



COMUNE DI SAN PIETRO IN CASALE
PROVINCIA DI BOLOGNA
REGIONE EMILIA ROMAGNA

IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO "RNE21"

Proponente

RNE21 S.R.L.

Viale San Michele del Carso, 22
20144 Milano (MI)
C.F. 13055920964

Progettazione

**SOCIETA' DI PROGETTAZIONE
GSB CONSULTING SRL**

Via Passo Rolle, 9 – 20134 Milano (MI)
P.IVA 11882750968



Preparato
Irina Giorgi

Verificato
Gianandrea Ing. Bertinazzo

Approvato
Vasco Ing. Piccoli

PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Titolo elaborato

RNE21 RELAZIONE TECNICA OPERE ELETTRICHE

Elaborato N.

R06

Data emissione

01/10/24

Nome file

RELAZIONE TECNICA OPERE ELETTRICHE

N. Progetto

RNE21

Pagina

COVER

00

REV.

01/10/24

DATA

PRIMA EMISSIONE

DESCRIZIONE

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DI RNE21 S.R.L. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.
THIS DOCUMENT CAN NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF RNE21 S.R.L. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

Sommario

1	Premessa	3
2	Descrizione generale	3
2.1	Dati generali di progetto	3
2.2	Configurazione campo FV	4
2.2.1	Configurazione lato Corrente Continua	6
2.2.2	Configurazione Lato Corrente Alternata	6
3	Verifiche di Coordinamento	7
3.1	Coordinamento Elettrico Lato CC	7
3.2	Coordinamento Elettrico Lato CA	9
4	Collegamenti elettrici	11
4.1	Cavi in corrente continua (BT)	12
4.1.1	Cavi di Stringa – Configurazione e modalità di Installazione	13
4.1.2	Cavi Bassa Tensione Corrente Alternata – Configurazione e modalità di Installazione	18
4.1.3	Modalità di installazione	19
4.2	Cavi in corrente alternata (MT)	25
4.2.1	Elettrodotto Utente MT interno all'impianto	25
4.2.2	Elettrodotto Utente MT esterno all'impianto	27
4.3	Altri cavi	34
4.3.1	Cavi nella Cabina di Trasformazione MT/BT e nei PCS	34
4.3.2	Cavi Alimentazione Trackers	34
4.3.3	Cavi di sicurezza e sorveglianza	34
4.3.4	Cavi Dati	35
5	Protezioni elettriche	36

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

1 Premessa

La presente relazione ha lo scopo verificare tecnicamente il dimensionamento e l'idoneità dei principali componenti dell'impianto di generazione di energia elettrica da fonte fotovoltaica denominato "RNE21", da ubicarsi nel Comune di San Pietro in Casale (BO), Pieve di Cento (BO) e Cento (FE), di potenza nominale complessiva pari a 18'469,44 kWp, per una potenza in immissione in rete complessiva pari a 17'250,00 Kw

2 Descrizione generale

2.1 Dati generali di progetto

In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche tecniche relative all'impianto in progetto.

Tabella 1 - Principali caratteristiche dell'impianto agri-FV denominato "RNE21"

Società Proponente	RNE21 S.r.l.
Luogo di realizzazione (impianto FV + elettrodotto)	San Pietro in Casale (BO) San Pietro in Casale (BO), Pieve di Cento (BO) Cento (FE)
Denominazione impianto	RNE 21
Superficie di interesse catastale	21,8 Ha
Superficie di interesse recintata	18,2 Ha
Potenza di picco	18.469,44 kWp
Potenza apparente (*)	17'600,00 kVA
Potenza in STMG	17'250,00 kW
Modalità connessione alla rete	Realizzazione di quattro cabine di consegna che saranno collegate in antenna alla Cabina Primaria AT/MT di Cento tramite due nuove linee MT entrambe su futuro TR in CP
Tensione di esercizio: Bassa tensione CC Bassa tensione CA Media Tensione	<1500 V 800 V sezione generatore (inverter) 400/230 sezione ausiliari 15 kV
Strutture di sostegno	Tracker mono-assiali configurazione 2P
Inclinazione piano dei moduli (tilt)	Tracker: 0° (rotazione Est/Ovest ±55°)
Angolo di azimuth	0°
N° moduli FV	27'984
N° inverter	88
N° cabine di trasformazione BT/MT	8
N° Container Batteria	8
N° PCS	4
Producibilità energetica attesa (1° anno)	25,19 GWh 1'364 kWh/kWp

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.2 Configurazione campo FV

L'impianto agrivoltaico avanzato "RNE21" è composto da quattro impianti di generazione, ciascuno distinto dal punto di vista elettrico e configurato come "lotto d'impianti", connessi in media tensione. Ogni impianto comprende, oltre a una sezione dedicata al parco agrivoltaico, anche una sezione riservata al sistema di accumulo.

La potenza nominale complessiva dell'impianto agrivoltaico avanzato, determinata dalla somma delle potenze nominali dei moduli FV, è pari a 18'469,44 kWp, mentre la potenza in immissione in rete è determinata dalla potenza indicata sul preventivo di connessione, ed è pari a 17'250,00 kW.

I moduli fotovoltaici, realizzati in silicio mono-cristallino ad elevata efficienza, saranno collegati elettricamente in serie a formare stringhe da 24 moduli, e posizionati su strutture ad inseguimento solare mono-assiale, in configurazione a doppia fila (configurazione 2-P). I moduli saranno opportunamente innalzati dal livello del terreno e le strutture di sostegno distanziate (pitch pari a 7,85m).

L'utilizzo di tracker consente la rotazione dei moduli FV attorno ad un unico asse orizzontale avente orientazione Nord-Sud, al fine di massimizzare la radiazione solare captata dai moduli stessi e conseguentemente la produzione energetica del generatore FV.

Per l'impianto FV in oggetto si prevede l'utilizzo di inverter di stringa, posizionati direttamente in campo, a ciascuno dei quali saranno collegate fino ad un massimo di 14 stringhe.

All'interno dei confini dell'impianto FV è prevista l'installazione di otto cabine di trasformazione (due per ogni lotto di impianto) realizzate tramite soluzione containerizzata, contenenti fondamentalmente il trasformatore MT/BT e i quadri elettrici MT e BT.

Il Sistema di Accumulo, invece, è costituito da dispositivi, apparecchiature e logiche di gestione e controllo, progettato per assorbire e rilasciare energia elettrica. Funziona in modo continuativo con la rete di distribuzione e, in questo caso specifico, è integrato con l'impianto di produzione fotovoltaica. In particolare, il Sistema di Accumulo rilascerà l'energia elettrica accumulata in modo da garantire che la potenza immessa in rete non superi mai quella indicata da Enel Distribuzione nel preventivo di connessione ricevuto.

In estrema sintesi il Sistema di Accumulo, complessivamente, è caratterizzato dai seguenti dati nominali:

$$40,12\text{MWh} - 10\text{MW}_{AC}$$

L'energia generata dall'impianto agrivoltaico avanzato dotato di accumulo viene raccolta tramite una rete di elettrodotti interrati in Media Tensione eserciti a 15 kV che confluiscono presso le quattro cabine di consegna situate nel comune di Cento al Foglio 41 p.la 375, in posizione accessibile dalla viabilità pubblica, presso le quali è ubicato il punto di consegna dell'energia generata alla rete di distribuzione.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione



Figura 1: Inquadramento su Ortofoto

In Tabella 2 è riportata la consistenza dell’impianto fotovoltaico, in termini di numerosità dei principali componenti installati.

Tabella 2 - Numerosità dei principali componenti d’impianto

CABINA	STRUTTURE 2x24	STRUTTURE 2x12	TOTALE STRINGHE	INV. 13 STRINGHE	INV. 14 STRINGHE	TOTALE INVERTER	STRINGHE	PANNELLI	POTENZA DC kWp	POTENZA AC kVA	RAPPORTO DC/AC
C1.1	78	5	161	7	5	12	161	3.864	2.550,24	2.400	1,06
C1.2	63	4	130	10		10	130	3.120	2.059,20	2.000	1,03
LOTTO 1	141	9	291	17	5	22	291	6.984	4.609,44	4.400	1,05
C2.1	77	7	161	7	5	12	161	3.864	2.550,24	2.400	1,06
C2.2	63	6	132	8	2	10	132	3.168	2.090,88	2.000	1,05
LOTTO 2	140	13	293	15	7	22	293	7.032	4.641,12	4.400	1,05
C3.1	74	11	159	9	3	12	159	3.816	2.518,56	2.400	1,05
C3.2	61	11	133	7	3	10	133	3.192	2.106,72	2.000	1,05
LOTTO 3	135	22	292	16	6	22	292	7.008	4.625,28	4.400	1,05
C4.1	72	12	156	12		12	156	3.744	2.471,04	2.400	1,03
C4.2	60	14	134	6	4	10	134	3.216	2.122,56	2.000	1,06
LOTTO 4	132	26	290	18	4	22	290	6.960	4.593,60	4.400	1,04
TOTALE	548	70	1.166	66	22	88	1.166	27.984	18.469,44	17.600	1,05

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

2.2.1 Configurazione lato Corrente Continua

La configurazione lato corrente continua dell'impianto prevedere essenzialmente:

- una potenza DC pari a 18'469,44 kWp, dati da:
 - o Nr. 27'984 Moduli Fotovoltaici;
 - o collegati in nr. 1'166 stringhe;
 - o che confluiscono in nr. 88 Inverter di stringa
 - o raggruppati a loro volta in nr.8 cabine di trasformazione, 2 per ogni lotto.
- una potenza AC pari a 17'250,00 kVA.

2.2.2 Configurazione Lato Corrente Alternata

La configurazione Lato Corrente Alternata dell'impianto FV prevede essenzialmente:

- nr. 88 inverter di stringa che ricevono una potenza una potenza DC pari a 18'469,44 kWp (@STC) e la convertono in AC una potenza pari a 17'250,0 kVA;
- nr. 8 trasformatori MT/BT per una potenza complessiva nominale pari a 17'250,0 kVA.

Per la descrizione dettagliata dei componenti d'impianto si rimanda alle relazioni tecniche di impianto FV.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3 Verifiche di Coordinamento

3.1 Coordinamento Elettrico Lato CC

L'elemento di partenza per il coordinamento lato corrente continua è il modulo fotovoltaico, i cui dati elettrici riportati alle condizioni STC sono:

$$P = 660\text{Wp, con } -0,26\%/^{\circ}\text{C}$$

$$V_{OC} = 54,00\text{V, con } -0,20\%/^{\circ}\text{C} - V_{MPP} = 44,85\text{V}$$

$$I_{SC} = 15,41\text{A, con } +0,050\%/^{\circ}\text{C} - I_{MPP} = 14,72\text{A}$$

Si procede quindi con il calcolo dei parametri elettrici del modulo FV in funzione delle condizioni ambientali del presente progetto; l'intervallo di funzionamento è tra le temperature ambiente di -5°C e 50°C , che corrisponde indicativamente ad una temperatura di funzionamento delle celle FV tra $+0^{\circ}\text{C}$ e 70°C . La temperatura ambiente minima di -5°C risulta relativa ad ore notturne, mentre per far sì che un modulo fotovoltaico raggiunga un valore di tensione prossimo a quello di V_{OC} riportato nella scheda tecnica fornita dal costruttore (relativo a condizioni STC, ovvero irraggiamento pari a 1000 W/m^2) si ritiene necessario un valore di irraggiamento pari o superiore a 100 W/m^2 . In conclusione, si ritiene sufficientemente cautelativa l'ipotesi di considerare una temperatura minima di funzionamento di cella FV pari a 0°C , e quindi i parametri elettrici sono:

$$V_{OC} = 56,70\text{V @ } 0^{\circ}\text{C} - V_{MPP} @ 0^{\circ}\text{C} = 47,09\text{V} - V_{MPP} @ 70^{\circ}\text{C} = 40,81\text{V}$$

$$I_{SC} = 15,76\text{A @ } 70^{\circ}\text{C} - I_{MPP} = 15,05^{\circ} @ 70^{\circ}\text{C}$$

Si prevede di realizzare stringhe costituite da 24 moduli FV collegati tra di loro elettricamente in serie. Ciascuna stringa elettricamente si caratterizza come segue:

$$V_{OC} = 56,70 \times 24 = 1'360,80\text{V} - V_{MPP} = 40,81 \times 24 = 1'130,22\text{V}$$

$$I_{SC} = 15,76\text{A @ } 70^{\circ}\text{C} - I_{MPP} = 15,05\text{A}$$

A) Verifica di coordinamento → tensione di isolamento CC

$$V_{IS\ DC} \geq 1360,80 \text{ V}$$

Moduli FV presentano tensione di isolamento pari a $1'500\text{V}$.

Si rimanda ai paragrafi successivi della presente relazione per la verifica della tensione di isolamento dei cavi DC.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

B) Verifica di coordinamento → inverter: corrente di stringa CC

$$I_{SC} = 15,76A @ 70^{\circ}C - I_{MPP} = 15,05A$$

Si rimanda al paragrafo dedicato per la verifica della portata di corrente del cavo DC di stringa

Per quanto concerne la verifica di coordinamento a livello di inverter si considera la configurazione più gravosa elettricamente, ovvero un inverter al quale risultano afferenti 14 stringhe.

Quindi le grandezze elettriche da verificare sono:

$$I_{SC,MAX} = 15,76 \times 14 = 220,59 A - I_{MPP,MAX} = 15,05 \times 14 = 210,72 A$$

$$\text{Inverter} \rightarrow I_{SC,MAX} \text{ in ingresso} = 50 A * 9 = 450 A > 220,59 A \text{ OK } \checkmark$$

$$\text{Inverter} \rightarrow I_{MPP,MAX} \text{ in ingresso} = 30 A * 9 = 270 A > 210,72 A \text{ OK } \checkmark$$

C) Verifica di coordinamento → inverter: tensione isolamento e range MPP

$$V_{IS} = 1'500V \geq 1360,80V \text{ OK } \checkmark$$

$$V_{MPP,SUP} = 1'500 V > 1'130,22V \text{ OK } \checkmark$$

D) Verifica di coordinamento → tensione di isolamento BT

$$V_{IS} \geq 1000V$$

Inverter, cavi di collegamento BT sono tutti con tensione di isolamento pari a 1'000V.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

3.2 Coordinamento Elettrico Lato CA

L'elemento di partenza per il coordinamento lato CA è l'inverter, le cui grandezze elettriche lato CA sono di seguito riassunte:

$$V_N = 200V - 50/60Hz$$

$$I_{MAX} = 155,2A - \text{intervallo } \cos \phi = 0,8_{CAP} \dots 0,8_{IND}$$

A) Verifica di coordinamento → Trasformatore MT/BT

Tensione Uscita Inverter 800V – Rapporto di trasformazione MT/BT 15'000/800 [V] **OK** ✓

Inverter → Potenza inverter 200kVA
max 22/20 inverter per trasformatore → 2'400 kVA/ 2'000 kVA

Potenza trasformatore MT/BT: 2'500 kVA/2'000kVA **OK** ✓

B) Verifica di coordinamento → tensione di isolamento BT

$$V_{IS BT} \geq 800V$$

Gli inverter d'impianto sono tutti con tensione di isolamento pari a 1'000V.

Si rimanda ai paragrafi successivi della presente relazione per la verifica della tensione di isolamento dei cavi CA.

C) Verifica di coordinamento → Quadro MT di cabina di trasformazione

Caratteristiche e classificazione: 24kV-16kA-630A - LSC2A/PI IAC AFLR 16kA x 1s

Tensione Uscita Trasformatore 15'000V - Tensione isolamento quadro MT di Cabina 24'000V **OK** ✓

Corrente massima linee radiale 77,1A (Trafo 2'000 kVA)/ 96,40A (Trafo 2'500 kVA)– Corrente nominale
quadro MT di cabina 630A **OK** ✓

D) Verifica di coordinamento → corrente di linea MT

$$4I_{CAB} = 77,1A/96,34A$$

Si rimanda ai paragrafi successivi della presente relazione per la verifica della portata di corrente del cavo MT nelle varie tratte.

E) Verifica impianto → Rapporto potenza DC / potenza AC

Potenza DC = a 18'972,68 kWp – Potenza massima generabile dagli inverter = 17'250,00 kVA

Rapporto potenze DC/AC = 1,05 **OK** ✓

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Tenuto conto:

- della potenza effettivamente resa disponibile nel punto di generazione per effetto degli scostamenti dalle STC (25°C temperatura di cella FV, 1000W/m²),
- delle perdite dal punto di generazione (morsetti moduli FV) al PdC,

si ritiene che il rapporto DC/AC sia corretto.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4 Collegamenti elettrici

I collegamenti elettrici da realizzarsi all'interno dell'impianto agrivoltaico consistono fondamentalmente in:

- Cavi in corrente continua in BT – per il trasporto di energia dai moduli FV agli inverter di stringa;
- Cavi in corrente alternata in BT – dagli inverter di stringa alla cabina di trasformazione;
- Cavi in corrente alternata in BT – dagli inverter centralizzati dei container batteria al PCS;
- Cavi in corrente alternata in MT – dalla cabina di trasformazione alla cabina di raccolta;
- Cavi in corrente alternata in MT – dal PCS alla cabina di raccolta;
- Cavi in corrente alternata in MT – dalla cabina di raccolta alla cabina di consegna;

Il dimensionamento dei cavi eserciti in BT ed in MT, utilizzati per il trasporto di energia dai moduli FV fino alla cabina di consegna, è stato effettuato tenendo conto dei seguenti criteri di verifica:

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

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1 Cavi in corrente continua (BT)

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

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 24 moduli FV produttore Longi, modello LR7-72HYD 660M, e presentano una potenza nominale a STC¹ pari a 660 Wp.

Il cavo di collegamento di questa stringa è chiamato cavo di stringa e per questo progetto è stato selezionato un cavo del tipo H1Z2Z2.

La sezione CC verrà esercita con un Sistema Isolato. In accordo con il Sistema Normativo Internazionale, il funzionamento in Sistema Isolato:

- prevede entrambi i poli (Negativo e Positivo) NON connessi a terra in nessun punto ed in nessun caso;
- prevede un controllore di isolamento, che garantisca il continuo monitoraggio del valore di resistenza tra i poli e terra; il cedimento dell'isolamento dovrà essere chiaramente rilevato in modo da permettere al gestore dell'impianto di effettuare i necessari interventi di manutenzione straordinaria alla ricerca del guasto;
- permette il funzionamento del sistema con il primo guasto a terra, a patto che il primo guasto sia chiaramente rilevato e che il secondo guasto determini l'intervento degli organi di protezione atti al sezionamento della parte di circuito sottoposta al doppio guasto.

Nello specifico si prevede l'utilizzo di cavi del tipo "solar energy" progettati appositamente per l'impiego in applicazioni fotovoltaiche con tensioni di esercizio in corrente continua fino a 1500 V, aventi le principali caratteristiche riportate in Tabella 3.

La tipologia di cavi selezionata presenta elevata vita utile, resistenza alla corrosione, abrasione ed agli agenti chimici, ottimo comportamento in caso di incendio (bassa emissione di fumi secondo IEC 61034 e bassa tossicità secondo EN 50305), compatibilità ambientale (conformità direttiva comunitaria RoHS).

Tabella 3: Principali Caratteristiche cavi BT in c.c. – Cavi di Stringa

Modello	H1Z2Z2
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)

1 STC - Standard Test Conditions: irraggiamento solare 1000 W/m², temperatura modulo FV 25°C, Air Mass 1,5

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.1 Cavi di Stringa – Configurazione e modalità di Installazione

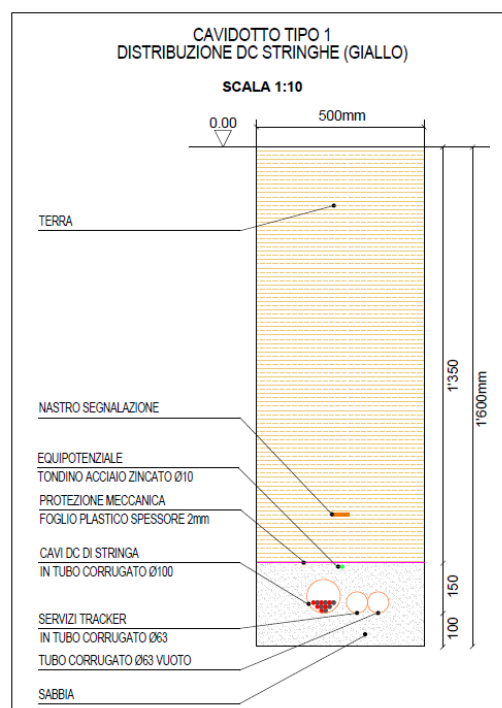
I cavi avranno tratti sia all'aperto (tipicamente lungo la struttura fotovoltaica di sostegno dei moduli fotovoltaici), sia sottoterra per il raggiungimento dell'inverter.

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 H1Z2Z2, con la seguente configurazione:

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

Di seguito si riportano le principali caratteristiche tecniche del cavo selezionato e un estratto delle sezioni tipo dei cavidotti:

Modello	H1Z2Z2
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 1'600mm, 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 150mm 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.

Si rimanda all'elaborato grafico "RNE21.PD.T.11.00 - Layout Dettagliato Cavidotti BT e CC" per indicazioni su dove sono posati i cavi.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.1.1 Condizioni di esercizio

In questo paragrafo vengono identificate le condizioni di esercizio elettriche e ambientali, necessarie per procedere con la verifica del dimensionamento.

4.1.1.1.1 Tensione di esercizio

In merito alla tensione, il lato continuo di un Impianto di Generazione Agrivoltaico 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; il valore di riferimento della tensione è pari al massimo valore di tensione di sistema, ovvero:

$$V_e = 1'500V$$

4.1.1.1.2 Corrente di esercizio

In merito alla corrente, analogamente a quanto descritto nel paragrafo precedente, bisogna fare riferimento al dimensionamento campo FV; la corrente varia all'interno di un intervallo 0...15,76 A; in accordo con le Norme di riferimento, la corrente di dimensionamento è pari alla corrente di corto circuito con temperatura di cella pari a 70°C, per cui il valore di riferimento della corrente è pari a:

$$I_N = 15,76A$$

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.1.1.3 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 $\rightarrow k_1 = 1$	Temperatura $\rightarrow k_1 = 1$
Tipo di posa: stesso piano, circuiti a contatto $\rightarrow k_2 = 0,80$	Tipo di posa: più circuiti per tubo $\rightarrow k_2 = 0,6$
	profondità = 1.6 m $\rightarrow k_3 = 0,94$
	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 $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_5 = 0,76$	TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,50$

(*) = 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 **$k_{TOT} = 0,50$** .

La verifica ha esito positivo se viene soddisfatta la 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	k_{tot}	I_Z	Verifica
15,76	2//(1x6)	70	0,50	35,0	OK

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.1.1.4 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 15,76A;
- 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 35,0 A.

Nel presente caso si ha:

$$15,76 < 30,00 < 35,00$$

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

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.1.1.5 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 15,05A;
- L è la lunghezza del tratto di stringa, si considera la stringa che ha il tratto più lungo, con L pari a circa 300m;
- 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 $V_{MPP} = 1'130,22\text{V}$.

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

$$\Delta v\%_{\text{media}} = \frac{2 \times 15,05 \times 0,300 \times 3,39}{1'130,22} = 2,70\%$$

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

$$\Delta v\%_{\text{MAX}} = 2,70\% < 3\%$$

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

4.1.1.1.6 Verifica Tenuta al corto circuito

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

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

Il funzionamento della sezione in corrente continua dell'impianto agrivoltaico prevede una corrente di corto circuito pari a 15,76A e quindi la verifica della tenuta al corto circuito altro non è che la verifica della portata del cavo, già verificata nei paragrafi precedenti.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.2 Cavi Bassa Tensione Corrente Alternata – Configurazione e modalità di Installazione

I cavi in corrente alternata sono necessari per collegare in parallelo gli inverter di stringa ubicati in campo sul Quadro Parallelo Corrente Alternata (di seguito QPCA) e per collegare gli inverter centralizzati con il trasformatore dei PCS.

La sezione CA lato generatore verrà esercita con un Sistema Trifase Isolato 3F+PE, a tutti gli effetti un sistema IT. In accordo con il Sistema Normativo Internazionale, il funzionamento in IT:

- prevede tutte e tre le fasi (R-S-T) NON connesse a terra in nessun punto ed in nessun caso;
- prevede un controllore di isolamento, che garantisca il continuo monitoraggio del valore di resistenza tra i poli e terra; il cedimento dell'isolamento dovrà essere chiaramente rilevato in modo da permettere al gestore dell'impianto di effettuare i necessari interventi di manutenzione straordinaria alla ricerca del guasto;
- permette il funzionamento del sistema con il primo guasto a terra, a patto che il primo guasto sia chiaramente rilevato e che il secondo guasto determini l'intervento degli organi di protezione atti al sezionamento della parte di circuito sottoposta al doppio guasto.

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, le cui principali caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Modello	ARG16R16
Conduttore	Corda compatta a fili di alluminio (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	HEPR
Guaina	Mescola termoplastica tipo R16
Temperatura di esercizio	0 – 90°C
Tensione massima AC	1200 V
Tensione massima DC	1800 V
Sezione conduttore	300 mm ²
Portata corrente	Interrato in tubo: 400 A
	In aria: 392 A
	Direttamente interrato: 454 A

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.3 Modalità di installazione

I cavi 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 il proprio interruttore scatolato (di seguito MCCB).

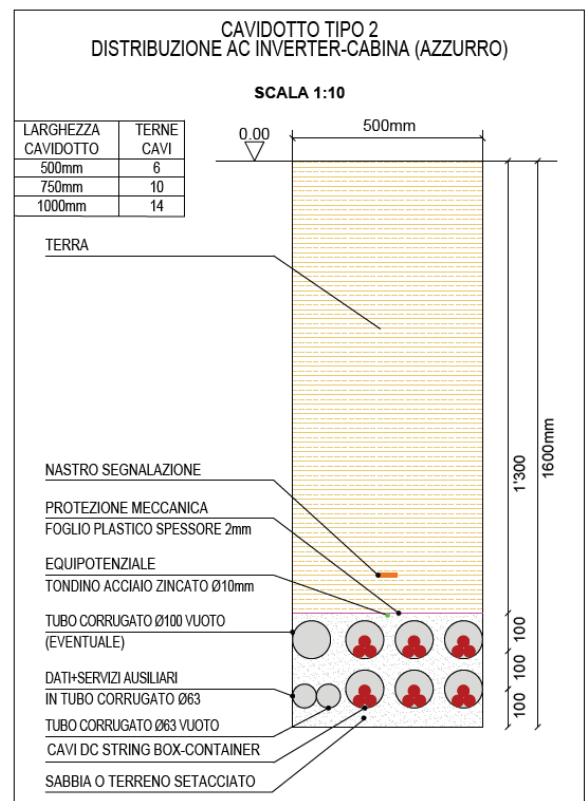
Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Alluminio, tipo ARG16R16; la configurazione prevista in questa fase di progettazione definitiva è la seguente:

$$2// (1 \times 300) \text{ mm}^2$$

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

La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione larga da 500 a 1'000mm (a seconda del numero di cavi AC da posizionare) e profonda 1'600mm, 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.



Si rimanda all'elaborato grafico "RNE21.PD.T.11.00 - Layout Dettagliato Cavidotti BT e CC" per indicazioni su dove sono posati i cavi.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.3.1 Condizioni di esercizio

In questo paragrafo vengono identificate le condizioni di esercizio elettriche e ambientali, necessarie per procedere con la verifica del dimensionamento.

4.1.3.1.1 Tensione di esercizio

La tensione di esercizio è 800V.

4.1.3.1.2 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:

$$I_e = 144,4A$$

4.1.3.1.3 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 alternata in BT 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 uscita dall'inverter per evitare l'irraggiamento diretto e in prossimità della cabina di trasformazione per raggiungere il proprio interruttore scatolato (di seguito MCCB).

I coefficienti sono rispettivamente:

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)	Cavi in Aria
Temperatura $\rightarrow k_1 = 1$	Temperatura $\rightarrow k_1 = 1$	Temperatura $\rightarrow k_1 = 0,79$
Tipo di posa: stesso piano, circuiti a distanza 0,125m $\rightarrow k_2 = 0,65$	Tipo di posa: un circuito per tubo (condotti che si toccano) $\rightarrow k_2 = 0,65$	Tipo di posa: un circuito per tubo (condotti che si toccano) $\rightarrow k_2 = 0,72$
profondità = 1,6m $\rightarrow k_3 = 0,94$	profondità = 1,6m $\rightarrow k_3 = 0,94$	
resistività terreno = $1,5 \text{ }^\circ\text{K} \times \text{m/W} \rightarrow k_4 = 1$	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 $\rightarrow k_5 = 0,95$	fattore di sicurezza $\rightarrow k_5 = 0,95$
TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,57$	TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,57$	TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 = 0,54$

Applicando al valore di corrente, l'indicazione fornita dal costruttore a seconda che sia direttamente interrata (454A), in tubo (400A) o in aria (392A), calcoliamo la condizione peggiorativa:

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)	Cavi in Tubo in aria
Portata Cavo interrato Lorda = 454A	Portata Cavo interrato Lorda = 400A	Portata Cavo in aria Lorda = 392A
$k_{TOT} = 0,57$	$k_{TOT} = 0,57$	$k_{TOT} = 0,54$
Portata Cavo Netta = 258,78A	Portata Cavo Netta = 288,00A	Portata Cavo Netta = 211,68A

La condizione peggiorativa è nel caso di tubo in aria.

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	I_z	Verifica
144,4A	3//(1x300)	211,68A	OK

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.3.1.4 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 200A. 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 interruttore nominale	[A]	250	
Poli		3, 4	
Tensione nominale d'impiego, U _{ie} (AC) 50-60 Hz	[V]	1000	1150
Tensione nominale di tenuta ad impulso, U _{imp}	[kV]	8	
Tensione nominale d'isolamento, U _i	[V]	1000	1150
Tensione di prova a frequenza industriale per 1 min.	[V]	9500	
Potere di interruzione nominale limite in cortocircuito, I _{cu}	[kA]	12	20
(AC) 50-60 Hz 1000 V	[kA]		12
Potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito, I _{cs}	[kA]	12	20
(AC) 50-60 Hz 1000 V	[kA]		12
(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]		
Categoria di utilizzazione (IEC 60947-2)		A	
Attitudine al sezionamento			
Norma di riferimento		IEC 60947-2	
Sganciatori termomagnetici	TMD		
	TMA		
Sganciatori elettronici	PR221DS/LS/I		
	PR221DS/I		
	PR222DS/PD_LSI		
	PR222DS/PD_LSG		
	PR222DS/PD_LSI		
	PR222DS/PD_LSG		
Terminali	PR222MP		
Esecuzione		FC Cu - F - EF	
Vita meccanica	[N: manovre]	F, R, W	F
	[N: manovre orarie]	20000	
Dimensioni base fissi	3 poli	L [mm]	105
	4 poli	L [mm]	140
		P [mm]	103,5
		H [mm]	205
Peso	fisso	3/4 poli	[kg] 2,35 / 3,05
	rimovibile	3/4 poli	[kg] 3,5 / 4,65
	estribile	3/4 poli	[kg] 3,65 / 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 144,4A;
- 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 211,68A.

Nel presente caso si ha:

$$144,4A < 200A < 211,68A$$

La portata di corrente e la verifica coordinamento di protezioni delle linee CA BT è verificata. **OK** 

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.3.1.5 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 alternata è pari a $\sqrt{3} = 1,73$;
- I_e è la corrente di esercizio del singolo inverter, pari a 144,4A;
- L è la lunghezza del tratto di inverter, si considera l'inverter che ha il tratto più lungo, con L pari a 255m;
- r è la resistenza specifica del conduttore, in accordo con data sheet pari a 0,125 Ω/km a 20°C che riportati a 70°C sono pari a 0,144 Ω/km ;
- V_e è la tensione di esercizio, pari a 800V

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

$$\Delta v\% = \frac{1,73 \times 144,4 \times 0,255 \times 0,144}{800} = 1,15\%$$

e quindi:

$$\Delta v\%_{CC} = 1,15\% < 3\% = \Delta v\%_{MAX}$$

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

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.1.3.1.6 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 lato Bassa Tensione, pari a quella immediatamente a valle del singolo avvolgimento BT trasformatore AT/BT, ovvero <16kA;
- t è il tempo di estinzione del guasto a I_{cc} sul cavo BT, quindi quello di estinzione del guasto dell'interuttore MCCB di protezione del cavo stesso, riportato nei paragrafi precedenti e pari a 0,04s;
- 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.

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

$$S_{min} = \frac{I_{cc} \times \sqrt{t}}{k_c} = \frac{16'000 \times \sqrt{0,040}}{116} = 27,5 \text{ mm}^2$$

e quindi:

$$S_{tratta} = 300 > 27,5 = S_{min}$$

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

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.2 Cavi in corrente alternata (MT)

I cavi in Media Tensione sono necessari per collegare:

- in parallelo le varie cabine di trasformazione sparse per il Campo agrivoltaico con la cabina di raccolta;
- I PCS con la cabina di raccolta;
- La cabina di raccolta con le cabine di consegna di ciascun campo;
- Le cabine di consegna con la cabina primaria di Cento.

La media tensione verrà esercita con un sistema trifase isolato 3F, a tutti gli effetti un sistema IT. In accordo con il Sistema Normativo Internazionale, il funzionamento in IT:

- prevede tutte e tre le fasi (U-V-W) NON connesse a terra in nessun punto ed in nessun caso;
- prevede un coordinamento tra le protezioni di fase e di neutro, in modo che il cavo risulti sempre protetto.

È stata scelta una tipologia di cavo in funzione del tipo di collegamento da effettuare:

- cavo tipo ARPE4H5EX per i collegamenti di distribuzione radiali di campo fino alla cabina di consegna;
- cavo tipo ARP1H5(AR)EX per il collegamento tra le cabine di consegna e la cabina primaria.

I cavi di rete, ovvero dalla cabina di consegna alla cabina primaria, non sono oggetto di questa relazione.

4.2.1 Elettrodotto Utente MT interno all'impianto

I cavi saranno installati all'interno di tubo corrugato, (un tubo per cavi MT).

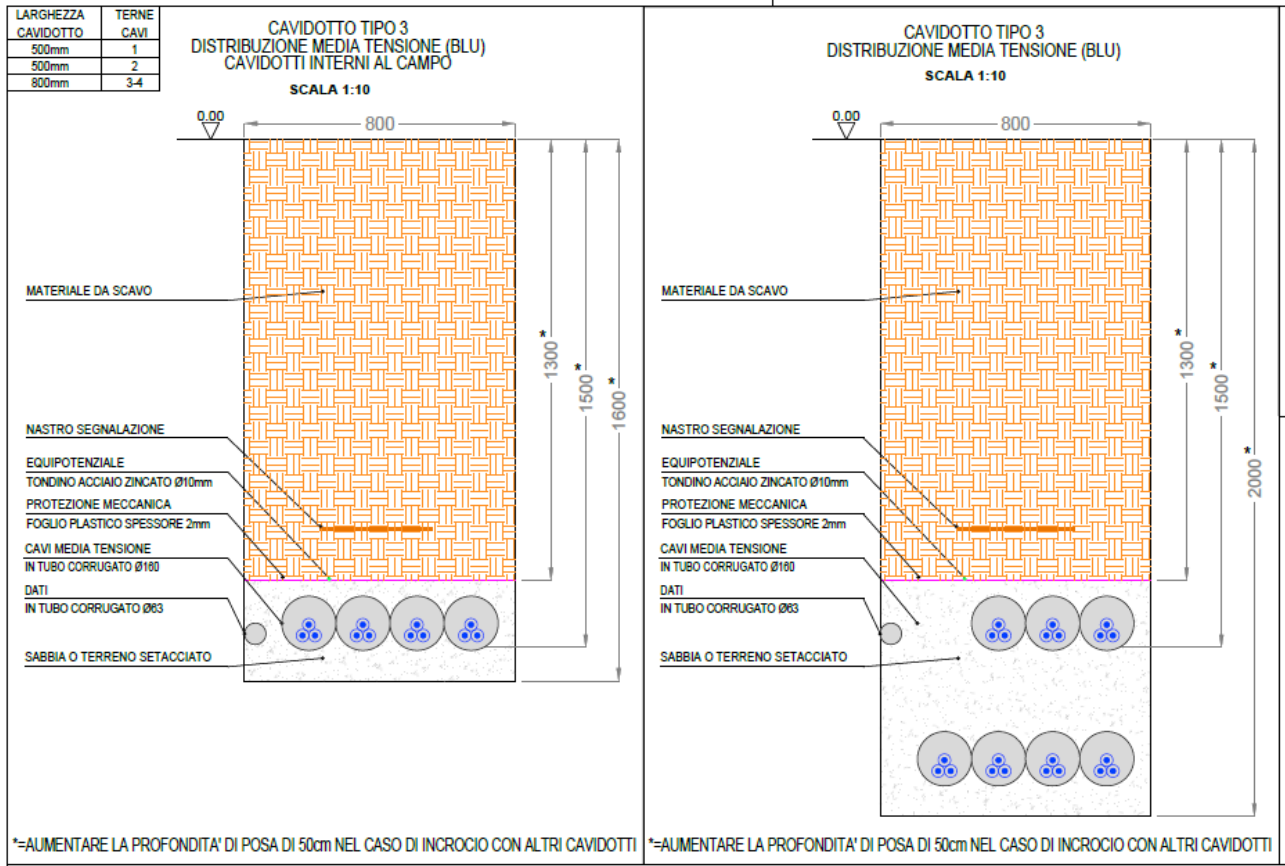
Come già specificato nel paragrafo precedente è scelto il cavo in Alluminio tipo ARP1H5EX, mentre la configurazione prevista sarà in funzione del numero di cabine del quale è necessaria trasportare l'energia e della lunghezza dei collegamenti. Saranno previste le seguenti configurazioni per i cavi di che collegano le cabine di campo alle cabine utente:

- Collegamento 1 cabina di trasformazione alla cabina di raccolta → 3// (1x95) mm²
- Collegamento 2 cabine di trasformazione alla cabina di raccolta → 3// (1x240) mm²
- Collegamento 2 cabine di trasformazione alla cabina di raccolta → 3// (1x400) mm²
- Collegamento PCS alla cabina di raccolta → 3// (1x240) mm²

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche del cavo selezionato.

Modello	ARPE4H5EX
Conduttore	Corda compatta a fili di alluminio (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	HPTE (elastomero termoplastico)
Guaina	Polietilene
Temperatura di esercizio	-25°C – 110°C
Tensione nominale U_o/U (Um)	12/20 (24) kV
Sezione conduttore	95 / 240/ 400
Portata corrente [A]	95 mm ² : 217 A 240 mm ² : 363 A 400 mm ² : 470 A

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione



La sezione tipica di questi cavidotti, interni al campo, è essenzialmente costituita da una sezione larga 800mm e profonda 1'600/2'000mm, 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 200/600mm 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	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.2.2 Elettrodotto Utente MT esterno all'impianto

La Media Tensione verrà esercita con un Sistema Trifase 3F-Neutro Isolato (collegamento lato secondario del trasformatore BT/MT a triangolo).

I cavi saranno installati all'interno di tubo corrugato, (un tubo per cavi MT).

Il cavo selezionato è il cavo in Alluminio tipo ARP1H5EX, mentre la configurazione prevista sarà:

Collegamento cabina di raccolta alla cabina utente → 3// (1x240) mm²

In fase di progettazione esecutiva/costruttiva, potrà essere ottimizzata la configurazione 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	ARPE4H5EX
Conduttore	Corda compatta a fili di alluminio (CEI 20-29, classe 2)
Isolante	HPTE (elastomero termoplastico)
Guaina	Polietilene
Temperatura di esercizio	-25°C – 110°C
Tensione nominale U_o/U (Um)	12/20 (24) kV
Sezione conduttore	240
Portata corrente [A]	240 mm ² : 363 A

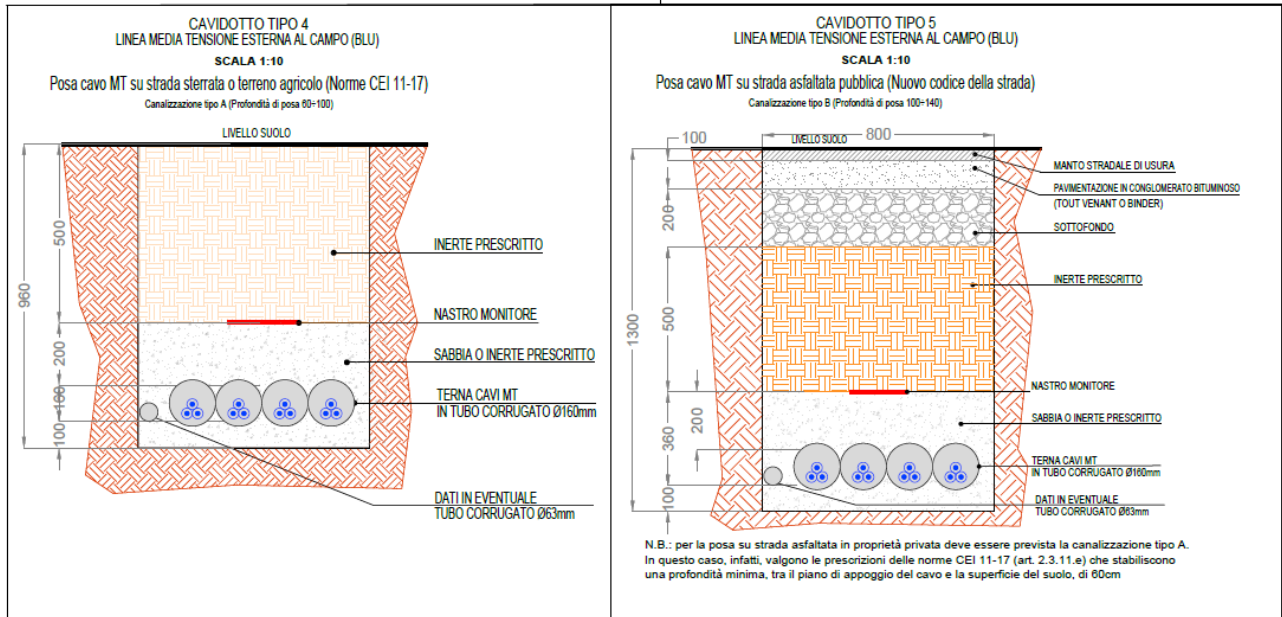
Non verranno considerati gli elettrodotti che dalla cabina di consegna veicoleranno l'energia alla cabina primaria, in quanto il dimensionamento dei cavi è stato definito e comunicato dal gestore della rete E-Distribuzione.

La sezione tipica di questi cavidotti è essenzialmente costituita da una sezione larga da 800mm e profonda 960mm/1'300mm, 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 360/380mm 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;
- Nel caso di posa su strada asfaltata lo scavo in parte verrà riempito con sottofondo stradale, binder e strato di usura.

Le modalità verranno definite dall'ente gestore della strada.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione



In talune sezioni, ed in particolare in corrispondenza dell'attraversamento delle interferenze lungo il percorso, il cavidotto sarà differente, per cui ogni terna di cavi entrerà in un tubo corrugato e verrà installato posato con la tecnica No-Dig. Nell'elaborato grafico dedicato (*RNE21.PD.T.23.00 - Mappa interferenze su CTR*) sono state individuate le interferenze del percorso del cavidotto MT ed indicata la modalità di risoluzione di tale interferenza.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.2.2.1 Condizioni di esercizio

In questo paragrafo vengono identificate le condizioni di esercizio elettriche e ambientali, necessarie per procedere con la verifica del dimensionamento.

4.2.2.1.1 Tensione di esercizio

La tensione di esercizio è 15'000V.

La variazione di tensione ammessa sulla rete di Alta Tensione (CEI 0-16) è 90% V_N ... 110% V_N .

Tuttavia, viene richiesto di essere in grado di rimanere connessi alla rete, variando la potenza erogata come previsto dalla sovra-menzionata norma, in condizioni eccezionali di funzionamento della rete ovvero quando nel punto di connessione la tensione, per periodi di durata limitata, può variare nel campo di 85% V_N ... 115% V_N .

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

$$V_e = 15'000V, \text{ con intervallo funzionamento su rete AT pari a } 85\% \dots 115\%V_e$$

4.2.2.1.2 Verifica portata di corrente

La corrente nominale di ogni singola tratta è determinata dalla potenza trasmessa.

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;
- all'interno di tubo corrugato.

Sebbene i cavi MT verranno posati in tubo corrugato, si valuteranno entrambe le opzioni definendo il dimensionamento nel caso peggiore.

I coefficienti sono rispettivamente:

Cavi Direttamente Interrati	Cavi in Tubo Corrugato (un circuito per tubo)
Temperatura $\rightarrow k_1 = 1$	Temperatura $\rightarrow k_1 = 1$
Tipo di posa: 7 circuiti $\rightarrow k_2 = 0,51$ 4 circuiti $\rightarrow k_2 = 0,62$ 3 circuiti $\rightarrow k_2 = 0,69$ 1 circuito $\rightarrow k_2 = 1,00$	Tipo di posa: 7 circuiti $\rightarrow k_2 = 0,59$ 3 circuiti $\rightarrow k_2 = 0,69$ 3 circuiti $\rightarrow k_2 = 0,75$ 1 circuito $\rightarrow k_2 = 1,00$
profondità = 1,6 m $\rightarrow k_3 = 0,95$ profondità = 2,0 m $\rightarrow k_3 = 0,93$	profondità = 1,6 m $\rightarrow k_3 = 0,95$ profondità = 2,0 m $\rightarrow k_3 = 0,93$
resistività terreno = 1,5 °K x m/W $\rightarrow k_4 = 0,92$	resistività terreno = 1,5 °K x m/W $\rightarrow k_4 = 0,92$
fattore di sicurezza $\rightarrow k_5 = 0,90$	fattore di sicurezza $\rightarrow k_5 = 0,90$
TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = 0,43$ (7 circuiti) $k_{TOT} = 0,53$ (4 circuiti) $k_{TOT} = 0,59$ (3 circuiti) $k_{TOT} = 0,86$ (1 circuito)	TOTALE $\rightarrow k_{TOT} = 0,49$ (7 circuiti) $k_{TOT} = 0,59$ (4 circuiti) $k_{TOT} = 0,64$ (3 circuiti) $k_{TOT} = 0,86$ (1 circuito)

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

La condizione peggiorativa è quindi del tratto con i cavi direttamente interrati. In via cautelativa, per il dimensionamento, si utilizza il coefficiente K_{tot} relativo alla condizione peggiorativa per tutti i cavidotti in esame.

Sebbene gli elettrodotti esterni all'impianto siano caratterizzati da una profondità di posa inferiore a quella degli elettrodotti interni all'impianto, si considererà la profondità di posa peggiore, ovvero 1.6m.

La verifica ha esito positivo se per ogni tratta si verifica la condizione:

$$I_N < I_Z$$

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]	llorda [A]	ktot	Iz [A]	Iz>In
C2.1	C1.1	0,43	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	0,86	185,5	OK
C1.1	R	0,02	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	0,86	310,4	OK
R	CC1	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	0,53	192,4	OK
C2.2	C2.1	0,12	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	0,86	185,5	OK
C2.1	R	0,30	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400,00	169,6	470,0	0,43	200,6	OK
R	CC2	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	0,53	192,4	OK
C3.2	C3.1	0,14	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	0,59	128,0	OK
C3.1	R	0,37	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400,00	169,6	470,0	0,43	200,6	OK
R	CC3	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	0,53	192,4	OK
C4.2	C4.1	0,11	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	0,86	185,5	OK
C4.1	R	0,42	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400,00	169,6	470,0	0,43	200,6	OK
R	CC3	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	0,53	192,4	OK
PCS1	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	0,43	155,0	OK
PCS2	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	0,43	155,0	OK
PCS3	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	0,43	155,0	OK
PCS4	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	0,43	155,0	OK

In questa tabella la Cabina di Raccolta è indicata con R, mentre con CCX le rispettive cabine di consegna.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.2.2.1.3 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:

Relè di protezione elettronica

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

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

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

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.

Nel presente caso si ha:

TRATTA	L [km]	Tipologia Cavo	Configurazione cavo	Pn [kW]	In [A]	Ilorda [A]	Pn [kW]	In [A]	Ir [A]	Iz [A]	Verifica
C2.1 C1.1	0,43	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	2000	77,1	< 84,8	< 185,5	OK
C1.1 R	0,02	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	4400	169,6	< 186,5	< 310,4	OK
R CC1	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	4400	169,6	< 186,5	< 192,4	OK
C2.2 C2.1	0,12	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	2000	77,1	< 84,8	< 185,5	OK
C2.1 R	0,30	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400,00	169,6	470,0	4400	169,6	< 186,5	< 200,6	OK
R CC2	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	4400	169,6	< 186,5	< 192,4	OK
C3.2 C3.1	0,14	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	2000	77,1	< 84,8	< 128,0	OK
C3.1 R	0,37	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400,00	169,6	470,0	4400	169,6	< 186,5	< 200,6	OK
R CC3	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	4400	169,6	< 186,5	< 192,4	OK
C4.2 C4.1	0,11	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000,00	77,1	217,0	2000	77,1	< 84,8	< 185,5	OK
C4.1 R	0,42	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400,00	169,6	470,0	4400	169,6	< 186,5	< 200,6	OK
R CC3	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400,00	169,6	363,0	4400	169,6	< 186,5	< 192,4	OK
PCS1 R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	2500	96,3	< 106,0	< 155,0	OK
PCS2 R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	2500	96,3	< 106,0	< 155,0	OK
PCS3 R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	2500	96,3	< 106,0	< 155,0	OK
PCS4 R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500,00	96,3	363,0	2500	96,3	< 106,0	< 155,0	OK

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

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.2.2.1.4 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;
- 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 0,90 per il tratto MT;
- $\sin\phi$ si deriva dal fattore di potenza;
- V_e è la tensione di esercizio, pari a 15'000V.

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

La verifica della caduta di tensione ha esito positivo se è rispettata la seguente condizione:

$$\Delta v\% < 3\%$$

Si può quindi applicare la formula del calcolo della caduta di tensione per ogni singola tratta:

TRATTA		L [km]	Tipologia Cavo	Configurazione cavo	Pn [kW]	In [A]	r [Ω/km]	x [Ω/km]	ΔVx [V]	ΔVtot [V]	Δvtot [%]	Verifica
C2.1	C1.1	0,43	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000	77,1	0,32	0,125	19,636	259,064	1,73%	OK
C1.1	R	0,02	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400	169,6	0,125	0,108	0,702			
R	CC1	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400	169,6	0,125	0,108	238,726			
C2.2	C2.1	0,12	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000	77,1	0,32	0,125	4,416	253,139	1,69%	OK
C2.1	R	0,30	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400	169,6	0,0778	0,1	9,998			
R	CC2	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400	169,6	0,125	0,108	238,726			
C3.2	C3.1	0,14	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000	77,1	0,32	0,125	5,184	256,240	1,71%	OK
C3.1	R	0,37	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400	169,6	0,0778	0,1	12,330			
R	CC3	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400	169,6	0,125	0,108	238,726			
C4.2	C4.1	0,11	ARE4H5EX	3//(1x95)	2000	77,1	0,32	0,125	4,224	256,780	1,71%	OK
C4.1	R	0,42	ARE4H5EX	3//(1x400)	4400	169,6	0,0778	0,1	13,830			
R	CC3	5,10	ARE4H5EX	3//(1x240)	4400	169,6	0,125	0,108	238,726			
PCS1	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500	96,3	0,125	0,108	8,625	8,625	0,058%	OK
PCS2	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500	96,3	0,125	0,108	8,625	8,625	0,058%	
PCS3	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500	96,3	0,125	0,108	8,625	8,625	0,058%	
PCS4	R	0,46	ARE4H5EX	3//(1x240)	2500	96,3	0,125	0,108	12,234	12,234	0,082%	

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

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



00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.2.2.1.5 Verifica Tenuta al corto circuito

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

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

dove:

- I_{CC} è la corrente di corto circuito sulla tratta in analisi, nell'ambito del presente dimensionamento è stato considerato un valore conservativo pari a 16 kA;
- t è il tempo di estinzione del guasto, pari a 170ms (100ms ritardo intenzionale del relè protezione + 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.

Dovrà essere verificata la sezione di ogni singola linea MT, prendendo come riferimento la tratta con sezione minore.

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

$$S_{tratta} > S_{min}$$

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

$$S_{min} = \frac{I_{CC} \sqrt{t}}{k_C} = \frac{16'000 \sqrt{0,170}}{116} = 56,8 \text{ mm}^2$$

e quindi,

$$S_{tratta} = 95 > 56,8 = S_{min}$$

Il dimensionamento del cavo MT rispetta le condizioni di tenuta al corto circuito. OK 

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.3 Altri cavi

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

4.3.1 Cavi nella Cabina di Trasformazione MT/BT e nei PCS

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:

- QPCA (Quadro Paralelo Corrente Alternata), ovvero il quadro che raccoglie i cavi in bassa tensione corrente alternata provenienti dagli inverter di stringa ubicati in campo;
- Trasformatore MT/BT, ovvero la macchina elettromeccanica che trasforma l'energia resa disponibile da Bassa a Media Tensione;
- QMT (Quadro Media Tensione), ovvero il quadro che rende disponibile i cavi MT per la distribuzione MT.

Sono previste 8 cabine di trasformazione.

Il PCS invece è quell'insieme di componenti atti a rendere disponibile l'energia prodotta dall'inverter centralizzato in Media Tensione. I componenti principali sono:

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

Sono previste 4 cabine PCS.

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

4.3.2 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.

4.3.3 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).

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

4.3.4 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	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione

5 Protezioni elettriche

Protezione contro cto-cto

Per la porzione di rete elettrica in corrente continua, in caso di corto circuito la corrente (I_{sc}) è limitata a valori di poco superiori alla corrente di massima potenza (I_{mpp}) dei moduli fotovoltaici. Tali valori sono dichiarati dal costruttore e riportati sul datasheet del modulo FV. A protezione dei circuiti sono presenti, in ciascun inverter di stringa, tre interruttori DC.

Nella sezione in corrente alternata la protezione è costituita da appositi interruttori scatolati (MCCB), che avranno anche funzione di Interruttore Generale di Generatore (Inverter), con soglie regolabili in funzione della propria corrente nominale 200A

Protezione dai contatti diretti

La protezione dai contatti diretti è assicurata dall'implementazione dei seguenti accorgimenti:

- Installazione di prodotti con marcatura CE (secondo la direttiva CEE 73/23);
- Utilizzo di componenti con adeguata protezione meccanica (IP);
- Collegamenti elettrici effettuati mediante cavi rivestiti con guaine esterne protettive, con adeguato livello di isolamento e alloggiati in condotti porta-cavi idonei in modo da renderli non direttamente accessibili (quando non interrati).

Protezione dai contatti indiretti

Le masse delle apparecchiature elettriche situate all'interno delle varie cabine sono collegate all'impianto di terra principale dell'impianto.

Per i generatori fotovoltaici viene adottato il doppio isolamento (apparecchiature di classe II). Tale soluzione consente, secondo la norma CEI 64-8, di non prevedere il collegamento a terra dei moduli e delle strutture che non sono classificabili come masse.

Protezione dalle scariche atmosferiche

L'installazione dell'impianto agrivoltaico nell'area, prevedendo mediamente strutture di altezza contenuta e omogenee tra loro, non altera il profilo verticale dell'area medesima. Ciò significa che le probabilità della fulminazione diretta non sono influenzate in modo sensibile. Considerando inoltre che il sito non sarà presidiato, la protezione della fulminazione diretta è costituita da un'adeguata rete di terra che garantirà l'equipotenzialità delle masse.

Per quanto riguarda la fulminazione indiretta, bisogna considerare che l'abbattersi di un fulmine in prossimità dell'impianto può generare disturbi di carattere elettromagnetico e tensioni indotte sulle linee dell'impianto, tali da provocare guasti e danneggiarne i componenti. Per questo motivo gli inverter sono dotati di un proprio sistema di protezione da sovratensioni, sia sul lato in corrente continua, sia su quello in corrente alternata.

00	01/10/24	Prima Emissione
Revisione	Data	Descrizione