



COMUNI DI GELA
PROVINCIA DI CALTANISSETTA
REGIONE SICILIA

**PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO
 DI POTENZA DI PICCO P=83'051.28 kWp CON SISTEMA DI
 ACCUMULO PER UNA POTENZA DI IMMISSIONE COMPLESSIVA
 PARI A 100'000 kW**

Proponente

Gela Solar Power Srl

CF e PI: 11947660961

Via Dante 7 (20123) - Milano (MI)

Progettazione



Preparato

Dario Ing. Bertani

Verificato

Gianandrea Ing. Bertinazzo

Approvato

Vasco Ing. Piccoli

PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Titolo elaborato

**IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO
 RELAZIONE DI CALCOLO DIMENSIONAMENTO
 CAVI CC, BT, MT**

Elaborato N.

R012

Data emissione

28/02/2022

Nome file

RS06REL0012A0

N. Progetto

ENE059

Pagina

COVER

00

28/02/22

PRIMA EMISSIONE

REV.

DATA

DESCRIZIONE

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 Media Tensione.....	12
2.3.1	Cavi MT – Configurazione e modalità di Installazione.....	13
2.4	Altri cavi.....	15
2.4.1	Cavi nella Cabina di Trasformazione MT/BT.....	15
2.4.2	Cavi Alimentazione Trackers.....	15
2.4.3	Cavi di sicurezza e sorveglianza	15
2.4.4	Cavi Dati.....	15
3	Verifica cavi elettrici	16
3.1	Cavi in Corrente Continua.....	16
3.2	Cavi di Stringa	16
3.2.1	Tensione di esercizio	16
3.2.2	Corrente di esercizio.....	16
3.2.3	Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni	17
3.2.4	Verifica Caduta di Tensione	19
3.2.5	Verifica Tenuta al corto circuito	20
3.2.6	Verifica Perdite	20
3.3	Cavi BT – Corrente alternata	21
3.3.1	Tensione di esercizio	21
3.3.2	Corrente di esercizio.....	21
3.3.3	Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni	22
3.3.4	Verifica Caduta di Tensione	24
3.3.5	Verifica Tenuta al corto circuito	25
3.3.6	Verifica Perdite	25
3.4	Cavi in Media Tensione.....	26
3.4.1	Tensione di esercizio	26

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.4.2	Verifica Portata di Corrente e Coordinamento Protezioni	26
3.4.3	Verifica Caduta di Tensione	29
3.4.4	Tenuta al corto circuito	30
3.4.5	Perdite	31
4	Conclusioni	32
Appendice 1 – Cavi DC di Stringa.....		33
Appendice 2 – Cavi AC di String Inverter.....		35
Appendice 3 – Cavi MT		37

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1 Premessa

La presente relazione ha lo scopo di definire i criteri di dimensionamento dei cavi elettrici e verificarne il corretto coordinamento e funzionamento al servizio dell'impianto di generazione di energia elettrica agri-fotovoltaico denominato "Settefarine", da ubicarsi nel Comune di Gela (CL), di potenza nominale complessiva pari a circa 83,05 MWp e dotato di sistema di accumulo da 30MW / 60MWh, per una potenza di immissione complessiva in rete pari a 100 MW.

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

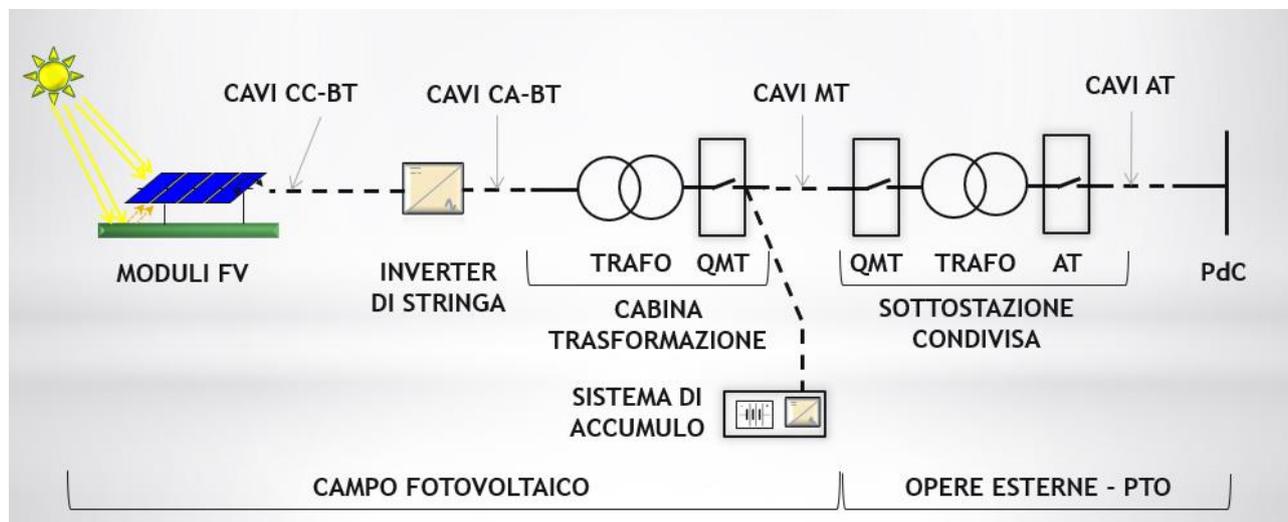
- Definizione della tipologia di cavi utilizzati e della modalità di posa degli stessi
 - o Cavi CC – Cavi di Stringa
 - o Cavi CA – cavi inverter di stringa
 - o Cavi MT – Distribuzione Secondaria
 - o Cavi MT – Distribuzione Primaria
 - o Altri cavi

- 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	28-02-2022	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 Media Tensione (MT) in Cabina di Trasformazione.

