIZIONI DI IMPIEGO:
Per trasporto energia nell'edilizia industriale e/o residenziale. Adatto per impiego all'interno in locali anche bagnati o all'esterno; posa fissa su murature e strutture metalliche. Ammessa anche la posa interrata.

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

- Nominal voltage U_0/U : 0,6/1 kV
- Maximum operating temperature: 90°C
- Minimum operating temperature: -15°C (without mechanical stress)
- Minimum installation temperature: -0°C
- Maximum short circuit temperature: 250°C up to 240 mm² section, over 220°C
- Maximum tensile stress: 50 N/mm²
- Minimum bending radius: 6 x maximum external diameter

SPECIAL FEATURES
Good resistance to oils and industrial fats, good behavior at low temperatures.

USE AND INSTALLATION
Power cable for industrial and/or residential uses. Suitable to be used indoor or outdoor even in wet environments; it can be fixed on walls and/or metal structures. Laying underground allowed.



00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

CAVI BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - POWER
ARG7R - ARG7OR 0,6/1 kV
Bipolari/2 cores

Formazione Size	Ø Indicativo conduttore Approx. conduct. Ø	Spessore medio isolante Average insulation thickness	Spessore medio guaina Average sheath thickness	Ø esterno max Outer Ø	Peso Indicativo cavo Approx. cable weight	Resistenza elettrica max a Max electrical resistance at 20° C	Portata di corrente Current rating A					
							In aria a in air at 30° C	In tubo in aria a in pipe in air at 30° C	Interrato a Underground at 20° C			
n° x mm²	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km	K=1	K=1,5	K=1	K=1,5		
2 x 10	3,50	0,7	1,8	18,8	131	3,08	45	30	75	73	58	52
2 x 16	4,90	0,7	1,8	18,8	181	1,91	70	64	98	89	75	70
2 x 25	6,10	0,9	1,8	22,1	272	1,20	102	88	119	110	95	88
2 x 35	7,10	0,9	1,8	24,8	349	0,888	138	110	141	131	115	108
2 x 50	8,20	1,0	1,8	28,1	463	0,841	184	131	187	154	134	124
2 x 70	9,90	1,1	1,9	31,7	628	0,828	218	175	204	189	173	160
2 x 95	11,40	1,1	2,0	35,9	832	0,443	281	209	245	228	198	181
2 x 120	13,10	1,2	2,1	39,8	1036	0,320	310	250	277	258	238	220
2 x 150	14,40	1,4	2,2	44,2	1291	0,208	350	280	313	289	250	231

N.B. I valori di portata di corrente sono riferiti a: n°2 conduttori attivi - Profondità di

posa 0,8 m per i cavi interrati

N.B. Current rating values are referred to: n° 2 loaded conductors - Installation depth

for underground cables 0,8 m

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

Tripolari/3 cores

3 x 10	3,50	0,7	1,8	17,5	159	3,08	45	30	75	73	58	52
3 x 16	4,90	0,7	1,8	19,7	225	1,91	70	64	98	89	75	70
3 x 25	6,10	0,9	1,8	23,4	343	1,20	102	88	119	110	95	88
3 x 35	7,10	0,9	1,8	26,2	443	0,888	138	110	141	131	115	108
3 x 50	8,20	1,0	1,8	29,9	577	0,841	184	131	187	154	134	124
3 x 70	9,90	1,1	1,9	34,1	814	0,828	218	175	204	189	173	160
3 x 95	11,40	1,1	2,0	38,3	1081	0,443	281	209	245	228	198	181
3 x 120	13,10	1,2	2,1	42,5	1342	0,320	310	250	277	258	238	220
3 x 150	14,40	1,4	2,3	47,4	1689	0,208	350	280	313	289	250	231
3 x 185	16,20	1,6	2,4	52,9	2047	0,253	415	334	350	324	300	278
3 x 240	18,40	1,7	2,6	59,3	2984	0,184	490	392	413	382	351	308
3 x 300	20,85	1,8	2,8	65,2	3353	0,125	567	-	454	420	400	370

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. Current rating values are referred to: n° 3 loaded conductors - Installation depth

for underground cables 0,8 m

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

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Appendice 3 – Cavi 36 KV

Di seguito si riporta un datasheet di un fornitore primario per la tipologia di cavo selezionata.

CAVI MEDIA TENSIONE - ENERGIA
MEDIUM VOLTAGE CABLES - POWER

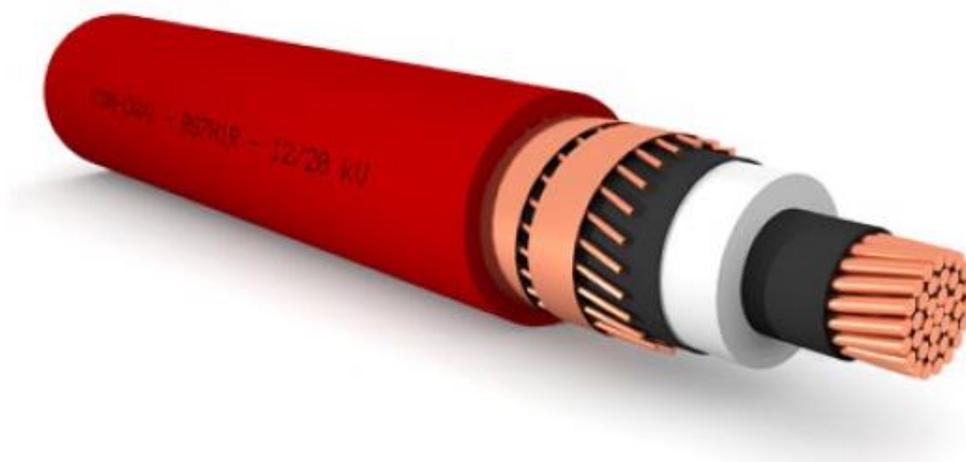
RG7H1R 1.8/3 kV - 26/45 kV

MEDIA TENSIONE - SENZA PIOMBO
MEDIUM VOLTAGE - LEAD-FREE

RIFERIMENTO NORMATIVO/STANDARD REFERENCE

Costruzione e requisiti/Construction and specifications	IEC 60502 CEI 20-13
Misura delle scariche parziali/Measurement of partial discharges	CEI 20-16 IEC 60885-3
Propagazione fiamma/Flame propagation	CEI EN 60332-1-2



Le immagini sono puramente illustrative e oggetto di copyright ©

DESCRIZIONE:

Cavi unipolari isolati in gomma HEPR di qualità G7, sotto guaina di PVC.

CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U_0/U : 1,8/3 ÷ 26/45 kV
- Temperatura massima di esercizio: 90°C
- Temperatura minima di esercizio: -15°C (in assenza di sollecitazioni meccaniche)
- Temperatura minima di posa: 0°C
- Temperatura massima di corto circuito: 250°C
- Raggio minimo di curvatura consigliato: 12 volte il diametro del cavo.
- Massimo sforzo di trazione consigliato: 60 N/mm² di sezione del rame

CONDIZIONI DI IMPIEGO:

Adatto per il trasporto di energia tra le cabine di trasformazione e le grandi utenze. Per posa in aria libera, in tubo o canale. Ammessa la posa interrata anche non protetta, in conformità all'art. 4.3.11 della norma CEI 11-17.

DESCRIPTION:

Single-core cables, insulated with HEPR rubber of G7 quality, under PVC sheath.

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

- Nominal voltage U_0/U : 1,8/3 ÷ 26/45 kV
- Maximum operating temperature: 90°C
- Min. operating temperature: -15°C (without mechanical shocks)
- Minimum installation temperature: 0°C
- Maximum short circuit temperature: 250°C
- Recommended minimum bending radius: 12 times the cable diameter.
- Recommended maximum tensile stress: 60 N/mm² of the cross-section of the copper

USE AND INSTALLATION

Suitable for energy transmission between transform power users. For laying on air, into tube or open pass. Can be laid underground, also if not protected, comply of CEI 11-17 standard.

Prysmian
Group

00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

RG7H1R 26/45 kV**Caratteristiche tecniche/Technical characteristics**
U max: 52 kV

Formazione Size	Ø Indicativo conduttore Approx. conduct. Ø	Spessore medio Isolante Average insulation thickness	Ø esterno max Max outer Ø	Peso indicativo cavo Approx. cable weight	Portata di corrente Current rating			
					A			
					In aria In air		Interriso* buried*	
n° x mm ²	mm	mm	mm	kg/km	a trifoglio trifol	In piano flat	a trifoglio trifol	In piano flat
1 x 70	9,7	10,3	41,9	2150,0	280,0	315,0	255,0	260,0
1 x 95	11,4	10,3	43,8	2490,0	340,0	380,0	300,0	310,0
1 x 120	12,9	10,0	44,8	2735,0	395,0	440,0	355,0	365,0
1 x 150	14,3	9,5	45,1	3020,0	445,0	495,0	385,0	395,0
1 x 185	16,0	9,3	47,1	3395,0	510,0	570,0	440,0	450,0
1 x 240	18,3	9,3	49,2	4025,0	600,0	665,0	510,0	520,0
1 x 300	21,0	9,0	52,2	4725,0	695,0	760,0	570,0	580,0
1 x 400	23,2	9,0	54,8	5635,0	800,0	875,0	650,0	655,0
1 x 500	26,1	9,0	58,6	6825,0	930,0	1010,0	735,0	740,0
1 x 630	30,3	9,0	62,7	8260,0	1070,0	1180,0	835,0	845,0

*Resistività termica del terreno 100°C cm/W
* Ground thermal resistivity 100°C cm/W

Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics

Formazione Size	Resistenza elettrica a 20°C Max. electrical resistance at 20°C	Resistenza apparente a 90°C e 50Hz Conductor apparent resistance at 90°C and 50Hz			Reattanza di fase Phase reactance		Capacità a 50Hz Capacity at 50Hz
		Ω/Km			Ω/Km		
		a trifoglio trifol	In piano flat	a trifoglio trifol	In piano flat	μF/km	
n° x mm ²	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	μF/km	
1 x 70	0,268	0,342	0,342	0,15	0,21	0,15	
1 x 95	0,193	0,246	0,246	0,14	0,20	0,16	
1 x 120	0,153	0,196	0,196	0,14	0,20	0,18	
1 x 150	0,124	0,159	0,158	0,13	0,19	0,20	
1 x 185	0,0991	0,128	0,127	0,13	0,19	0,21	
1 x 240	0,0754	0,0985	0,0972	0,12	0,18	0,23	
1 x 300	0,0601	0,0797	0,0779	0,12	0,18	0,26	
1 x 400	0,0470	0,0638	0,0616	0,11	0,17	0,28	
1 x 500	0,0366	0,0517	0,0489	0,11	0,17	0,31	
1 x 630	0,0283	0,0425	0,0389	0,10	0,16	0,34	



00	24-06-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione