

REGIONE LAZIO



COMUNE di MONTALTO di CASTRO

PROVINCIA di VITERBO



Proponente
Alcione Rinnovabili srl
 Largo Augusto n°3 - 20122 Milano (MI)

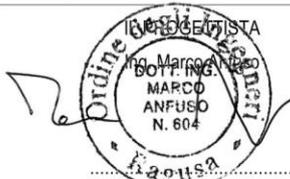
BayWa r.e.
 Società controllata al 100% da BayWa r.e. Italia srl
 Largo Augusto n°3 - 20122 Milano (MI)

Struttura di Progettazione e sviluppo

Coordinamento
 localit  Campomorto snc
 01014 Montalto di Castro
 Viterbo VT info@psem40.com

 **REG RAN**

Progettazione

R.C. Ing. Alessandro Cappello
 Collaboratori
 Dott. Ing. Salvatore Falla
 Dott. Arch. Mirko Pasqualino Re
 Dott. Ing. Valentino Otopacca



Opera

Progetto QUERCIOLARE
 progetto di impianto fv a terra di potenza pari a 77,69 MW in DC e 65 MW in AC e delle opere connesse da installarsi nel territorio del comune di Montalto di Castro -VT-

Oggetto

Folder: **VIA_2** Sez. **D**

Nome Elaborato: **Relazione di Calcolo Dimensionamento Cavi CC, BT, MT** Codice Elaborato: **REL14**

Descrizione Elaborato:
Relazione di Calcolo Dimensionamento Cavi CC, BT, MT

00	Aprile 2022	Emissione per progetto definitivo	Regran/Psem40	Sunwin	Alcione Rinnovabili
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

Scala: -
 Formato: pades

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.....	11
2.3.1	Cavi MT – Configurazione e modalità di Installazione.....	12
2.4	Altri cavi.....	14
2.4.1	Cavi nella Cabina di Trasformazione MT/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 Media Tensione.....	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	18-03-2022	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 MT	37

00	18-03-2022	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 "Querciolare", da ubicarsi nel Comune di Montalto di Castro (VT), di potenza nominale complessiva pari a circa 77,69 MWp per una potenza di immissione complessiva in rete pari a 65 MW.

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

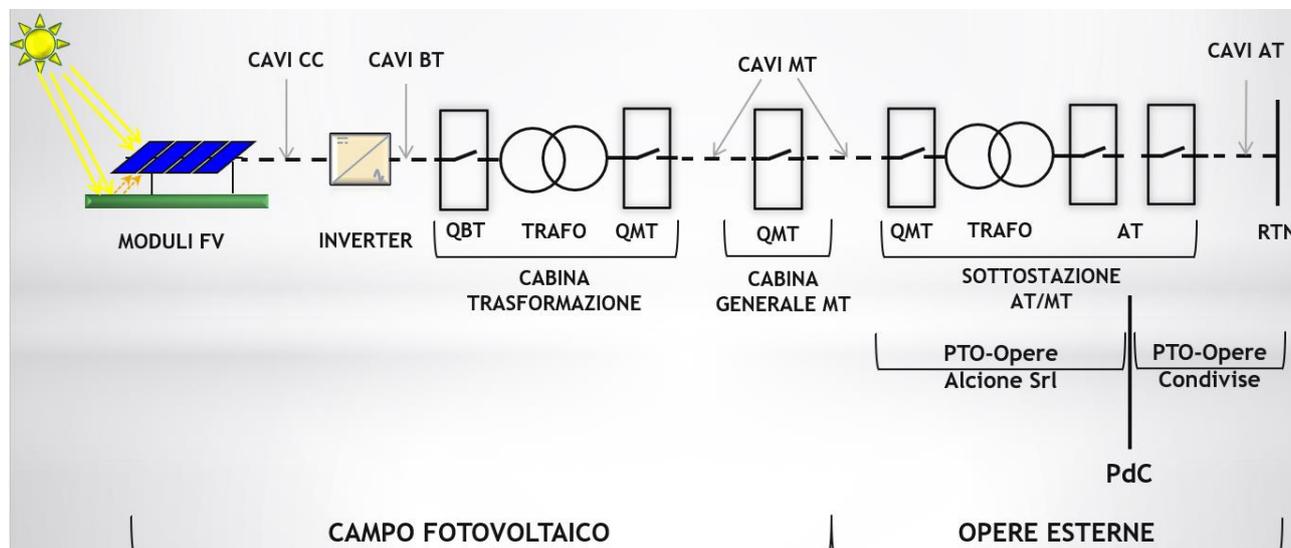
- Definizione della tipologia di cavi utilizzati e della modalità di posa degli stessi
 - o Cavi CC – Cavi di Stringa
 - o Cavi CA – cavi inverter di stringa
 - o Cavi MT – Distribuzione Secondaria
 - o Cavi MT – Distribuzione Primaria
 - o Altri cavi

- 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	18-03-2022	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 uscita dal campo fotovoltaico è previsto un cavidotto esercito a 30 kV che permetterà di far arrivare l'energia generata alla sotto-stazione utente di trasformazione MT/AT (30/150 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 380/150 kV di Terna.

00	18-03-2022	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 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	18-03-2022	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	18-03-2022	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 27 e 28 moduli FV del costruttore Trina Solar, modello TSM-DEG21C.20 da 660Wp 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	18-03-2022	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.

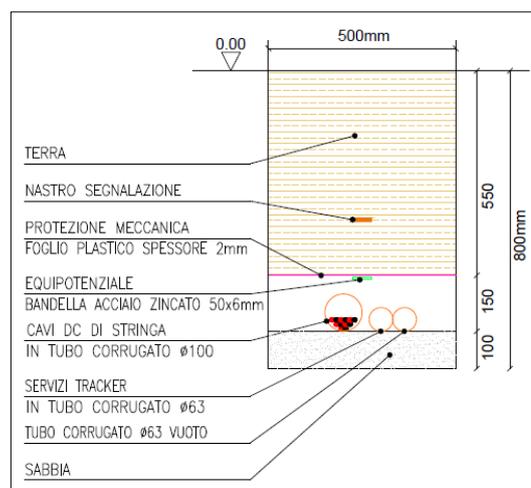
I cavi avranno tratti sia all'aperto (tipicamente lungo la struttura fotovoltaica di sostegno dei moduli fotovoltaici), sia sottoterra per il raggiungimento dell'inverter.

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	18-03-2022	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).

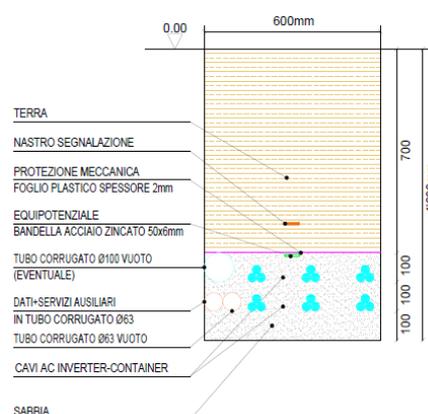
Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Alluminio tipo ARG16R16, mentre la configurazione prevista sarà:

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

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 (Um)	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 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.

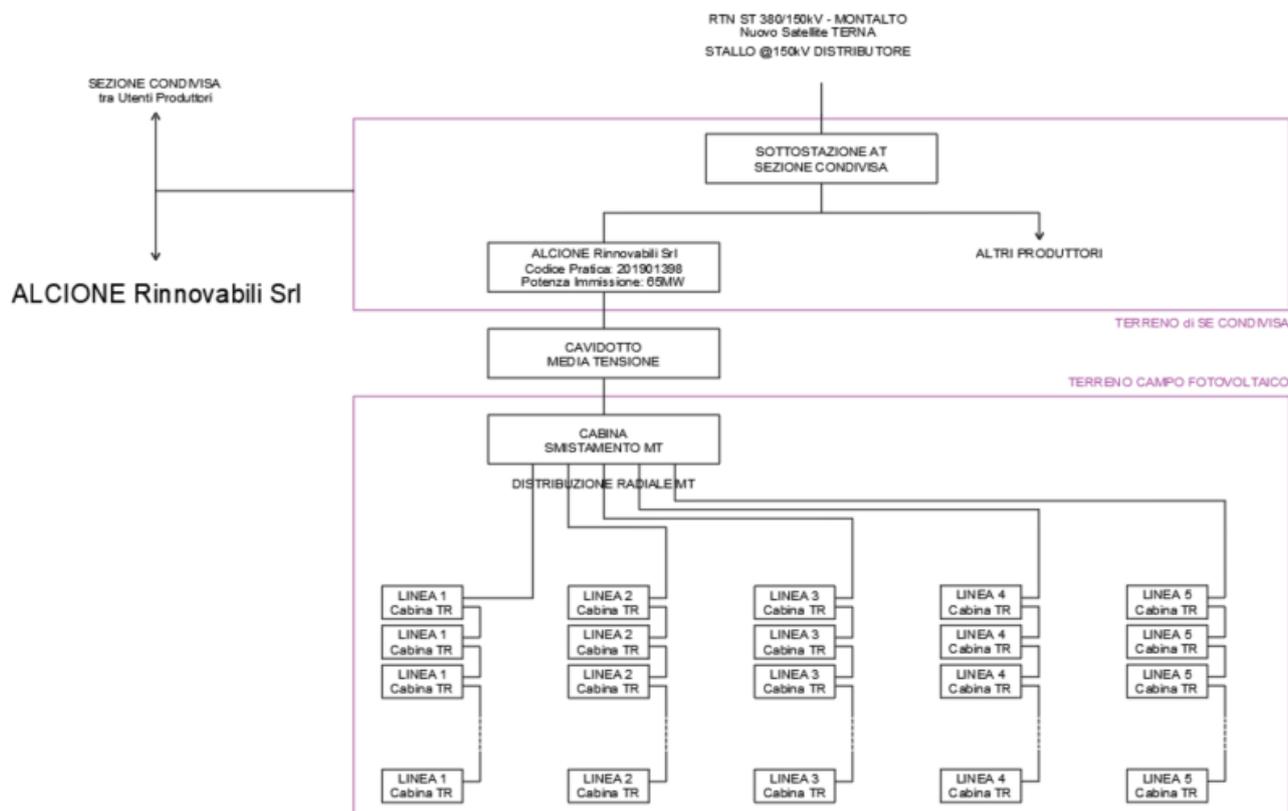
In talune sezioni il cavidotto potrà essere allargato per evitare che i cavi siano troppo vicini.

00	18-03-2022	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	18-03-2022	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 1-4 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	→	3// [3x (1x630)] 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.

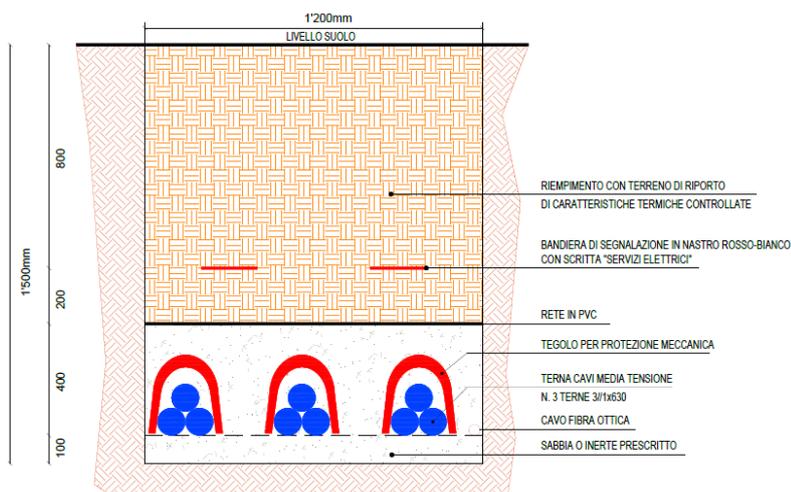
Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche del cavo selezionato.

Modello	ARP1H5EX	<table border="1"> <tr> <td>LARGHEZZA CAVIDOTTO</td> <td>TERNE CAVI</td> </tr> <tr> <td>600mm</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>800mm</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>1000mm</td> <td>4</td> </tr> </table>	LARGHEZZA CAVIDOTTO	TERNE CAVI	600mm	2	800mm	3	1000mm	4
LARGHEZZA CAVIDOTTO	TERNE CAVI									
600mm	2									
800mm	3									
1000mm	4									
Conduttore	Corda compatta a fili di alluminio (CEI 20-29, classe 2)									
Isolante	HPTE (elastomero termoplastico)									
Guaina	Polietilene									
Temperatura di esercizio	0 – 105°C									
Tensione nominale U_o/U (Um)	18/30 (36) kV									
Sezione conduttore	varie									
Portata corrente [A]	A trifoglio direttamente interrati: 95 mm ² : 268 A 150 mm ² : 341 A 240 mm ² : 450 A 300 mm ² : 509 A									

CAVIDOTTO TIPO 3 DISTRIBUZIONE MEDIA TENSIONE	
SCALA 1:10	
	<p>TERRA</p> <p>NASTRO SEGNALAZIONE</p> <p>EQUIPOTENZIALE</p> <p>BANDELLA ACCIAIO ZINCATO 50x6mm</p> <p>PROTEZIONE MECCANICA</p> <p>FOGLIO PLASTICO SPESSORE 2mm</p> <p>CAVI MEDIA TENSIONE max 3/1x300</p> <p>FIBRA OTTICA</p> <p>SABBIA</p> <p>TUBO CORRUGATO Ø160 VUOTO</p>

00	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Modello	ARP1H5E
Conduttore	Corda compatta a fili di alluminio (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	HPTE (elastomero termoplastico)
Guaina	Polietilene
Temperatura di esercizio	0 – 105°C
Tensione nominale U₀/U (Um)	18/30 (36) kV
Sezione conduttore	630 mm ²
Portata corrente [A]	A trifoglio direttamente interrati: 630 mm ² : 752 A



La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione tipicamente larga 1'200mm 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 400mm 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	18-03-2022	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 52 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	18-03-2022	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...18,78A; 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:

$$I_N = 18,78 \text{ A}$$

00	18-03-2022	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
18,78	2//(1x6)	70	0,6	42	OK

00	18-03-2022	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 18,78A;
- 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:

$$18,78 < 30 < 42$$

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

00	18-03-2022	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 15,14A;
- 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 28 moduli, i cavi dei moduli hanno lunghezza pari a 17m.
 La lunghezza totale di stringa è quindi pari a 327, ovvero 0,327km;
- 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 $V_{MPP} = 1'285,2V$.

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

$$\Delta v\%_{media} = \frac{2 \times 15,14 \times 0,327 \times 3,39}{1'285,2} = 2,62\%$$

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

$$\Delta v\%_{MAX} = 2,62\% < 3\%$$

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

00	18-03-2022	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 18,78A 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 130m, ovvero 0,130km;
- 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 15,14A;
- P_N è la potenza trasmessa dalla stringa a corrente I_e, quindi pari alla potenza di picco della stringa, pari a 0,660x28= 18,48kW.

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

$$\Delta P_{CC} = \frac{2 \times 3,39 \times 0,130 \times 15,14^2}{18'480} = 1,09\%$$

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

00	18-03-2022	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 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 ... 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:

$$I_N = 155,2 A$$

00	18-03-2022	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
155,2A	1//(3x240)	413	0,7	289,1	OK

00	18-03-2022	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	
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	
(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	PR221DS/L/S/I	■	
	PR221DS/I	■	
	PR222DS/P_LSI	■	
	PR222DS/P_LSIG	■	
	PR222DS/PD_LSI	■	
	PR222DS/PD_LSIG	■	
	PR222MP	■	
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
	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 155,2A;
- 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:

$$155,2 < 200 < 289,1 A$$

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

00	18-03-2022	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 155,2A;
- L è la lunghezza del tratto di inverter, si considera l'inverter che ha il tratto più lungo, con L pari a 100m;
- 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:

$$\Delta v\% = \frac{1,73 \times 155,2 \times 0,100 \times 0,187}{800} = 0,63\%$$

e quindi:

$$\Delta v\%_{CC} = 0,63\% < 3\% = \Delta v\%_{MAX}$$

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

00	18-03-2022	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 MT/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 155,2A;
- P_N è la potenza trasmessa dalla singola linea AC a corrente I_e , quindi pari alla potenza inverter, pari a 215,0kW.

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

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

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

00	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.3 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.

3.3.1 Tensione di esercizio

La tensione di esercizio della rete di Media Tensione del presente impianto è 30'000V.

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:

$$V_e = 30'000 \text{ V, con intervallo funzionamento su rete MT pari a } 95\% \dots 108\% V_e$$

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 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 = $1,5 \text{ }^\circ\text{K} \times \text{m/W} \rightarrow k_4 = 1$	
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	18-03-2022	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 (255A) o in tubo (280A), calcoliamo la condizione peggiorativa:

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)
Portata Cavo interrato Lorda = 506A	Portata Cavo in aria Lorda = 618A
$k_{TOT} = 0,76$	$k_{TOT} = 0,66$
Portata Cavo Netta = 384,6A	Portata Cavo Netta = 407,9A

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.

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 MT è il seguente:

Protezione linee radiali MT	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	18-03-2022	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	TR12	95	5	261	30	ARP1H5E	1x300	509	336	Elt Relay	287	OK	OK
TR12	TR11	90	5	240	30	ARP1H5E	1x300	509	336	Elt Relay	264	OK	OK
TR11	TR10	110	5	220	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	242	OK	OK
TR10	TR09	95	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	219	OK	OK
TR09	TR05	350	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	196	OK	OK
TR05	TR06	140	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	173	OK	OK
TR06	TR07	120	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	146	OK	OK
TR07	TR08	115	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	118	OK	OK
TR08	TR04	580	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	91	OK	OK
TR04	TR03	160	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	68	OK	OK
CS	TR02	110	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	46	OK	OK
TR02	TR01	150	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	23	OK	OK
CS	TR13	370	5	244	30	ARP1H5E	1x300	509	336	Elt Relay	269	OK	OK
TR13	TR14	200	6	224	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	246	OK	OK
TR14	TR37	450	6	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	219	OK	OK
TR37	TR36	115	6	174	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	191	OK	OK
TR36	TR35	120	6	149	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	164	OK	OK
TR35	TR34	85	6	124	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	137	OK	OK
TR34	TR33	90	6	99	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	109	OK	OK
TR33	TR32	65	6	75	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	82	OK	OK
TR32	TR31	20	6	50	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	55	OK	OK
TR31	TR30	65	6	25	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	27	OK	OK
CS	TR29	795	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	Elt Relay	242	OK	OK
TR29	TR28	30	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	219	OK	OK
TR28	TR27	55	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	196	OK	OK
TR27	TR26	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	173	OK	OK
TR26	TR25	45	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	146	OK	OK
TR25	TR24	25	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	118	OK	OK
TR24	TR18	265	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	91	OK	OK
TR18	TR17	45	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	68	OK	OK
TR17	TR16	145	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	46	OK	OK
TR16	TR15	130	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	23	OK	OK
CS	TR23	965	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	Elt Relay	242	OK	OK
TR23	TR22	55	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	219	OK	OK
TR22	TR21	50	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	196	OK	OK
TR21	TR20	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	173	OK	OK
TR20	TR19	70	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	146	OK	OK
TR19	TR52	565	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	118	OK	OK
TR52	TR51	120	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	91	OK	OK
TR51	TR50	100	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	68	OK	OK
TR50	TR49	90	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	46	OK	OK
TR49	TR48	110	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	23	OK	OK
CS	TR47	965	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	Elt Relay	242	OK	OK
TR47	TR46	55	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	219	OK	OK
TR46	TR45	50	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	Elt Relay	196	OK	OK
TR45	TR44	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	173	OK	OK
TR44	TR43	70	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	146	OK	OK
TR43	TR42	565	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	Elt Relay	118	OK	OK
TR42	TR41	120	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	91	OK	OK
TR41	TR40	100	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	68	OK	OK
TR40	TR38	90	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	46	OK	OK
TR38	TR39	110	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	Elt Relay	23	OK	OK
CS	SE	16100	301	1247	30	ARP1H5E	3x(1x630)	2256	1489	Elt Relay	1372	OK	OK

00	18-03-2022	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 MT;
- $\sin \phi$ si deriva dal fattore di potenza;
- V_e è la tensione di esercizio, pari a 30'000V.

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.

00	18-03-2022	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	TR12	95	5	261	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,100	0,115	4,941	0,02%	0,33%
TR12	TR11	90	5	240	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,100	0,115	4,310	0,01%	0,31%
TR11	TR10	110	5	220	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	6,017	0,02%	0,30%
TR10	TR09	95	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	4,706	0,02%	0,28%
TR09	TR05	350	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	15,532	0,05%	0,26%
TR05	TR06	140	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	9,048	0,03%	0,21%
TR06	TR07	120	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	6,531	0,02%	0,18%
TR07	TR08	115	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	5,085	0,02%	0,16%
TR08	TR04	580	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	30,646	0,10%	0,14%
TR04	TR03	160	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	6,341	0,02%	0,04%
CS	TR02	110	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	2,906	0,01%	0,02%
TR02	TR01	150	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	1,981	0,01%	0,01%
Radiale MT 1 TOT														0,33%
CS	TR13	370	5	244	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,100	0,115	18,023	0,06%	0,27%
TR13	TR14	200	6	224	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	11,146	0,04%	0,21%
TR14	TR37	450	6	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	22,291	0,07%	0,18%
TR37	TR36	115	6	174	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	8,215	0,03%	0,10%
TR36	TR35	120	6	149	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	7,347	0,02%	0,07%
TR35	TR34	85	6	124	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	4,337	0,01%	0,05%
TR34	TR33	90	6	99	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	5,707	0,02%	0,03%
TR33	TR32	65	6	75	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	3,091	0,01%	0,02%
TR32	TR31	20	6	50	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	0,634	0,00%	0,01%
TR31	TR30	65	6	25	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	1,030	0,00%	0,00%
Radiale MT 2 TOT														0,27%
CS	TR29	795	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,100	0,115	34,787	0,12%	0,22%
TR29	TR28	30	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	1,486	0,00%	0,11%
TR28	TR27	55	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	2,441	0,01%	0,10%
TR27	TR26	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	3,231	0,01%	0,09%
TR26	TR25	45	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	2,449	0,01%	0,08%
TR25	TR24	25	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	1,105	0,00%	0,07%
TR24	TR18	265	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	14,002	0,05%	0,07%
TR18	TR17	45	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	1,783	0,01%	0,02%
TR17	TR16	145	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	3,831	0,01%	0,02%
TR16	TR15	130	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	1,717	0,01%	0,01%
Radiale MT 3 TOT														0,22%
CS	TR23	965	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,100	0,115	42,225	0,14%	0,31%
TR23	TR22	55	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	2,724	0,01%	0,17%
TR22	TR21	50	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	2,219	0,01%	0,16%
TR21	TR20	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	3,231	0,01%	0,15%
TR20	TR19	70	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	3,810	0,01%	0,14%
TR19	TR52	565	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	24,984	0,08%	0,13%
TR52	TR51	120	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	6,341	0,02%	0,05%
TR51	TR50	100	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	3,963	0,01%	0,03%
TR50	TR49	90	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	2,378	0,01%	0,01%
TR49	TR48	110	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	1,453	0,00%	0,00%
Radiale MT 4 TOT														0,31%
CS	TR47	965	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,100	0,115	42,225	0,14%	0,31%
TR47	TR46	55	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	2,724	0,01%	0,17%
TR46	TR45	50	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,125	0,144	2,219	0,01%	0,16%
TR45	TR44	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	3,231	0,01%	0,15%
TR44	TR43	70	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	3,810	0,01%	0,14%
TR43	TR42	565	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,206	0,237	24,984	0,08%	0,13%
TR42	TR41	120	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	6,341	0,02%	0,05%
TR41	TR40	100	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	3,963	0,01%	0,03%
TR40	TR38	90	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	2,378	0,01%	0,01%
TR38	TR39	110	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,320	0,369	1,453	0,00%	0,00%
Radiale MT 5 TOT														0,31%
CS	SE	16100	301	1247	30	ARP1H5E	3x(1x630)	2256	1489	0,016	0,018	640,150	2,13%	2,13%
Connessione MT (CS-SSE)														2,13%

00	18-03-2022	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 MT, che nel presente impianto è particolarmente lungo (circa 16km), 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 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:

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

e quindi:

$$S_{\text{tratta}} = 95 > 35,5 = S_{\min}$$

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

00	18-03-2022	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:

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

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 Consegna impianto Utente-Produttore).

Di seguito il calcolo puntuale di ogni radiale MT:

Cavo MT		L [m]	Inverter connected (nr)	In (A)	Voltage (kV)	Cable Type	Section	Rating factors		Power Losses			
								Iz'	Iz	R cable Ohm/m (@60°C)	Single Path Losses	Relative Losses	TOT
CS	TR12	95	5	261	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,115	2236	0,21%	2,07%
TR12	TR11	90	5	240	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,115	1796	0,17%	
TR11	TR10	110	5	220	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	2291	0,21%	
TR10	TR09	95	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	1623	0,15%	
TR09	TR05	350	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	4798	0,45%	
TR05	TR06	140	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	2470	0,19%	
TR06	TR07	120	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	1501	0,12%	
TR07	TR08	115	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	950	0,07%	
TR08	TR04	580	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	4403	0,41%	
TR04	TR03	160	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	683	0,06%	
CS	TR02	110	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	209	0,02%	
TR02	TR01	150	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	71	0,01%	
CS	TR13	370	5	244	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,115	7639	0,71%	2,17%
TR13	TR14	200	6	224	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	4324	0,34%	
TR14	TR37	450	6	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	7686	0,60%	
TR37	TR36	115	6	174	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	2478	0,19%	
TR36	TR35	120	6	149	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	1900	0,15%	
TR35	TR34	85	6	124	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	935	0,07%	
TR34	TR33	90	6	99	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	984	0,08%	
TR33	TR32	65	6	75	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	400	0,03%	
TR32	TR31	20	6	50	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	55	0,00%	
TR31	TR30	65	6	25	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	44	0,00%	
CS	TR29	795	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,115	13244	1,23%	1,71%
TR29	TR28	30	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	512	0,05%	
TR28	TR27	55	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	754	0,07%	
TR27	TR26	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	882	0,07%	
TR26	TR25	45	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	563	0,04%	
TR25	TR24	25	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	206	0,02%	
TR24	TR18	265	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	2012	0,19%	
TR18	TR17	45	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	192	0,02%	
TR17	TR16	145	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	275	0,03%	
TR16	TR15	130	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	62	0,01%	

00	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

CS	TR23	965	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,115	16077	1,50%	2,29%
TR23	TR22	55	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	939	0,09%	
TR22	TR21	50	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	685	0,06%	
TR21	TR20	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	882	0,07%	
TR20	TR19	70	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	876	0,07%	
TR19	TR52	565	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	4666	0,36%	
TR52	TR51	120	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	911	0,08%	
TR51	TR50	100	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	427	0,04%	
TR50	TR49	90	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	171	0,02%	
TR49	TR48	110	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	52	0,00%	
CS	TR47	965	5	220	30	ARP1H5E	1x300	509	336	0,115	16077	1,50%	2,29%
TR47	TR46	55	5	199	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	939	0,09%	
TR46	TR45	50	5	178	30	ARP1H5E	1x240	450	297	0,144	685	0,06%	
TR45	TR44	50	6	157	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	882	0,07%	
TR44	TR43	70	6	133	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	876	0,07%	
TR43	TR42	565	6	108	30	ARP1H5E	1x150	341	225	0,237	4666	0,36%	
TR42	TR41	120	5	83	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	911	0,08%	
TR41	TR40	100	5	62	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	427	0,04%	
TR40	TR38	90	5	41	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	171	0,02%	
TR38	TR39	110	5	21	30	ARP1H5E	1x95	268	177	0,369	52	0,00%	
CS	SE	16100	301	1247	30	ARP1H5E	3x(1x630)	2256	1489	0,018	1384187	2,14%	2,14%

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	18-03-2022	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	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Parametri elettrici / Electrical parameters

Tensione massima in c.a. ($U_{m,ac}$) / Rated voltage in a.c. $U_0/U_{m,ac}$	1200 V
Tensione massima in c.c. ($U_{m,dc}$) / 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 allo smaltimento (in assenza di sostanze inquinanti ed alogene) Given in terms of recycling, disposal and energy-saving production (free of pollutants and halogens)

00	18-03-2022	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.