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

In parallelo all'impianto di produzione FV verrà previsto un sistema di accumulo capace di assorbire e rilasciare energia elettrica in maniera continuativa. La connessione in parallelo del sistema di accumulo avverrà in Media Tensione.

In uscita dal campo fotovoltaico è previsto un cavidotto esercito a 36 kV che permetterà di far arrivare l'energia generata alla sotto-stazione utente di trasformazione MT/AT (36/150 kV), condivisa con altri utenti produttori, ed infine verso il punto di consegna con la Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), ovvero la stazione di trasformazione 150/220 kV di Terna.

00	28-02-2022	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 4 km), per cui non risente dell'ambiente marino, particolarmente aggressivo e corrosivo.

I componenti principali saranno quindi adatti per l'utilizzo in ambiente C3 (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 30 e 75m 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	28-02-2022	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 MT – Distribuzione Secondaria; ovvero i cavi MT utilizzati nelle linee radiali di collegamento delle cabine di trasformazione ed interni ai campi fotovoltaici;
- Cavi in MT – Distribuzione Primaria; ovvero i cavi MT utilizzati per il collegamento tra SE Produttore e le Cabine di Smistamento;
- Cavi in AT; ovvero i cavi AT utilizzati per il collegamento tra la SE Produttore e la SE di Smistamento 220kV di Terna.

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 MT-BT di Campo*” sono riportati i percorsi delle tratte e le lunghezze totali di cavidotti e volumi di scavo.

00	28-02-2022	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 26 moduli FV del costruttore Jinko Solar, modello JKM570N-72HL4-BDV da 570Wp 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	28-02-2022	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.

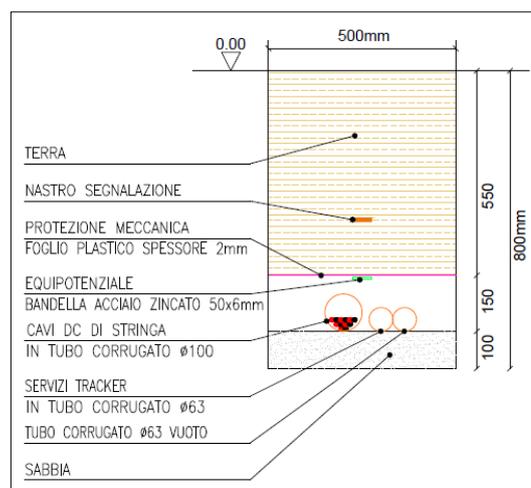
I cavi avranno tratti sia all'aperto (tipicamente lungo la struttura fotovoltaica di sostegno dei moduli fotovoltaici), sia sottoterra per il raggiungimento dell'inverter.

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	28-02-2022	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 ARG16R16.

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).

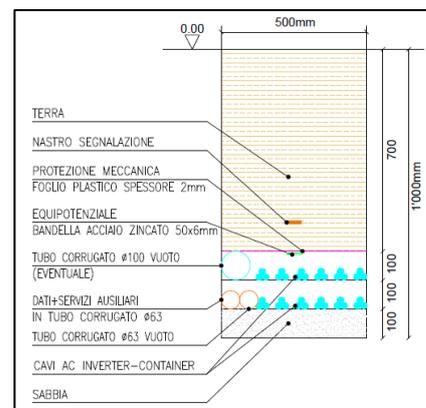
Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Alluminio tipo ARG16R16, mentre la configurazione prevista sarà:

$$3 \times 300 \text{ mm}^2$$

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	ARG16R16
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 U₀/U (Um)	0,6/1 (1,2) kV
Sezione conduttore	300 mm ²
Portata corrente [A]	A trifoglio direttamente interrati: 300 mm ² : 385 A



La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione 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;

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

- Terra di riporto per il riempimento dello strato superiore, fino al livellamento nativo della sezione.

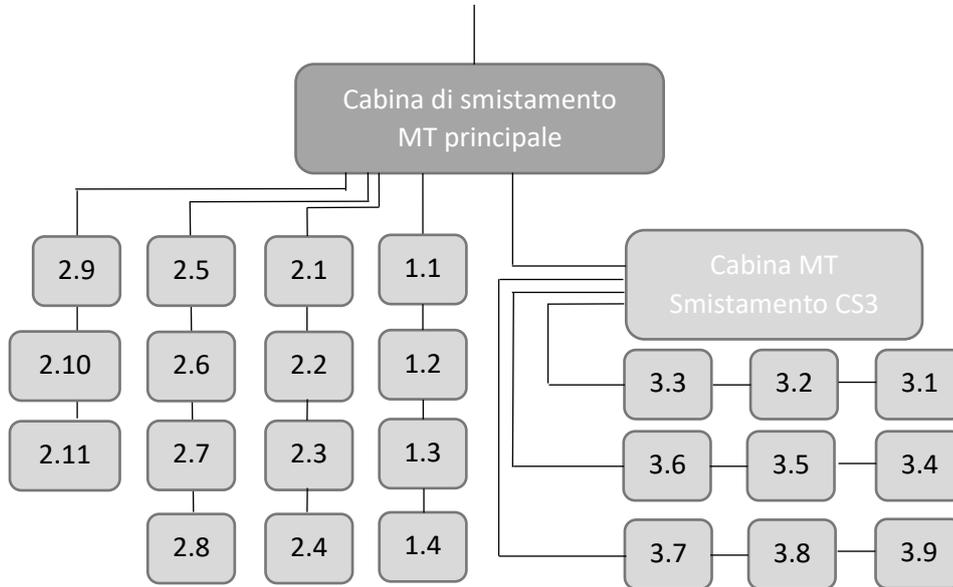
In talune sezioni il cavidotto potrà essere allargato per evitare che i cavi siano troppo vicini.

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.3 Cavi in Media Tensione

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

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



00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.3.1 Cavi MT – 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 MT) 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 MT in aria libera.

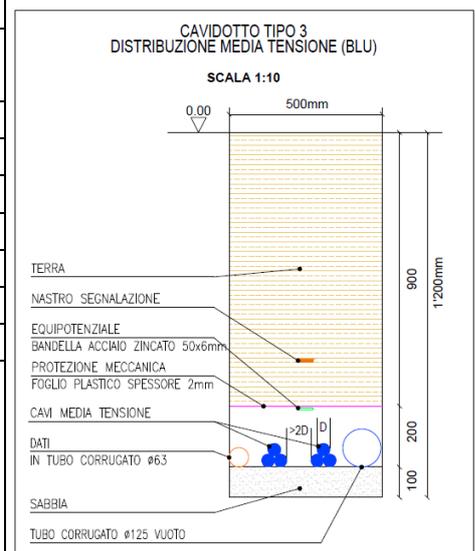
Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Rame tipo RG7H1R, mentre la configurazione prevista sarà in funzione del numero di cabine del quale è necessaria trasportare l'energia. Nello specifico saranno previste le seguenti configurazioni:

Collegamento 1 cabina di trasformazione	→	3// (1x70) mm ²
Collegamento 2 cabine di trasformazione	→	3// (1x120) mm ²
Collegamento 3 cabine di trasformazione	→	3// (1x150) mm ²
Collegamento 4 cabine di trasformazione	→	3// (1x185) mm ²
Collegamento CS3-CS0	→	3// [2x(1x240)] mm ²
Collegamento CS0-SE condivisa	→	3// [3x (1x400)] 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	Rame rosso, formazione rigida compatta (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	HEPR (elastomero reticolato)
Guaina	PVC
Temperatura di esercizio	-15...+90°C
Tensione nominale U₀/U (Um)	26/45 (52) kV
Sezione conduttore	95...400 mm ²
Portata corrente [A]	in aria: 70 mm ² : 280 A 120 mm ² : 395 A 150 mm ² : 445 A 185 mm ² : 510 A 240 mm ² : 600 A 400 mm ² : 800 A



00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione larga 500mm 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 MT opportunamente distanziati tra di loro ($>2D$ con D diametro del cavo MT);
- 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	28-02-2022	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 MT/BT

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

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

Sono previste 24 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 Alimentazione Trackers

I cavi di alimentazione trackers sono cavi di bassa tensione utilizzati per alimentare i motori presenti sulle strutture, responsabili del movimento delle strutture attorno all'asse Nord-Sud, in modo che i moduli fotovoltaici ad essa fissati, siano sottoposti al massimo irraggiamento lungo tutto il movimento giornaliero del sole.

Questi cavi sono alloggiati sia sulle strutture che interrati. Si utilizzerà un cavo per energia, isolato con gomma etilpropilenica ad alto modulo di qualità G7, sotto guaina di PVC, non propagante l'incendio, a ridotta emissione di gas corrosivo e con una miscela che lo renda installabile ad aria aperta.

2.4.3 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).

2.4.4 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	28-02-2022	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 in Corrente Continua

I cavi in corrente continua da verificare sono di due tipologie: cavi di stringa e cavi di SB.

3.2 Cavi di Stringa

3.2.1 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:

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

3.2.2 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...14,55A; 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:

$$I_N = 14,55 \text{ A}$$

00	28-02-2022	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 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
14,55	2//(1x6)	70	0,6	42	OK

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.2.3.1 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 14,55 A;
- 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:

$$14,55 < 30 < 42$$

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

00	28-02-2022	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 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 13,76A;
- 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 media e massima, quindi pari rispettivamente a 60 e 100m;
 - o i cavi uscenti da ogni modulo hanno una lunghezza pari a 0,3m; dato che la stringa è composta da 26 moduli, i cavi dei moduli hanno lunghezza pari a 16m.
 La lunghezza totale di stringa è quindi pari a 76 e 116m, ovvero 0,076 e 0,116km;
- 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 $V_{MPP} = 1'205,1V$.

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

$$\Delta v\%_{\text{media}} = \frac{2 \times 13,76 \times 0,116 \times 3,39}{1'205,1} = 0,89\%$$

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

$$\Delta v\%_{\text{MAX}} = 0,89\% < 3\%$$

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

00	28-02-2022	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:

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

Il funzionamento della sezione in corrente continua dell'impianto fotovoltaico prevede una corrente di corto circuito pari a 18,42A e quindi la verifica della tenuta al corto circuito altro non è che la verifica della portata del cavo, già verificata nei paragrafi precedenti.

3.2.6 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, calcolata nel paragrafo precedente e pari a 76m, ovvero 0,076km;
- 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 13,76A;
- P_N è la potenza trasmessa dalla stringa a corrente I_e , quindi pari alla potenza di picco della stringa, pari a $0,57 \times 26 = 14,82$ kW.

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

$$\Delta P_{CC} = \frac{2 \times 3,39 \times 0,076 \times 13,76^2}{14'820} = 0,66\%$$

Nel calcolo delle perdite si potrà quindi considerare in via cautelativa un valore medio di perdite collegamenti CC stringa pari a 0,7%.

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3 Cavi BT – Corrente alternata

3.3.1 Tensione di esercizio

La tensione di esercizio è 800V.

La variazione di tensione di rete ammessa su Bassa Tensione (Allegato A68) è $85\% V_N \dots 115\% V_N$. La stabilità della tensione di esercizio sulla rete Bassa Tensione è strettamente dipendente dalla stabilità della rete Media Tensione, che è garantita dal commutatore sotto carico che è previsto lato AT su ogni trasformatore AT/MT di sottostazione. 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, $92\% V_N \dots 108\% V_N$.

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

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

3.3.2 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:

$$I_e = 180,5 A$$

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.3 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 = $1,5 \text{ }^\circ\text{K} \times \text{m}/\text{W} \rightarrow k_4 = 1$	
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	3//(1x300)	385	0,7	269,5	OK

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.3.1 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 _{le} (AC) 50-60 Hz	[V]	1000	1150
Tensione nominale di tenuta ad impulso, U _{limp}	[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
	(AC) 50-60 Hz 1150 V	[kA]	12
Potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito, I _{cs}	[kA]	6	
	(AC) 50-60 Hz 1000 V	[kA]	6
	(AC) 50-60 Hz 1150 V	[kA]	6
Potere di chiusura nominale in cortocircuito, I _{cm}	[kA]	24	40
	(AC) 50-60 Hz 1000 V	[kA]	24
	(AC) 50-60 Hz 1150 V	[kA]	24
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 [®]	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 all'interno dell'inverter, pari a 200A;
- I_z è la corrente calcolata nel precedente paragrafo, pari a 269,5A.

Nel presente caso si ha:

$$180,5 < 200 < 269,5 A$$

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

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.4 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 580m;
- r è la resistenza specifica del conduttore, in accordo con data sheet pari a 0,100 Ω /km a 20°C che riportati a 60°C sono pari a 0,114 Ω /km;
- V_e è la tensione di esercizio, pari a 800V

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

$$\Delta v\% = \frac{1,73 \times 180,5 \times 0,280 \times 0,144}{800} = 2,58\%$$

e quindi:

$$\Delta v\%_{CC} = 2,58\% < 3\% = \Delta v\%_{MAX}$$

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

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3.5 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 $21 \times 14,44 = 305,55A$ e quindi la verifica della tenuta al corto circuito altro non è che la verifica della portata del cavo, già verificata nei paragrafi precedenti.

3.3.6 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 3 nelle linee in Corrente Alternata;
- r è la resistenza specifica del conduttore, in accordo con data sheet pari a $0,100 \Omega/km$ a $20^\circ C$ che riportati a $60^\circ C$ sono pari a $0,114 \Omega/km$;
- L è la lunghezza del cavo di stringa, si considera la lunghezza media del cavo;
- 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 $180,5A$;
- P_N è la potenza trasmessa dalla singola linea AC a corrente I_e , quindi pari alla potenza inverter, pari a $250,0kW$.

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

$$\Delta P_{CA} = 0,5\%$$

Nel calcolo delle perdite si potrà quindi considerare in via cautelativa un valore medio di perdite collegamenti CA pari a 0,5%.

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.4 Cavi in Media Tensione

I cavi in Media Tensione da verificare sono di due tipologie: cavi MT di distribuzione secondaria e cavi MT di distribuzione primaria.

3.4.1 Tensione di esercizio

La tensione di esercizio della rete di Media Tensione 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 Media Tensione è garantita dal commutatore sotto carico che è previsto lato AT su ogni trasformatore AT/MT 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:

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

3.4.2 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 Media Tensione 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 °K x 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	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Si determina ora la condizione peggiorativa prendendo ad esempio il cavo da 70mm², seguendo l'indicazione fornita dal costruttore a seconda che sia direttamente interrata (255A) o in tubo (280A), calcoliamo la condizione peggiorativa:

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)
Portata Cavo interrato Lorda = 255A	Portata Cavo in aria Lorda = 280A
$k_{TOT} = 0,76$	$k_{TOT} = 0,66$
Portata Cavo Netta = 193,8A	Portata Cavo Netta = 184,8A

La condizione peggiorativa è quindi della tratta in tubo corrugato, che verrà verificata per ogni tipologia di cavo e di collegamento ad eccezione del 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.

TRATTA		L [km]	Tipologia Cavo	Configurazione cavo	Pn [kW]	In [A]	Ilorda [A]	ktot	Iz [A]	Iz>In
CS	SE	7,40	AI - RG7H1R	3//[3x(1x400)]	100000	1605,7	2400,0	0,76	1824,0	OK
CSP	C1.1	3,55	AI - RG7H1R	3//[1x185]	12000	192,7	510,0	0,66	336,6	OK
C1.1	C1.2	0,50	AI - RG7H1R	3//[1x150]	9000	144,5	445,0	0,66	293,7	OK
C1.2	C1.3	0,24	AI - RG7H1R	3//[1x120]	6000	96,3	395,0	0,66	260,7	OK
C1.3	C1.4	0,57	AI - RG7H1R	3//[1x70]	3000	48,2	280,0	0,66	184,8	OK
CSP	C2.1	0,11	AI - RG7H1R	3//[1x185]	12000	192,7	510,0	0,66	336,6	OK
C2.1	C2.2	0,30	AI - RG7H1R	3//[1x150]	9000	144,5	445,0	0,66	293,7	OK
C2.2	C2.3	0,48	AI - RG7H1R	3//[1x120]	6000	96,3	395,0	0,66	260,7	OK
C2.3	C2.4	0,45	AI - RG7H1R	3//[1x70]	3000	48,2	280,0	0,66	184,8	OK
CSP	C2.5	1,52	AI - RG7H1R	3//[1x185]	12000	192,7	510,0	0,66	336,6	OK
C2.5	C2.6	0,15	AI - RG7H1R	3//[1x150]	9000	144,5	445,0	0,66	293,7	OK
C2.6	C2.7	0,34	AI - RG7H1R	3//[1x120]	6000	96,3	395,0	0,66	260,7	OK
C2.7	C2.8	0,18	AI - RG7H1R	3//[1x70]	3000	48,2	280,0	0,66	184,8	OK
CSP	C2.9	1,57	AI - RG7H1R	3//[1x150]	9000	144,5	445,0	0,66	293,7	OK
C2.9	C2.10	0,37	AI - RG7H1R	3//[1x120]	6000	96,3	395,0	0,66	260,7	OK
C2.10	C2.11	0,51	AI - RG7H1R	3//[1x70]	3000	48,2	280,0	0,66	184,8	OK
CSP	CS3	0,66	AI - RG7H1R	3//[2x(1x240)]	27000	433,5	1200,0	0,66	792,0	OK
CS3	C3.3	0,72	AI - RG7H1R	3//[1x150]	9000	144,5	445,0	0,66	293,7	OK
C3.3	C3.2	0,53	AI - RG7H1R	3//[1x120]	6000	96,3	395,0	0,66	260,7	OK
C3.2	C3.1	0,03	AI - RG7H1R	3//[1x70]	3000	48,2	280,0	0,66	184,8	OK
CS3	C3.6	0,33	AI - RG7H1R	3//[1x150]	9000	144,5	445,0	0,66	293,7	OK
C3.6	C3.5	0,14	AI - RG7H1R	3//[1x120]	6000	96,3	395,0	0,66	260,7	OK
C3.5	C3.4	0,29	AI - RG7H1R	3//[1x70]	3000	48,2	280,0	0,66	184,8	OK
CS3	C3.7	0,02	AI - RG7H1R	3//[1x150]	9000	144,5	445,0	0,66	293,7	OK
C3.7	C3.8	0,45	AI - RG7H1R	3//[1x120]	6000	96,3	395,0	0,66	260,7	OK
C3.8	C3.9	0,54	AI - RG7H1R	3//[1x70]	3000	48,2	280,0	0,66	184,8	OK

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.4.2.1 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 MT è il seguente:

Protezione linee radiali MT

Relè di protezione elettronica

$$51> \rightarrow I \geq 1,1 I_N \quad t=1s$$

$$51>> \rightarrow I \geq 3 I_N \quad t=430ms$$

$$51>>> \rightarrow I > 5 I_N \quad t=100ms$$

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;
- I_r è la corrente regolata, ovvero settaggio della protezione 51>;
- I_z è la corrente del cavo, ovvero quella calcolata con la portata del cavo.

TRATTA		L [km]	Tipologia Cavo	Configurazione cavo	Pn [kW]	In [A]	Ir [A]	Iz [A]	Verifica
CS	SE	7,40	AI - RG7H1R	3//[3x(1x400)]	100000	1605,7	< 1766,2	< 1824,0	OK
CSP	C1.1	3,55	AI - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	< 211,9	< 336,6	OK
C1.1	C1.2	0,50	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	< 159,0	< 293,7	OK
C1.2	C1.3	0,24	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	< 106,0	< 260,7	OK
C1.3	C1.4	0,57	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	< 53,0	< 184,8	OK
CSP	C2.1	0,11	AI - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	< 211,9	< 336,6	OK
C2.1	C2.2	0,30	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	< 159,0	< 293,7	OK
C2.2	C2.3	0,48	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	< 106,0	< 260,7	OK
C2.3	C2.4	0,45	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	< 53,0	< 184,8	OK
CSP	C2.5	1,52	AI - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	< 211,9	< 336,6	OK
C2.5	C2.6	0,15	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	< 159,0	< 293,7	OK
C2.6	C2.7	0,34	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	< 106,0	< 260,7	OK
C2.7	C2.8	0,18	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	< 53,0	< 184,8	OK
CSP	C2.9	1,57	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	< 159,0	< 293,7	OK
C2.9	C2.10	0,37	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	< 106,0	< 260,7	OK
C2.10	C2.11	0,51	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	< 53,0	< 184,8	OK
CSP	CS3	0,66	AI - RG7H1R	3//[2x(1x240)]	27000	433,5	< 476,9	< 792,0	OK
CS3	C3.3	0,72	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	< 159,0	< 293,7	OK
C3.3	C3.2	0,53	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	< 106,0	< 260,7	OK
C3.2	C3.1	0,03	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	< 53,0	< 184,8	OK
CS3	C3.6	0,33	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	< 159,0	< 293,7	OK
C3.6	C3.5	0,14	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	< 106,0	< 260,7	OK
C3.5	C3.4	0,29	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	< 53,0	< 184,8	OK
CS3	C3.7	0,02	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	< 159,0	< 293,7	OK
C3.7	C3.8	0,45	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	< 106,0	< 260,7	OK
C3.8	C3.9	0,54	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	< 53,0	< 184,8	OK

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.4.3 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 MT;
- $\sin \phi$ si deriva dal fattore di potenza;
- V_e è la tensione di esercizio, pari a 33'000V.

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

TRATTA		L [km]	Tipologia Cavo	Configurazione cavo	Pn [kW]	In [A]	r [Ω/km]	x [Ω/km]	Δv_x [V]	ΔV_{tot} [V]	Δv_{tot} [%]	Verifica
CS	SE	7,40	AI - RG7H1R	3//[3x(1x400)]	100000	401,4	0,136	0,11	771,039	771,039	2,142%	OK
CSP	C1.1	3,55	AI - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	0,128	0,13	171,489	219,066	0,609%	OK
C1.1	C1.2	0,50	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	0,13	21,951			
C1.2	C1.3	0,24	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	0,14	8,546			
C1.3	C1.4	0,57	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	0,15	17,080			
CSP	C2.1	0,11	AI - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	0,128	0,13	5,314	49,060	0,136%	OK
C2.1	C2.2	0,30	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	0,13	13,171			
C2.2	C2.3	0,48	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	0,14	17,091			
C2.3	C2.4	0,45	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	0,15	13,484			
CSP	C2.5	1,52	AI - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	0,128	0,13	73,426	97,511	0,271%	OK
C2.5	C2.6	0,15	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	0,13	6,585			
C2.6	C2.7	0,34	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	0,14	12,106			
C2.7	C2.8	0,18	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	0,15	5,394			
CSP	C2.9	1,57	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	0,13	68,927	97,384	0,271%	OK
C2.9	C2.10	0,37	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	0,14	13,174			
C2.10	C2.11	0,51	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	0,15	15,282			
CSP	CS3	0,66	AI - RG7H1R	3//[2x(1x240)]	27000	433,5	0,0985	0,12	56,586	112,475	0,312%	OK
CS3	C3.3	0,72	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	0,13	31,610			
C3.3	C3.2	0,53	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	0,14	18,872			
C3.2	C3.1	0,03	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	0,15	0,749			
CS3	C3.6	0,33	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	0,13	14,488			
C3.6	C3.5	0,14	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	0,14	4,985			
C3.5	C3.4	0,29	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	0,15	8,690			
CS3	C3.7	0,02	AI - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	0,13	0,878			
C3.7	C3.8	0,45	AI - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	0,14	16,023			
C3.8	C3.9	0,54	AI - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	0,15	16,181			

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.4.4 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, considerati i dati di targa, abbiamo un massimo pari a 10kA dato dalla somma della I_{CC} immediatamente a valle del singolo trasformatore AT/MT (contributo di ogni trasformatore è pari a <4,8kA, i trasformatori sono due);
- t è il tempo di estinzione del guasto, pari a 170ms (100ms ritardo intenzionale del relè protezione MT + 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:

$$S_{\min} = \frac{I_{CC} \times \sqrt{t}}{k_C} = \frac{10'000 \times \sqrt{0,170}}{116} = 35,5 \text{ mm}^2$$

e quindi:

$$S_{\text{tratta}} = 70 > 35,5 = S_{\min}$$

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

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.4.5 Perdite

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

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

dove:

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

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

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 Consegnà impianto Utente-Produttore).

TRATTA		L	Tipologia	Configurazione cavo	Pn	In	r	ΔP_x	ΔP_{tot}	$\Delta P\%$
		[km]	Cavo		[kW]	[A]	[Ω /km]	[W]	[W]	[%]
CS	SE	7,40	Al - RG7H1R	3//[3x(1x400)]	100000	401,4	0,136	486491	486491	0,486%
CSP	C1.1	3,55	Al - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	0,128	50609	58256	0,49%
C1.1	C1.2	0,50	Al - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	4981		
C1.2	C1.3	0,24	Al - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	1310		
C1.3	C1.4	0,57	Al - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	1357		
CSP	C2.1	0,11	Al - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	0,128	1568	8247	0,07%
C2.1	C2.2	0,30	Al - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	2988		
C2.2	C2.3	0,48	Al - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	2620		
C2.3	C2.4	0,45	Al - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	1071		
CSP	C2.5	1,52	Al - RG7H1R	3//(1x185)	12000	192,7	0,128	21669	25447	0,21%
C2.5	C2.6	0,15	Al - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	1494		
C2.6	C2.7	0,34	Al - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	1856		
C2.7	C2.8	0,18	Al - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	429		
CSP	C2.9	1,57	Al - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	15639	18872	0,21%
C2.9	C2.10	0,37	Al - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	2019		
C2.10	C2.11	0,51	Al - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	1214		
CSP	CS3	0,66	Al - RG7H1R	3//[2x(1x240)]	27000	433,5	0,0985	36655	36655	0,14%
CS3	C3.3	0,72	Al - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	7172	10124	0,11%
C3.3	C3.2	0,53	Al - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	2892		
C3.2	C3.1	0,03	Al - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	60		
CS3	C3.6	0,33	Al - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	3287	4742	0,05%
C3.6	C3.5	0,14	Al - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	764		
C3.5	C3.4	0,29	Al - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	690		
CS3	C3.7	0,02	Al - RG7H1R	3//(1x150)	9000	144,5	0,159	199	3941	0,04%
C3.7	C3.8	0,45	Al - RG7H1R	3//(1x120)	6000	96,3	0,196	2456		
C3.8	C3.9	0,54	Al - RG7H1R	3//(1x70)	3000	48,2	0,342	1286		

00	28-02-2022	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	28-02-2022	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	Diametro conduttore indicativo	Spessore isolante minimo medio	Spessore guaina minimo medio	Diametro esterno massimo	Peso indicativo	Resistenza elettrica in c. c. a 20 °C massima	Portata di corrente a 60 °C in aria singolo cavo
Nominal cross-section	Conductor diameter (approx.)	Insulation thickness (min. medium)	Sheath thickness (min. medium)	Outer diameter (max.)	Weight (approx.)	Electrical D.C. resistance at 20 °C (max.)	Current carrying capacity at 60 °C in air 1 cable
(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	28-02-2022	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 e 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	28-02-2022	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.



ARG16R16 0,6/1KV
CPR Cca-s3,d1,a3

Cavi CPR Rigidi in ALLUMINIO unipolari per posa fissa, isolati in HEPR di qualità G16
CPR Cables rigid aluminum for fixed installations, isolated HEPR G16 quality.




Model Product: P98 - 20200909

(Conforme alla direttiva BT 2014/35/UE - Direttiva 2011/65/EU (RoHS 3))

(Accordingly to the standards BT 2014/35/UE- 2011/65/EU (RoHS 3))

Norme di riferimento

CEI 20-13 IEC 60502
EN 50575:2014+A1:2016 EN 60332-1-2 EN 50399 EN 60754-2 EN 13501-6

Standards



Conduttore a corda rigida di ALLUMINIO, classe 2. Isolamento in HEPR di qualità G16 Guaina in miscela termoplastica tipo R16	Aluminium rigid compact conductor, class 2. Elastomeric mixture insulation (G16 quality). Outer Sheath PVC R16 type.
--	--

<i>Tensione nominale U0</i>	600V(AC) 1800V(DC)	<i>Nominal voltage U0</i>
<i>Tensione nominale U</i>	1000V(AC) 1800V(DC)	<i>Nominal voltage U</i>
<i>Tensione di prova</i>	4000 V	<i>Test voltage</i>
<i>Tensione massima Um</i>	1200V(AC) 1800V(DC)	<i>Maximun voltage Um</i>
<i>Temperatura massima di esercizio</i>	+90°C	<i>Maximun operating temperature</i>
<i>Temperatura massima di corto circuito</i>	+250°C	<i>Maximun short circuit temperature</i>
<i>Temperatura minima di esercizio (senza shock meccanico)</i>	-15°C	<i>Min. operating temperature (without mechanical shocks)</i>
<i>Temperatura minima di installazione e maneggio</i>	0°C	<i>Minimum installation and use temperature</i>

Condizioni di impiego piu comuni

Per trasporto di energia in ambienti interni o esterni anche bagnati. Adatti per L'alimentazione elettrica in costruzioni ed altre opere di Ingegneria civile con l'obiettivo di limitare la produzione e la diffusione di fuoco e fumo, conformi al Regolamento CPR. Per posa fissa in aria libera, in tubo o canaletta, su muratura e strutture metalliche o sospesa. Adatti anche per posa interrata diretta o indiretta. Buon comportamento alle basse temperature. Resistente ai raggi UV.

Condizioni di posa

Raggio minimo di curvatura per diametro D (in mm):
6D
Sforzo massimo di tiro:
50 N/mm²

Imballo

Bobina con metrature da definire in fase di ordine.

Colori anime

Unipolare: Nero

Colori guaina

Grigio

Marchatura ad inchiostro

GENERALCAVI Cca-s3,d1,a3 - anno - ARG16R16 - 0,6/1 kV - form x sez. - ordine lavoro interno - metratura progressiva

Common features

Power use outdoor and indoor applications, even wet. For electrical power system in constructions and other civil engineering bulginings, in order to limit fire and smoke production and spread, in accordance with the CPR. Suitable for fixed installations at open air, in tube or canals, masonry, metals structures, overhead wire and for direct or indirect underground wiring. Good behavior at low temperatures. UV resistant

Employment

Minimum bending radius per D cable diameter (in mm):
6D
Maximum pulling stress:
50 N/mm²

Packing

Drums to agree.

Core colours

Single core: black

Sheath colour

Grey

Ink marking

GENERALCAVI -Cca-s3,d1,a3 - year - ARG16R16-0,61/kV - form x sect. - inner work order - progressive length

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione



ARG16R16 0,6/1KV
CPR Cca-s3,d1,a3



Model Product: P98 - 20200909

ARG16R16

Formazione	Sezione nominale	Diametro indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Diametro esterno massimo	Peso indicativo del cavo	Resistenza elettrica a 20°C	Portata di Corrente a 30°C		Portate di corrente interrato a 20°C		Raggio minimo curvatura
								In aria	In tubo	Diretto	In tubo	
Formation	Nominal Section	Approx cond. diameter	Insulation medium thickness	Med. sheath thickness	Maximum external diameter	Approx cable weight	Electric resistance at 20°C	Current carrying capacities 30°C		Current carrying buried 20°C		Minimum radius bending
(N°)	(mmq)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ohm/km)	Flat in air	In pipe	direct	In pipe	(mm)
Unipolare / Single core												
1x	35	7.0	0.9	1.4	12.60	220	0.868	132	112	110	95	75
1x	50	8.2	1.0	1.4	14.00	250	0.641	161	137	135	117	84
1x	70	9.8	1.1	1.4	16.00	340	0.443	209	173	166	144	96
1x	95	11.5	1.1	1.5	18.00	440	0.320	256	210	195	170	105
1x	120	13.1	1.2	1.5	19.80	505	0.253	299	243	226	196	117
1x	150	14.3	1.4	1.6	21.80	625	0.206	346	277	258	224	129
1x	185	16.1	1.6	1.6	24.00	753	0.164	398	325	289	252	144
1x	240	18.5	1.7	1.7	26.90	977	0.125	473	382	340	296	162
1x	300	20.7	1.8	1.8	30.00	1200	0.100	548	---	385	335	177
1x	400	23.5	2.0	1.9	33.45	1488	0.0778	642	---	449	390	201
1x	500	26.5	2.2	2.0	37.60	1866	0.0605	738	---	507	441	225
1x	630	30.2	2.4	2.2	43.14	2300	0.0469	880	---	640	580	260

Note

I calcoli per le portate di corrente per i cavi unipolari sono stati eseguiti per 3 cavi non distanziati.

I diametri esterni sono indicativi di produzione e possono variare di $\pm 3\%$.

Le portate a 20°C sono calcolate in posa interrata secondo CEI 64-8-61 (temperatura terreno=20°C; profondità=0.8m; Resistività terreno=1,5 km/W). Per(terreno=1 km/W moltiplicare il valore per 1,08)

Note

The calculations for the current carrying capacities for the single wires have been performed for 3 close cables. The outer diameters are approximates and may vary by $\pm 3\%$.

The flow rates at 20 ° C are calculated in accordance with CEI 64-8-61 laying underground (ground temp = 20 ° C, depth = 0.8m, ground resistivity = 1,5 km / W). For(ground temp = 20 ° C, depth = 0.8m, ground resistivity = 1 km /W multiply for 1,08)

00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Appendice 3 – Cavi MT

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

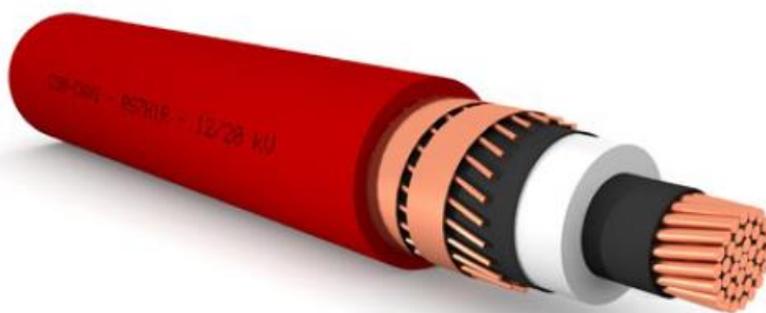


NON PROPAGANTE
LA FIAMMA
PLAME RETARDANT



SENZA PIOMBO
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 fornite a titolo illustrativo e non sono vincolanti.

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

CARATTERISTICHE FUNZIONALI:

- Tensione nominale U₀/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 fra 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 U₀/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 transformer rooms and big power users. For laying on air, into tube or open pass. Can be laid underground, also if not protected, complying with art. 4.3.11 of CEI 11-17 standard.





00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

RG7HIR 1.8/3 kV - 26/45 kV

COSTRUZIONE DEL CAVO / CABLE CONSTRUCTION

	CONDUTTORE Materiale: Rame rosso, formazione rigida compatta, classe 2	CONDUCTOR Material: Plain copper, compact stranded wire, class 2
	STRATO SEMICONDUCTORE Materiale: Estruso (solo cavi U ₀ /U ≥ 6/10 kV)	SEMICONDUCTOR LAYER Material: Extruded (only cables U ₀ /U ≥ 6/10 kV)
	ISOLAMENTO Materiale: Gomma HEPR, qualità G7, SENZA PIOMBO (HD 620 DHI 2)	INSULATION Material: HEPR rubber, G7 quality, LEAD FREE (HD 620 DHI 2)
	STRATO SEMICONDUCTORE Materiale: Estruso, pelabile a freddo (solo cavi U ₀ /U ≥ 6/10 kV)	SEMICONDUCTOR LAYER Material: Extruded, cold stripping (only cables U ₀ /U ≥ 6/10 kV)
	SCHERMO Tipo: Fili di rame rosso, con nastro di rame in controspirale	SCREEN Type: Plain copper wires with helically wound copper tape
	GUAINA ESTERNA Materiale: Miscela a base di PVC, qualità Rz Colore: Rosso	OUTER SHEATH Material: PVC based compound, Rz quality Colour: Red

N.B. Il cavo può essere fornito nella versione tripolare fornito ad elica visibile. In tal caso la sigla di designazione diventa RG7HIRX seguita dalla tensione nominale di esercizio.
N.B. The cable can be built in the three-pole version with helically wound cores. In this case, the initials becomes RG7HIRX, followed by rated voltage.



00	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

CAVI MEDIA TENSIONE - ENERGIA
MEDIUM VOLTAGE CABLES - POWER
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		Interrato* buried*	
n° x mm²	mm	mm	mm	kg/km	a triangolo triad	in piano flat	a triangolo triad	in piano flat
1 x 70	9,7	10,3	41,9	2150,0	280,0	315,0	255,0	280,0
1 x 95	11,4	10,3	43,8	2400,0	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	58,8	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 cmW
* Ground thermal resistivity 100°C cmW

Caratteristiche elettriche/Electrical characteristics

Formazione Size	Resistenze elettriche a 20°C Max. electrical resistance at 20°C	Resistenze apparenti a 90°C e 50Hz Conductor apparent resistance at 90°C and 50Hz		Resistenze di fase Phase reactance		Capacità a 50Hz Capacity at 50Hz
		a triangolo triad	in piano flat	a triangolo triad	in piano flat	
		Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	
n° x mm²	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	0,248	0,248	0,14	0,20	0,16
1 x 120	0,153	0,198	0,198	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	0,0618	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	28-02-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione