

22_20_PV_SUN_PER_AU_B1RE_2_00	MARZO 2023	RELAZIONE CALCOLI ELETTRICI CAVIDOTTI ESTERNI ALL'IMPIANTO	Massimiliano Pacifico	Arch. Paola Pastore	Ing. Leonardo Filotico
N. ELABORATO	DATA EMISSIONE	DESCRIZIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO

OGGETTO:

Progetto dell'impianto agrivoltaico denominato "Impianto Agrivoltaico La Pergola" della potenza di 42.646,32 kWp con storage della potenza di 20,58 MVA da realizzarsi nei Comuni di Paceco (TP) e Misiliscemi (TP).

COMMITTENTE:

CYANO ENERGY S.r.l.
Via Z.I. Lotto n.31
74020 San Marzano di S.G. (TA)

TITOLO:

**B1. PARTE SPECIALISTICA IMPIANTO FOTOVOLTAICO
RS06REL0009A0
Relazione calcoli elettrici cavidotti esterni all'impianto**

PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

**direttore tecnico
Ph.D. Ing. LEONARDO FILOTICO**



Sede Legale: Via dei Mille, 5 74024 Manduria
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31 74020 San Marzano di S.G. (TA)
tel. 099 9574694 Fax 099 2222834 cell. 349.1735914
studio@projetto.eu
web site: www.projetto.eu P.IVA: 02658050733



SOSTITUISCE:

SOSTITUITO DA:

**CARTA:
A4**

**SCALA:
/**

**ELAB.
RE.02**

**NOME FILE
RS06REL0009A0**

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORME E STANDARD	3
3	ZONE FOTOVOLTAICHE	5
4	DIMENSIONAMENTO CAVI	6
4.1	PORTATA DEI CAVI IN REGIME PERMANENTE	6
4.2	CARATTERISTICHE DEI CAVI IN 36 KV	6
5	VERIFICA DELLA RIDUZIONE DI TENSIONE	8
5.1	VERIFICA DELLA MASSIMA CORRENTE DI CORTOCIRCUITO.....	9
5.2	MODALITA' DI POSA DEI CAVI.....	10



Progetto dell'impianto agrivoltaico denominato "Impianto Agrivoltaico La Pergola" della potenza di 42.646,32 kWp con storage della potenza di 20,58 MVA da realizzarsi nei Comuni di Paceco (TP) e Misiliscemi (TP).

1 PREMESSA

La presente relazione ha come oggetto la descrizione delle caratteristiche principali delle linee elettriche per la connessione delle diverse aree che compongono l'impianto agrivoltaico in progetto. L'impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare sarà realizzato nelle aree di pertinenza del Comune di Misiliscemi (TP) e Paceco (TP).

All'impianto fotovoltaico sarà connesso un sistema di accumulo elettrochimico (BESS - Battery Energy Storage System) della potenza di 20,58 MVA, ubicato nell'area dell'impianto fotovoltaico e costituito da container di batterie e centri di conversione e trasformazione dell'energia accumulata e immessa in rete.

2



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. Q204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. OHS97

2 NORME E STANDARD

Di seguito l'elenco delle principali norme tecniche di riferimento.

- CEI 0-21: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20 2000 IVa Ed. Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti I e II categoria.
- CEI EN 60909-0 IIa Ed. (IEC 60909-0:2001-07): Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60090-4 First ed. 2000-7: Correnti di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata. Parte 4: Esempi per il calcolo delle correnti di cortocircuito.
- CEI 11-28 1993 Ia Ed. (IEC 781): Guida d'applicazione per il calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti radiali e bassa tensione.
- CEI 17-5 VIIIa Ed. 2007: Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI 20-91 2010: Cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- CEI 23-3/1 Ia Ed. 2004: Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari.
- CEI 64-8 VIIa Ed. 2012: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.
- IEC 364-5-523: Wiring system. Current-carrying capacities.
- IEC 60364-5-52 IIIa Ed. 2009: Electrical Installations of Buildings - Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment - Wiring Systems.
- CEI UNEL 35023 2012: Cavi per energia isolati con gomma o con materiale termoplastico avente grado di isolamento non superiore a 4- Cadute di tensione.
- CEI UNEL 35024/1 1997: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35024/2 1997: Cavi elettrici ad isolamento minerale per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria.
- CEI UNEL 35026 2000: Cavi elettrici con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali di 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata.

- CEI 17-43 IIa Ed. 2000: Metodo per la determinazione delle sovratemperature, mediante estrapolazione, per apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) non di serie (ANS).
- CEI 23-51 IIa Ed. 2004: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare.
- CEI 0-16: Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 99-2 (CEI EN 61936-1): Impianti con tensione superiore a 1 kV in c.a.
- CEI 11-17 IIIa Ed. 2006: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo.
- CEI-UNEL 35027 IIa Ed. 2009: Cavi di energia per tensione nominale U da 1 kV a 30 kV.
- Guida CEI 99-4: Guida per l'esecuzione di cabine elettriche MT/BT del cliente/utente finale.
- CEI 17-1 VIa Ed. 2005: Apparecchiatura ad alta tensione. Parte 100: Interruttori a corrente alternata ad alta tensione.
- 17-9/1 Interruttori di manovra e interruttori di manovra-sezionatori per tensioni nominali superiori a 1kV e inferiori a 52 kV.
- IEC 60502-2 IIa Ed. 2005-03: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV – Part 2.
- IEC 61892-4 Ia Ed. 2007-06: Mobile and fixed offshore units – Electrical installations. Part 4: Cables.



Progetto dell'impianto agrivoltaico denominato "Impianto Agrivoltaico La Pergola" della potenza di 42.646,32 kWp con storage della potenza di 20,58 MVA da realizzarsi nei Comuni di Paceco (TP) e Misiliscemi (TP).

3 ZONE FOTOVOLTAICHE

L'impianto sarà suddiviso in n. 7 aree costituite da diversi sottocampi come di seguito riportato:

Tabella 1 | Dati di progetto dei sottocampi

STRINGBOX	N. STRINGHE FV	N. MODULI	POTENZA DC (W)	POTENZA AC INVERTER (W)	N. STRINGHE	RAPPORTO DC/AC
ZONA 1						
45	375	9000	5490000	4841100	375	1,13
ZONA 2						
45	331	7944	4845840	4209300	331	1,15
ZONA 3						
15	80	1920	1171200	1052100	80	1,11
ZONA 4						
72	725	17400	10614000	9428400	725	1,13
ZONA 5						
30	171	4104	2503440	2104200	171	1,19
ZONA 6						
96	846	20304	12385440	11973600	846	1,03
ZONA 7						
45	385	9240	5636400	4841100	385	1,16

Complessivamente l'impianto agrivoltaico in progetto avrà i seguenti dati caratteristici:

Tabella 2 | Dati di progetto dell'impianto agrivoltaico

STRINGBOX	N. STRINGHE	N. MODULI	POTENZA DC (W)	POTENZA AC (W)	RAPPORTO DC/AC
348	2913	69912	42646320	38449800	1,11

PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

Direttore Tecnico: ING. LEONARDO FILOTICO
Cap. Soc. 119.000,00 € Codice Fiscale: 02658050733
Partita Iva : 02658050733
Sede Legale: Via dei Mille 5, 74024 Manduria - Taranto
Sede Operativa: Z.I. Lotto 31, 74020 San Marzano di San Giuseppe - Taranto
Tel 099 9574694 fax 099 2222834 mob. 3491735914

**RELAZIONE CALCOLI ELETTRICI CAVIDOTTI
ESTERNI ALL'IMPIANTO**



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. Q204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. OH597

4 DIMENSIONAMENTO CAVI

4.1 PORTATA DEI CAVI IN REGIME PERMANENTE

Le sezioni dei cavi per i collegamenti saranno tali da assicurare una durata di vita soddisfacente dei conduttori e degli isolamenti sottoposti ad effetti termici causati dal passaggio della corrente elettrica per periodi prolungati e in condizioni ordinarie di esercizio.

La verifica per sovraccarico sarà eseguita utilizzando le relazioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

Per soddisfare tali condizioni è necessario dimensionare i cavi in base alla corrente nominale della protezione a monte.

Dalla corrente I_b viene scelta la corrente nominale della protezione a monte e con questa si procede alla scelta della sezione dei cavi. La scelta viene fatta in base alla tabella che riporta la corrente ammissibile I_z in funzione del tipo di isolamento del cavo che si vuole utilizzare, del tipo di posa e del numero di conduttori attivi.

In base alla tipologia di posa delle linee elettriche la portata in corrente dei cavi è data dall'applicazione dei coefficienti di riduzione in funzione del numero di terne (0,88 per 2 terne di cavi; 0,8 per 3 terne di cavi; 0,75 per 4 terne di cavi, 0,7 per 5 terne di cavi, 0,65 per 6 terne di cavi):

$$I'_z = k \cdot I_z$$

4.2 CARATTERISTICHE DEI CAVI IN 36 KV

I collegamenti saranno realizzati mediante cavi ad isolamento solido non propaganti l'incendio e a basso sviluppo di fumi e gas tossici e corrosivi in caso di incendio (CEI 20-22/2, 20-37, 20-38, 20-35, 20-38/1, 20-22/3, 20-27/1). In modo particolare sarà effettuata la migliore condizione di posa dei cavi di energia, al fine di equilibrare la distribuzione delle correnti nelle singole fasi. Nella posa saranno rispettate le prescrizioni del costruttore, con il fine di mantenere i coefficienti di correzione delle portate di corrente prossimi all'unità.

I tratti di elettrodotto interrato che collegano l'impianto di produzione sarà costituito da terne di cavi unipolari realizzati con conduttore in alluminio, isolante in XLPE, schermatura in alluminio e guaina esterna in polietilene.

Progetto dell'impianto agrivoltaico denominato "Impianto Agrivoltaico La Pergola" della potenza di 42.646,32 kWp con storage della potenza di 20,58 MVA da realizzarsi nei Comuni di Paceco (TP) e Misiliscemi (TP).

Ciascuna terna avrà le seguenti caratteristiche:

Tabella 3 | Caratteristiche tecniche cavo 36 kV

CARATTERISTICHE TECNICHE CAVO 26/45 KV	
Tensione di esercizio U ₀ /U (kV)	26/45
Tensione massima di esercizio U _m (kV)	52
Frequenza nominale (Hz)	50
Temperatura massima di servizio (°C)	90
Temperatura minima di posa (°C)	-25
Temperatura massima di cortocircuito (°C)	250



5 VERIFICA DELLA RIDUZIONE DI TENSIONE

Il dimensionamento delle condutture elettriche deve essere tale da mantenere, in condizioni normali di esercizio, la perdita di tensione tra l'origine dell'impianto e qualunque apparecchio utilizzatore entro i limiti ammessi e definiti.

La riduzione di tensione delle linee elettriche in corrente alternata è calcolata con la seguente formula:

$$\Delta V = K \cdot L \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

nella quale:

- L = lunghezza della linea espressa in km
- I = corrente di impiego espressa in A
- R = resistenza del conduttore in Ω/km
- X = reattanza della linea in Ω/km
- $\cos \varphi$ = fattore di potenza (nei calcoli è stato considerato $\cos \varphi = 0,9$)
- K = 1,732 per linee trifase.

Relativamente alla caduta di tensione sulle linee in esame, è buona prassi limitarne il valore totale al 3 % per le linee in alta tensione.

La riduzione di tensione percentuale è la seguente:

$$\Delta V\% = (\Delta V/V_n) \times 100$$

dove:

V = caduta di tensione;

V_n = tensione nominale della linea.

Una eccessiva riduzione di tensione determina elevate perdite di energia attraverso i cavi pregiudicando l'efficienza dell'impianto fotovoltaico.

Se un cavo di determinata sezione, calcolata secondo i criteri di dimensionamento espressi, soddisfa le verifiche, si ritiene idoneo all'impiego nelle condizioni di posa specificate e per l'alimentazione dell'utenza in esame.

Il collegamento delle cabine di trasformazione, delle cabine di raccolta e del sistema di accumulo elettrochimico sarà realizzato mediante cavi di energia con valore di tensione massima di esercizio di 36 kV. I cavi saranno di tipo HEPRZ1 / RHZ1 con conduttore in alluminio non propagante l'incendio, ridotta

Progetto dell'impianto agrivoltaico denominato "Impianto Agrivoltaico La Pergola" della potenza di 42.646,32 kWp con storage della potenza di 20,58 MVA da realizzarsi nei Comuni di Paceco (TP) e Misiliscemi (TP).

emissione di sostanze corrosive, fumi e gas tossici. Si riporta di seguito il dimensionamento dei cavi di energia di alta tensione:

Tabella 4 | Riduzione di tensione dei cavi AT

LINEA AT da - a		LUNGHEZZA (m)	FORMAZIONE	TIPO	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _b (A)	I' _z (A)	ΔV (V)	ΔV (%)
I.S._1.1	I.S._2.1	3166	3x1x300	Al	0,1	0,112	86	361	65,67	0,18
I.S._2.1	MVC_03	2721	3x1x300	Al	0,1	0,112	161	328	105,51	0,29
I.S._3.1	MVC_03	20	3x1x300	Al	0,1	0,112	19	328	0,09	0,00
MVC_03	MVC_04	3790	3x1x300	Al	0,1	0,112	180	287	164,05	0,46
I.S._7.1	MVC_04	1709	3x1x500	Al	0,0605	0,102	266	371	77,96	0,22
I.S._4.1	MVC_04	240	3x1x800	Al	0,0367	0,094	378	552	11,64	0,03
I.S._4.2	MVC_04	450	3x1x300	Al	0,1	0,112	56	287	6,06	0,02
MVC_04	MVC_06	2252	2x3x1x800	Al	0,0367	0,094	881	1025	127,10	0,35
I.S._5.1	MVC_06	928	3x1x300	Al	0,1	0,112	37	287	8,37	0,02
I.S._6.1	MVC_06	75	3x1x300	Al	0,1	0,112	107	287	1,92	0,01
I.S._6.2	MVC_06	530	3x1x300	Al	0,1	0,112	107	287	13,59	0,04
Storage	MVC_06	5422	3x1x500	Al	0,0605	0,102	330	371	306,58	0,85
MVC_06	SE RTN	2641	2x3x1x1000	Al	0,0291	0,091	1462	1711	220,14	0,61

5.1 VERIFICA DELLA MASSIMA CORRENTE DI CORTOCIRCUITO

Dalla sezione dei conduttori del cavo deriva il calcolo dell'integrale di Joule, ossia la massima energia specifica ammessa dagli stessi, tramite la seguente formula:

$$I_{cc}^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2$$

da cui si ottiene:

$$I_{cc} = (K \cdot S) / \sqrt{t}$$

dove:

- I_{cc} corrente di corto circuito (A);
- S sezione del conduttore (mm²);
- t durata del corto circuito (tempo di intervento delle protezioni);
- K coefficiente che dipende dalle caratteristiche del materiale conduttore e dalla differenza di temperatura all'inizio e alla fine del corto circuito. Con temperatura del conduttore di 90°C e 250°C rispettivamente all'inizio e alla fine del cortocircuito, inoltre per i conduttori in alluminio risulta K=92, per i conduttori in rame K=143.

La suddetta formula consente di verificare che la sezione scelta è in grado di sopportare la massima corrente di guasto prevista per la rete elettrica, in funzione del tempo di intervento delle protezioni, rispettando i limiti ammissibili di temperatura.

Progetto dell'impianto agrivoltaico denominato "Impianto Agrivoltaico La Pergola" della potenza di 42.646,32 kWp con storage della potenza di 20,58 MVA da realizzarsi nei Comuni di Paceco (TP) e Misiliscemi (TP).

La durata del corto circuito è in funzione del tempo di intervento delle protezioni e può essere stabilito in 500 ms. Per la sezione dei cavi elettrici utilizzati, la corrente di corto circuito massima ammissibile è la seguente:

Tabella 5 | Corrente di cortocircuito dei conduttori elettrici

SEZIONE [mm ²]	COEFFICIENTE	TEMPO MASSIMO DI INTERVENTO DELLE PROTEZIONI [s]	I _{cc} [kA]
300	92	0,5	39,03
500	92	0,5	65,05
800	92	0,5	104,09
1000	92	0,5	130,11

5.2 MODALITA' DI POSA DEI CAVI

La tipologia di installazione prevede la posa interrata, con disposizione dei cavi a trifoglio. I cavi saranno posati ad una profondità minima di -1,2 m (quota piano di posa), su strato di sabbia o di cemento magro dello spessore di cm. 10 ca. I cavi, saranno ricoperti sempre con il medesimo tipo di sabbia o cemento, per uno strato di cm. 30, sopra il quale sarà posata una lastra di protezione in C.A. La restante parte dello scavo sarà riempita con materiale di risulta e/o di riporto, di idonee caratteristiche. Nel caso di passaggio su strada, i ripristini della stessa (sottofondo, binder, tappetino, ecc.) saranno realizzati in conformità a quanto indicato nelle prescrizioni degli enti proprietari della strada. I cavi saranno segnalati mediante rete in P.V.C. rosso, da collocare al di sopra delle lastre di protezione. Ulteriore segnalazione sarà realizzata mediante la posa di nastro monitor da posizionare a circa metà altezza della trincea. Insieme al cavo di energia sarà posato un cavo di terra 1x 50 mm² CU. All'interno dello scavo è prevista l'installazione di n°1 Tritubo Ø 75 mm entro il quale potranno essere posati cavi a Fibra Ottica e/o cavi telefonici/segnalamento. In corrispondenza di attraversamenti i cavi saranno protetti da tubazioni in PVC Ø160-200 mm serie pesante.

La realizzazione del cavidotto è suddivisibile in tre fasi principali:

- esecuzione degli scavi per l'alloggiamento del cavo;
- stenditura e posa del cavo;
- rinterro dello scavo fino a piano campagna.

Lo scavo di posa del cavo si estende progressivamente sull'intera lunghezza del percorso. Durante la realizzazione delle opere, il riempimento sarà effettuato con materiale inerte di idonee caratteristiche.