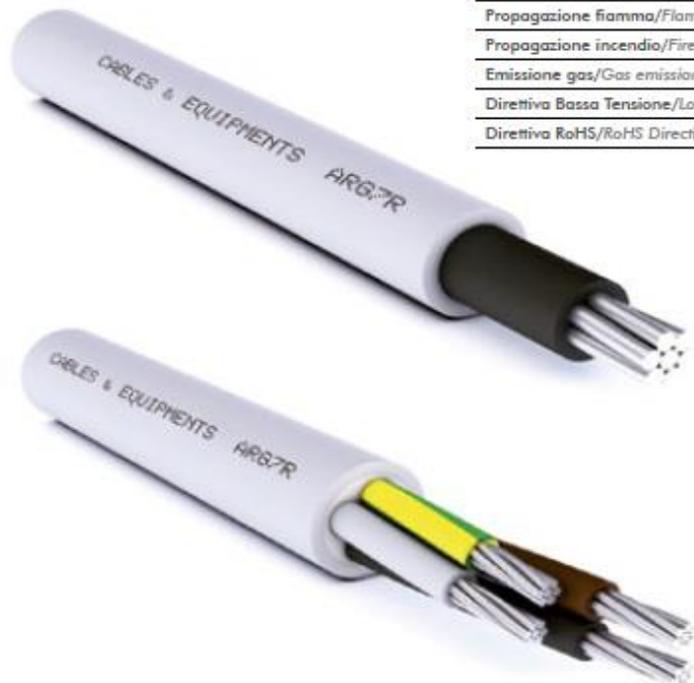
CAVI BASSA TENSIONE - ENERGIA
LOW VOLTAGE - POWER

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	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

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

Formazione	Ø Indicativo conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Ø esterno max	Peso Indicativo cavo	Resistenza elettrica max a	Portata di corrente							
Size	Approx. conduct. Ø	Average Insulation thickness	Average sheath thickness	Outer Ø	Approx. cable weight	Max electrical resistance at 20° C	Current rating							
							in aria a		in tubo in aria a		Interrato a Underground at		in tubo interrato a in underground pipe at	
							in air at		in pipe in air at		20° C		in underground pipe at	
							30° C		30° C		K=1		K=1,5	
n° x mm²	mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km								
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	1889	0,208	350	280	313	289	250	231
3 x 185	16,20	1,6	2,4	52,9	2647	0,153	415	334	350	324	300	278
3 x 240	18,40	1,7	2,6	59,3	2964	0,164	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	18-03-2022	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.

MEDIA TENSIONE - APPLICAZIONI TERRESTRI E/O EOLICHE / MEDIUM VOLTAGE - GROUND AND/OR WIND FARM APPLICATION

ARP1H5EX P-Laser



Elica visibile 12/20 kV e 18/30 kV
Triplex 12/20 kV and 18/30 kV

Norma di riferimento
HD 620/IEC 60502-2

Descrizione del cavo

Anima

Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio

Semiconduttivo interno

Miscela estrusa

Isolante

Miscela in elastomero termoplastico (qualità HPTE)

Semiconduttivo esterno

Miscela estrusa

Rivestimento protettivo

Nastro semiconduttore igroespandente

Schematura

Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale
($R_{max} 3\Omega/Km$)

Guaina

Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)

Marcatura

PRYSMIAN (**) ARP1H5EX <tensione> <sezione>
<fase 1/2/3> <anno>

(**) sigla sito produttivo

Marcatura in rilievo ogni metro

Marcatura metrica ad inchiostro

Applicazioni

Temperatura di sovraccarico massima 140°C

Coefficiente K per temperature di corto circuito di 300°C: $K = 100$

N.B. Il cavo rispetta le prescrizioni della norma HD 620 per quanto riguarda l'isolante, per tutte le altre caratteristiche rispetta le prescrizioni della IEC 60502-2.

Accessori idonei

Terminali

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128),

FMCE (pag. 130), FMCTS-400 (pag. 132),

FMCTXs-630/C (pag. 136)

Giunti

ECOSPEED™ (pag. 140)

Standard

HD 620/IEC 60502-2

Cable design

Core

Compact stranded aluminium conductor

Inner semi-conducting layer

Extruded compound

Insulation

Thermoplastic elastomer compound (type HPTE)

Outer semi-conducting layer

Extruded compound

Protective layer

Semiconductive watertight tape

Screen

Aluminium tape longitudinally applied
($R_{max} 3\Omega/Km$)

Sheath

Polyethylene: red colour (DMP 2 type)

Marking

PRYSMIAN (**) ARP1H5EX <rated voltage> <cross-section>
<phase 1/2/3> <year>

(**) production site label

Embossed marking each meter

Ink-jet meter marking

Applications

Overload maximum temperature 140°C

K coefficient for short-circuit temperatures at 300°C: $K = 100$

N.B. According to HD 620 standard for insulation, and the IEC 60502-2 for the other characteristics.

Suitable accessories

Terminations

ELTI-1C (pag. 115), ELTO-1C (pag. 118), FMCS 250 (pag. 128),

FMCE (pag. 130), FMCTS-400 (pag. 132),

FMCTXs-630/C (pag. 136)

Joints

ECOSPEED™ (pag. 140)

Prysmian
Group

00	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

ARP1H5EX *P-Laser*

Elica visibile 12/20 kV e 18/30 kV
Triplex 12/20 kV and 18/30 kV

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARP1H5EX

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	massa indicativa del cavo	raggio minimo di curvatura
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	approximate weight	minimum bending radius
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	portata di corrente in aria	posa interrata a trifoglio	
conductor cross-section	open air installation	p=1 °C m/W	p=2 °C m/W
(mm ²)	(A)	(A)	(A)

Dati costruttivi / Construction charact. - 12/20 kV

50	8,2	18,0	25	1550	530
70	9,7	19,1	26	1780	550
95	11,4	20,6	28	2160	590
120	12,9	22,1	29	2410	610
150	14,0	23,4	31	2720	660
185	15,8	25,6	33	3200	700
240	18,2	27,8	35	3950	740
300	20,8	31,0	39	4600	820

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 12/20 kV

50	196	182	140
70	244	224	172
95	298	268	206
120	345	306	235
150	390	341	262
185	451	387	297
240	536	450	346
300	620	509	391

Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

50	8,2	24,8	32	2400	680
70	9,7	25,1	32	2560	680
95	11,4	26,0	33	2810	700
120	12,9	26,9	34	3070	720
150	14,0	27,6	35	3340	740
185	15,8	29,0	37	3750	780
240	18,2	31,4	39	4460	820
300	20,8	34,6	43	5290	910

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

50	197	180	138
70	246	221	170
95	299	265	203
120	346	303	233
150	391	339	260
185	451	385	296
240	534	447	343
300	618	506	389

Prysmian
Group

00	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

ARP1H5E *P-Laser*

Prysmian
Group



Unipolare 12/20 kV a 18/30 kV
Single core 12/20 kV a 18/30 kV



Norma di riferimento
HD 620/IEC 60502-2

Descrizione del cavo

Anima

Conduttore a corda rotonda compatta di alluminio

Semiconduttivo interno

Miscela estrusa

Isolante

Miscela in elastomero termoplastico (qualità HPTE)

Semiconduttivo esterno

Miscela estrusa

Rivestimento protettivo

Nastro semiconduttore igroespandente

Schematura

Nastro di alluminio avvolto a cilindro longitudinale
(Rmax 3Ω/Km)

Guaina

Polietilene: colore rosso (qualità DMP 2)

Marcatura

PRYSMIAN (**) ARP1H5E <tensione>

<sezione> <anno>

(**) sigla sito produttivo

Marcatura in rilievo ogni metro

Marcatura metrica ad inchiostro

Applicazioni

Temperatura di sovraccarico massima 140°C

Coefficiente K per temperature di corto circuito di 300°C: K = 100

N.B. Il cavo rispetta le prescrizioni della norma HD 620 per quanto riguarda l'isolante, per tutte le altre caratteristiche rispetta le prescrizioni della IEC 60502-2.

Accessori idonei

Terminali

ELTI-1C, ELTO-1C, FMCS 250, FMCE, FMCTS-400, FMCTXS-630/C

Giunti

ECOSPEED™

Standard

HD 620/IEC 60502-2

Cable design

Core

Compact stranded aluminium conductor

Inner semi-conducting layer

Extruded compound

Insulation

Thermoplastic elastomer compound (type HPTE)

Outer semi-conducting layer

Extruded compound

Protective layer

Semiconductive watertight tape

Screen

Aluminium tape longitudinally applied (Rmax 3Ω/Km)

Sheath

Polyethylene: red colour (DMP 2 type)

Marking

PRYSMIAN (**) ARP1H5E <rated voltage>

<cross-section> <year>

(**) production site label

Embossed marking each meter

Ink-jet meter marking

Applications

Overload maximum temperature 140°C

K coefficient for short-circuit temperatures at 300°C: K = 100

N.B. According to HD 620 standard for insulation, and the IEC 60502-2 for the other characteristics.

Suitable accessories

Terminations

ELTI-1C, ELTO-1C, FMCS 250, FMCE, FMCTS-400, FMCTXS-630/C

Joints

ECOSPEED™

Conduttore di alluminio / Aluminium conductor - ARP1H5E

sezione nominale	diametro conduttore	diametro sull'isolante	diametro esterno nominale	massa indicativa del cavo	raggio minimo di curvatura
conductor cross-section	conductor diameter	diameter over insulation	nominal outer diameter	approximate weight	minimum bending radius
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)

sezione nominale	portata di corrente in aria	posa interrata a trifoglio p=1 °C m/W	posa interrata a trifoglio p=2 °C m/W
conductor cross-section	open air installation	underground installation trefoil p=1 °C m/W	underground installation trefoil p=2 °C m/W
(mm ²)	(A)	(A)	(A)

Dati costruttivi / Construction charact. - 18/30 kV

95	11,4	26,0	33	940	470
120	12,9	26,9	34	1020	480
150	14,0	27,6	35	1110	490
185	15,8	29,0	37	1250	520
240	18,2	31,4	39	1480	550
300	20,8	34,6	43	1760	610
400	23,8	37,8	46	2140	650
500	26,7	40,9	49	2560	690
630	30,5	45,5	54	3150	760

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 18/30 kV

95	299	265	198
120	346	303	226
150	391	339	253
185	451	385	287
240	534	447	334
300	618	506	378
400	723	580	433
500	840	661	494
630	978	752	562

00	18-03-2022	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione