



# COMUNE DI CAGLIARI

Sardegna IT s.r.l. c.s.u.  
Viale dei Giornalisti 6, 09123 Cagliari  
Tel. 070.6069015 - PEC: segreteria@pec.sardegna.it.

## RISTRUTTURAZIONE DEI LOCALI DI VIA FALZAREGO DI PROPRIETÀ DELLA RAS E PRATICHE CONNESSE CIG: 9873364DB6



### PROFESSIONISTA INCARICATO

Arch. Gianluca Boasso  
Studio Gianluca Boasso Architect  
Iscritto all'Albo dell'Ordine degli Architetti della  
Provincia di Bolzano n.1050

### PROFESSIONISTA FIRMATARIO

Arch. Gianluca Boasso  
Studio Gianluca Boasso Architect  
Iscritto all'Albo dell'Ordine degli Architetti della  
Provincia di Bolzano n.1050

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

L'IMPRESA APPALTATRICE

N°	AGGIORNAMENTI	COMPILATORE	CONTROLLORE	DATA
-	EMISSIONE FINALE	Arch. G. Boasso	Arch. G. Boasso	14/12/2023
1	Revisione2 di VERIFICA 1	Arch. G. Boasso	Arch. G. Boasso	14/06/2024
2				
3				
4				

## PROGETTO ESECUTIVO

### PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI

### RELAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

FILE: PRJ325_ESEC_IF0A.pdf	COMPILATORE: Arch. G. BOASSO	SCALA: ***	ELABORATO:
PROGETTO: PRJ 325	CONTROLLORE: Arch. Gianluca Boasso	DATA: 14/06/2024	IF0A

1.	PREMESSA.....	3
2.	SPECIFICHE IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	4
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	9
4.	CONFORMITA' ALLE NORME.....	11
5.	SCELTA DI INSTALLAZIONE DEI COMPONENTI .....	11
6.	DESCRIZIONE IMPIANTO ELETTRICO .....	12
7.	QUADRI DI CAMPO IN CORRENTE CONTINUA .....	12
7.1	Quadro lato BT.....	13
7.2	Configurazione elettrica dei generatori fotovoltaici .....	14
7.3	Sistema di sostegno pannelli .....	14
7.4	Generatore statico di potenza .....	16
7.5	Moduli fotovoltaici .....	17
7.6	Sistema di protezione di interfaccia.....	18
8.	COORDINAMENTO TRA LE TENSIONI DI STRINGA E L'INVERTER .....	19
9.	DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE.....	22
10.	MONTATI CONVERTITORI STATICI DI POTENZA ELETTRICA (INVERTER) .....	25
11.	DIMENSIONAMENTO STRINGA ELETTRICA IN CORRENTE CONTINUA .....	26
12.	PROTEZIONE DA SOVRACCARICO E CORTOCIRCUITO – SCELTA DEGLI INTERRUTTORI .....	27
13.	IMPIANTO DI TERRA.....	29
14.	SISTEMA DI EMERGENZA .....	31
15.	NOTE SUL DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 462/2001 .....	31

16.	REDAZIONE DELLE DOCUMENTAZIONI DI VERIFICA DEGLI IMPIANTI .....	32
-----	---	----

## 1. PREMESSA

*Il sottoscritto Arch. Gianluca Boasso redige la presente relazione tecnica descrittiva relativa al progetto dell'impianto di produzione fotovoltaica, inerenti l'intervento della riconversione di una porzione del patrimonio regionale, al fine di renderla idonea ad ospitare gli uffici pubblici sita in via Falzarego n°4/6 nel Comune di Cagliari.*

*Attualmente la struttura è alimentata in Bassa tensione, con una potenza impegnata pari a 15 kW – 400V.*

*Si è proceduto al dimensionamento di un impianto fotovoltaico, da posizionarsi sul lastrico solare in copertura, con una potenza massima in corrente alternata ottenuta pari a 16 kW.*

*L'intervento di realizzazione dell'impianto fotovoltaico, presenta i seguenti dati progettuali:*

- *Potenza in C.C installata – 15,77 kWp*
- *Potenza massima in A.C ottenuta – 15,77 kW*
- *Produzione annuale di energia stimata – 25,12 MWh*
- *Numero di moduli fotovoltaici – N° 38 da 415 W cadauno*
- *Superficie impegnata di copertura – 255 mq*
- *Numero di inverter installati – n°1 x 16 Kw*

Gli interventi in progetto interesseranno diversi ambienti:

### **Copertura**

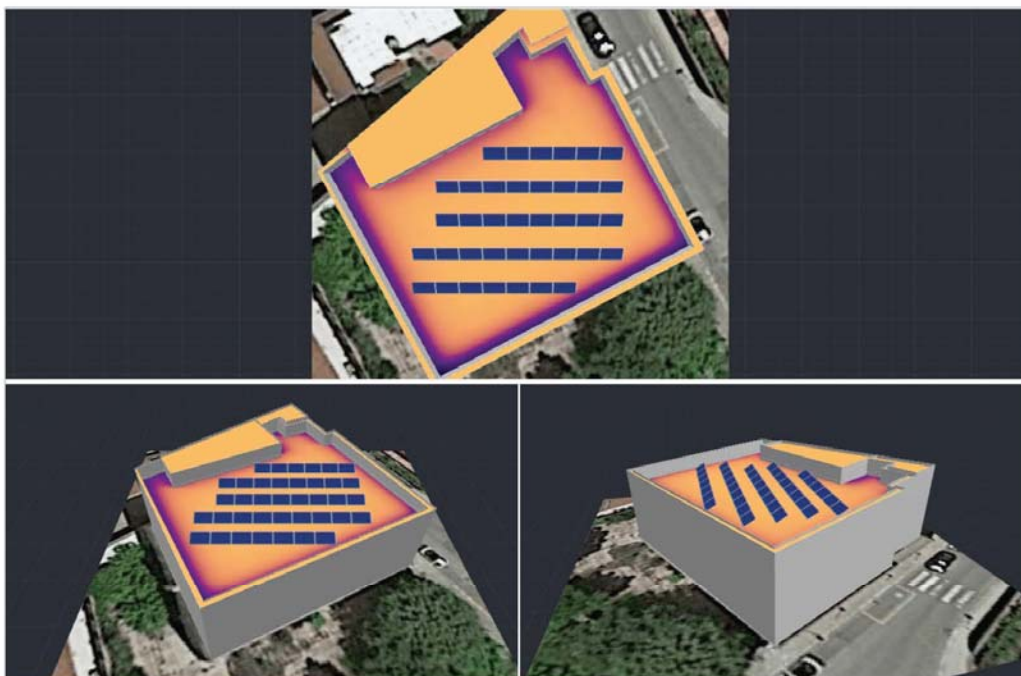
- ❖ *Installazione di un nuovo quadro elettrico in corrente continua;*
- ❖ *Installazione di un nuovo quadro elettrico in corrente alternata;*
- ❖ *Posa in opera di cavi elettrici per nuova distribuzione;*
- ❖ *Installazione dell'inverter;*
- ❖ *Installazione pulsante di emergenza;*

### **Lastrico solare in copertura**

- ❖ *Posizionamento di zavorre in CLS per il sostegno dei moduli fotovoltaici;*
- ❖ *Installazione dei moduli fotovoltaici;*
- ❖ *Posa in opera di cavi in c.c. per applicazione fotovoltaica;*
- ❖ *Posa in opera di nuove tubazioni RK a vista;*
- ❖ *Posa in opera di nuove scatole di derivazione stagne a vista;*

## 2. SPECIFICHE IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Di seguito viene esposto il report comprendente tutti i dati di simulazione utilizzati per le stime di produzione dell'impianto di produzione fotovoltaica.



#### PANORAMICA DEL SISTEMA

 38 Moduli FV

 1 Inverter

#### RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

  
Potenza CC Installata  
15,77 kWp

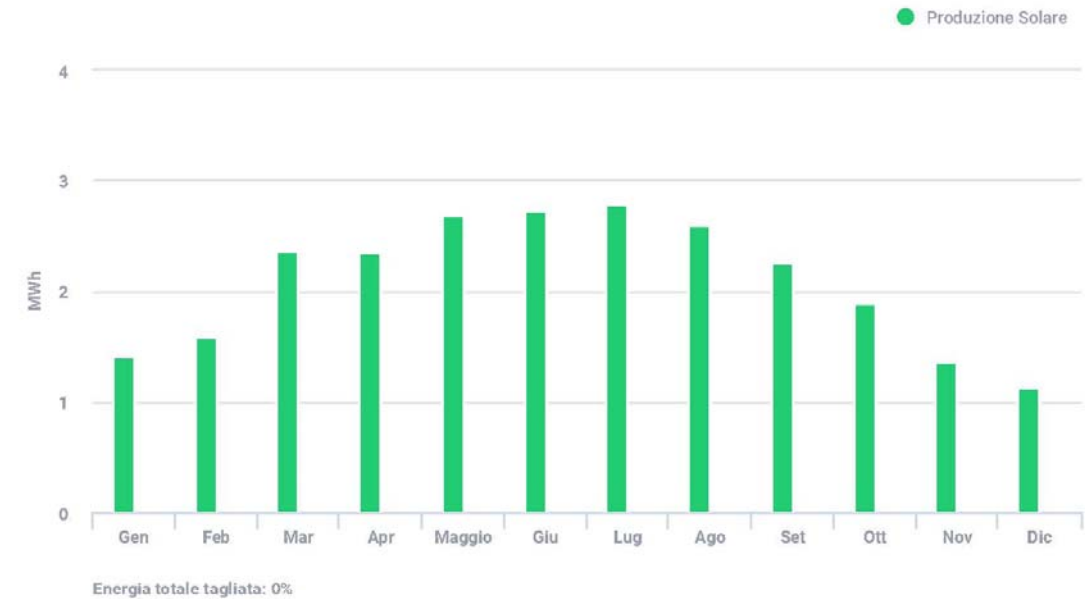
  
Potenza Massima CA  
Ottenuta  
15,77 kW

  
Produzione Annuale Di  
Energia  
25,12 MWh

  
Emissioni Di CO2 Evitate  
6,43 t

  
Alberi Equivalenti Piantati  
295

ENERGIA MENSILE STIMATA



MODULI FV

# Modulo	Modello	Potenza di picco	Tipo di supporto	Orientamento	Azimut	Inclinazione
38	Hyundai Heavy Industries Co. Ltd., HiE-S415VG (definito dall'utente)	15,8 kWp			180°	30°
Totale: 38		15,8 kWp				

PROGETTAZIONE ELETTRICA




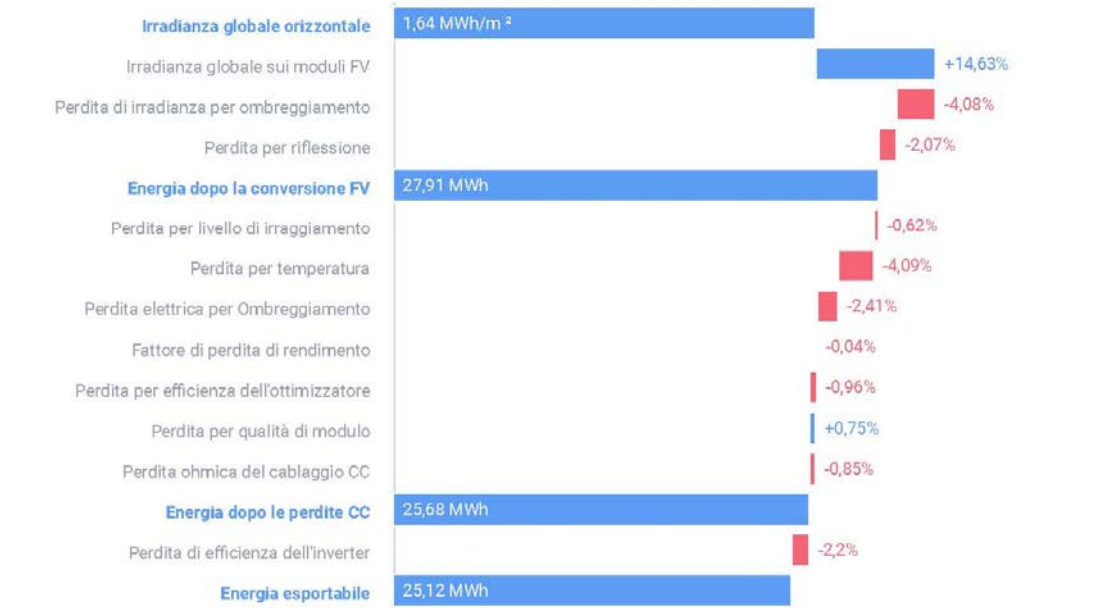
Inverter & Accumulo	Stringhe per inverter	Ottimizzatori per stringa	Moduli FV per stringa
 1 xSE16K 15.77kW   99%	 2 x stringhe		 19

DIAGRAMMA DELLE PERDITE DEL SISTEMA





## PARAMETRI DI SIMULAZIONE



### LUOGO & RETE

Fuso orario	CEST (Rome)
Stazione meteo	Cagliari (4,12 km distanza)
Altitudine stazione	9 m
Stazione sorgente dati	Meteonorm 7.1
Rete	400V L-L, 230V L-N



### FATTORI DI PERDITA

Ombre vicine	Abilitato
Albedo	0,20
Albedo bifacciale	0,30
Sporcizia/Neve	0%
Effetto Angolo di Incidenza (IAM), ASHRAE b0 Param.	0,05
Fattore di Perdita termica Uc (cost.) montaggio complanare	20
Fattore di Perdita termica Uc (cost.) montaggio inclinato	29
Fattore di perdita per LID	0%
Indisponibilità del sistema	0%

### 3. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

*Gli impianti elettrici utilizzatori a tensione alternata inferiore a 1000V o tensione continua pari a 1500V risponderanno alle prescrizioni contenute nelle Norme CEI 64-8.*

*L'impianto di produzione fotovoltaica, risponderà alle prescrizioni contenute nella Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica (CEI 0-21)*

*Per la protezione contro la fulminazione, diretta ed indiretta, saranno osservate le prescrizioni della Norma CEI 81-10/2.*

*Gli impianti di distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica all'interno degli edifici, a partire dal punto di consegna dell'energia fornita dall'ente distributore, sono soggetti all'applicazione del Decreto 22 Gennaio 2008, n. 37. Saranno inoltre rispettate le Norme CEI relative alla parte costruttiva dei vari apparecchi e l'impianto sarà eseguito a "regola d'arte" in ogni sua parte (CEI 64-8/5).*

*Di seguito si elencano Norme, Leggi, Decreti e Circolari di interesse:*

- **CEI 64-8** - Impianti elettrici a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua;
- **CEI 64-8/7 sezione 751** – Misure protettive differenziate a seconda del tipo di ambiente a maggior rischio in caso d'incendio;
- **CEI EN 61439-1 (CEI 17-113)** Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) - Parte 1: Regole generali
- **CEI EN 61439-2 (CEI 17-114)** Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) - Parte 2: Quadri di potenza
- **CEI EN 60898 (CEI 23-145)** interruttori automatici ad estinzione dell'arco in aria per il funzionamento a frequenza di rete di 50 Hz e/o 60 Hz, aventi tensione nominale tra le fasi non superiore a 440 V, corrente nominale non superiore a 125 A e capacità nominale di cortocircuito non superiore a 25000 A.
- **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 17-114** - Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT);
- **CEI 11-4** - Classificazione linee;

- **CEI 20-13;V2** - Cavi isolati con gomma EPR con grado di isolamento superiore a 3 (per sistemi elettrici con tensione nominale da 1 a 20 kV);
  - **CEI 20-22/1 e CEI 20-37/1** - Prova dei cavi non propaganti l'incendio;
  - **CEI 20-45** - Cavi resistenti al fuoco;
  - **CEI 17-5** - Interruttori automatici di bassa tensione;
  - **CEI 34-21** – Apparecchi di illuminazione;
  - **CEI 31-87** – Classificazione dei luoghi;
  - **CEI 81-10** – Protezione contro i fulmini;
- Legge 13/1/1968 n. 186** - Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature ed impianti elettrici ed elettronici;
- **Decreto del Presidente della Repubblica 22 ottobre 2001 n°462** -“Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi”
  - **Art.7-bis (Decreto Legge 30 dicembre 2019, n. 162, art.36)**“Nuovo servizio online per la comunicazione del nominativo dell’organismo incaricato di effettuare le verifiche periodiche”
  - **Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 22 Gennaio 2008 n°37** -“Regolamento concernente l’attuazione dell’art. 11- quaterdecies, comma 13, lett. A) della Legge del 2 Dicembre 2005 n° 248, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all’interno degli edifici”;
  - **Decreto Legislativo 3 Agosto 2009 n°106** – “Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di salute e sicurezza sui luoghi di lavoro”.

#### 4. CONFORMITA' ALLE NORME

*Tutti i componenti elettrici utilizzati saranno muniti del marchio IMQ o di altro marchio di conformità equivalente. Tutti i materiali e gli apparecchi impiegati negli impianti elettrici saranno adatti all'ambiente di installazione ed avranno caratteristiche tali da resistere alle azioni meccaniche, corrosive, termiche o dovute all'umidità alle quali possono essere esposti durante l'esercizio. Il materiale elettrico di bassa tensione riporterà anche la marcatura CE.*

#### 5. SCELTA DI INSTALLAZIONE DEI COMPONENTI

*I componenti saranno conformi alle prescrizioni operative, funzionali e di sicurezza delle rispettive norme CEI, e saranno messi in opera tenendo conto delle condizioni che hanno influenzato la progettazione dell'impianto:*

*Il grado di protezione sarà adeguato alla situazione di installazione;*

*I componenti elettrici raggruppati in un medesimo quadro, canale, cassetta, etc., non causeranno effetti dannosi ad altri componenti;*

*I componenti saranno in grado di sopportare i valori massimi di tensione e corrente;*

*I componenti e gli apparecchi fissi saranno accessibili per il controllo e la manutenzione;*

*I dispositivi di manovra e protezione saranno chiaramente identificati nella funzione e nelle modalità di utilizzo;*

*Le condutture saranno dimensionate in modo che la corrente di impiego non provochi sovratemperature all'isolante;*

*Saranno rispettate le sezioni minime dei conduttori attivi, così come indicate dalle norme CEI relative ai cavi elettrici;*

*I conduttori di terra, di protezione, di equipotenzialità saranno contraddistinti dai colori giallo-verde;*

*Il conduttore di neutro sarà contraddistinto dal colore blu chiaro;*

*Saranno forniti schemi e le necessarie informazioni per l'individuazione dei circuiti e delle caratteristiche delle apparecchiature. Gli schemi ed i segni grafici saranno conformi alle norme CEI di riferimento.*

## 6. DESCRIZIONE IMPIANTO ELETTRICO

### 7. Quadri di campo in corrente continua

*È prevista l'installazione di un quadro elettrico installato a vista, da posizionarsi all'interno di una struttura ubicata nella copertura dell'edificio, nella parete ospitante l'inverter per la conversione energetica, con al suo interno i sezionatori in corrente continua accoppiati con scatole portafusibili e scaricatori SPD, a protezione degli ingressi agli inverter atti a ricevere le stringhe in uscita dai generatori fotovoltaici.*

*I quadri elettrici sopra descritti hanno le seguenti caratteristiche:*

- *Carpenteria a parete in resina termoplastica, 24 moduli disposti su due file da 12 moduli cadauna, grado di protezione IP65, e dimensioni pari a 240x460x140 mm.*
- *N° 2 Sezionatori a due poli per applicazioni fotovoltaiche 12A / 1000V DC*
- *N° 2 Scatole portafusibili a due poli per applicazioni fotovoltaiche 32A / 1000V DC*
- *N° 2 Scaricatori SPD con cartucce estraibili per applicazioni fotovoltaiche tipo 2 1000 V DC*

*Lo schema del quadro elettrico è rilevabile dall'elaborato grafico PRJ325\_ESEC\_IF02*

*In termini di sicurezza la protezione da sovraccarico e cortocircuito sulle stringhe, realizzata per mezzo di fusibili elettrici, permetterà di interrompere tempestivamente l'alimentazione elettrica della sola parte interessata dal malfunzionamento assicurando un discreto grado di selettività dell'impianto stesso.*

*I quadri risponderanno alla direttiva bassa tensione 2014/35/EU*

*I quadri saranno dotati di targa identificativa indicante:*

- *Nome o marchio di fabbrica del costruttore*
- *Numero di identificazione*
- *Data di costruzione*

*La restante documentazione comprendente il certificato di collaudo e rapporto di prova, verranno rilasciati dal costruttore in conformità alle norme CEI EN 61439 (CEI 17-113)*

## 7.1 Quadro lato BT

*È prevista l'installazione di un nuovo quadro elettrico installato a parete, in adiacenza al quadro in corrente continua, con al suo interno gli interruttori magnetotermici differenziali a protezione del montante elettrico in uscita dal gruppo statico di conversione fotovoltaica ed uno sganciatore automatico coordinato con il dispositivo di interfaccia (SPI), in grado di isolare l'impianto di produzione elettrica dalla rete del distributore energetico in caso si verifichino dei guasti di natura elettrica o nelle situazioni in cui la frequenza di rete esca fuori tolleranza.*

*Il quadro elettrico sopradescritto ha le seguenti caratteristiche:*

*Carpenteria a parete in resina termoplastica, 3x18 moduli DIN (622x448x161mm)*

*N° 1 interruttori magnetotermico differenziale 3P+N, curva C, In - 32A Icu 6 KA, tipo A*

*N° 1 interruttore magnetotermico 3P+N In 32A, Icu 6 KA*

*N° 1 Teleruttore 3P+N In – 32A – 230 Vac*

*N° 1 dispositivo di interfaccia (SPI)*

*N° 1 Bobina di minima tensione Vn= 230V*

*N° 1 Scaricatore di tensione SPD tipo 2 Isn=10kA, I<sub>max</sub>=20kA.*

*Lo schema del quadro elettrico è rilevabile dall'elaborato grafico PRJ325\_ESEC\_IF02*

## 7.2 Configurazione elettrica dei generatori fotovoltaici

*I pannelli fotovoltaici saranno divisi in due stringhe.*

*Prendendo in esame le stringhe, entrambe comprendono 19 moduli fotovoltaici collegati in serie tra loro, come meglio evidenziato e riportato sulla tavola PRJ325\_ESEC\_IF01*

*La distribuzione elettrica verrà eseguita con l'ausilio di cavi per applicazioni fotovoltaiche del tipo H1Z2Z2-K da 4 mm<sup>2</sup>, posati all'interno di cavidotti RK con sezioni  $\varnothing$  25, posati a vista.*

## 7.3 Sistema di sostegno pannelli

*Il sistema di supporto e fissaggio dei moduli fotovoltaici, specifico per la posa di moduli su copertura piana senza la necessità di forare la copertura stessa, sarà costituito da zavorre in calcestruzzo di forma simil triangolare.*

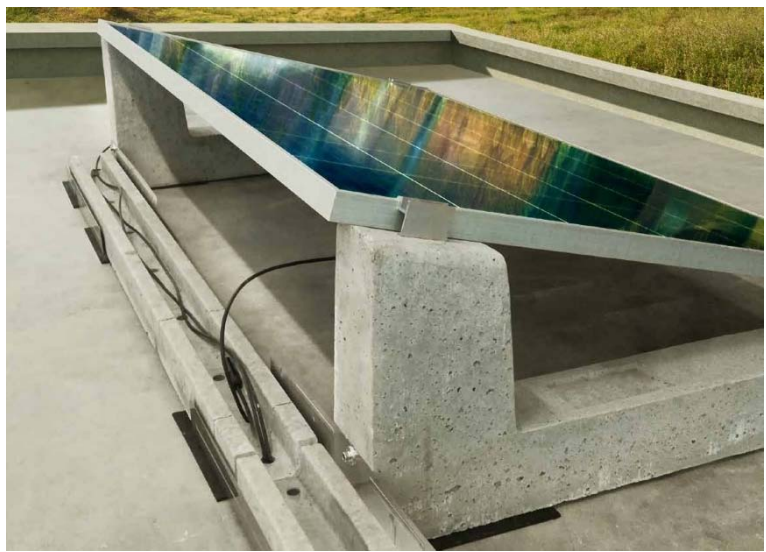
*I moduli fotovoltaici saranno fissati direttamente sulle zavorre, già predisposte con boccole, mediante graffe in alluminio e apposita bulloneria.*

*Le zavorre dovranno permettere la posa dei moduli con l'inclinazione di progetto, pari a 20°.*

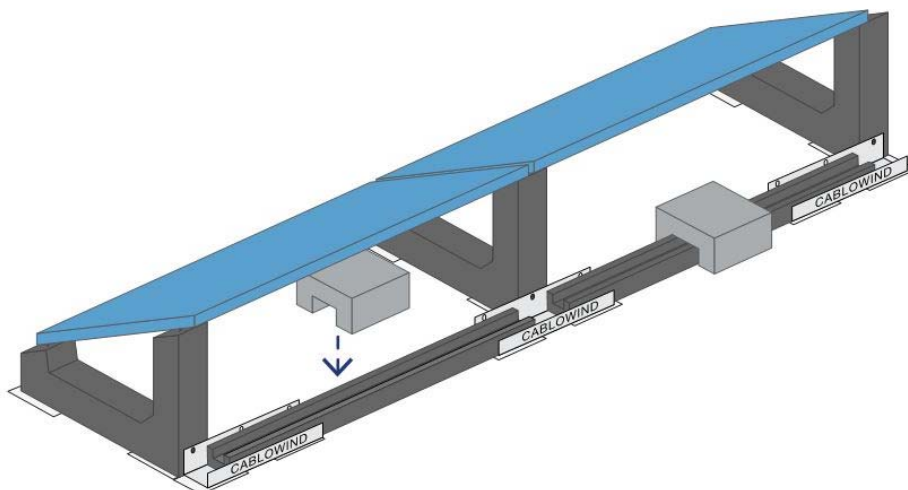
*Il sistema di fissaggio e supporto dei moduli fotovoltaici sarà integrato con l'installazione del sistema di cablaggio, costituito da canale in calcestruzzo, che dovranno essere posate mediante l'utilizzo di apposite staffe di collegamento alle zavorre; le staffe renderanno le canale solidali alle zavorre stesse; in questo modo le canale avranno anche la funzione di zavorre aggiuntive.*

*Il sistema così realizzato sarà completato con il posizionamento di pesi supplementari, da posizionare ad "incastro" sulle canale interessate, in base all'esposizione all'azione del vento.*

*Si riportano di seguito alcune immagini esplicative del sistema in questione.*







## 7.4 Generatore statico di potenza

*È previsto un generatore statico di potenza elettrica, facenti capo alle due stringhe fotovoltaiche.*

*Il generatore presenta le seguenti caratteristiche tecniche:*

### **USCITA**

*Potenza in uscita CA nominale - 16000 W*

*Potenza in uscita CA massima - 12500 VA*

*Tensione in uscita CA - Fase - Fase / Fase - Neutro (nominale) 220 / 400 ; 220 / 380 Vca*

*Tensione in uscita CA - Intervallo di tensione Fase - Neutro 264 - 184 Vca*

*Frequenza CA 50/60  $\pm$  5 Hz*

*Corrente continua in uscita massima (per fase) 23.2 A*

*Reti supportate - trifase 3 / N / PE (Connessione a stella con Neutro) 3 / N / PE (Connessione a stella con neutro), 3 / N / PE*

*Monitoraggio dell'impianto, Protezione contro il funzionamento in isola; Fattore di potenza configurabile;*

*Valori di soglia configurabili per paese*

*Distorsione armonica totale (THD) < 3 %*

### **INGRESSO**

*Potenza CC massima (Modulo STC) 21600 W*

*Senza trasformatore, senza messa a terra Sì*

*Tensione massima in ingresso - 1000 Vcc*

*Tensione CC nominale in ingresso - 750 Vcc*

*Corrente in ingresso massima – 23.2 Acc*

*Protezione contro inversione di polarità - Sì*

*Rilevamento dell'isolamento per guasto a terra Sensitività 700 k $\Omega$*

*Efficienza massima dell'inverter 98 %*

*Efficienza ponderata europea 98 %*

*Consumo energetico notturno < 2,5 W*

#### **FUNZIONI AGGIUNTIVE**

*Interfacce di comunicazione supportate RS485, Ethernet, Wi-Fi, GSM*

*Messa in funzione dell'inverter Con l'applicazione mobile SetApp utilizzando il punto di accesso messo a disposizione della scheda GSM integrata nell'inverter*

*Gestione Smart Energy Limitazione immissione in rete*

*Protezione da arco elettrico Integrata, Configurabile dall'utente (In conformità con UL1699B)*

*Protezione da sovratensioni per RS485*

*Protezione da sovratensioni CC*

*- Tipo II, sostituibile sul*

*campo, integrata*

*Protezione da sovratensioni CA*

*- Tipo II, sostituibile sul campo*

## **7.5 Moduli fotovoltaici**

*Saranno installati 42 moduli fotovoltaici, che comporranno quattro generatori fotovoltaici distinti.*

*I dati dei moduli sono riportati di seguito:*

*Potenza in uscita nominale (P<sub>mpp</sub>) 415 W*

*Voltaggio a circuito aperto (V<sub>oc</sub>) 46.7 V*

*Corrente di cortocircuito (I<sub>sc</sub>) 11.12 A*

*Voltaggio a P<sub>max</sub> (V<sub>mpp</sub>) 38.9 V*

*Corrente a P<sub>max</sub> (I<sub>mp</sub>) 10.67 A*

*Efficienza del modulo 21.2 %*

*Tipo di cella - PERC Mono-Crystalline Silicon Shingled*

*Tensione massima del sistema 1,500 V*

*Coefficiente di temperatura di P<sub>max</sub> %/°C -0.34*

*Coefficiente di temperatura di V<sub>oc</sub> %/°C -0.27*

*Coefficiente di temperatura di I<sub>sc</sub> %/°C 0.04*

## 7.6 Sistema di protezione di interfaccia

*Come prescritto dalla regola tecnica CEI 0-21, verrà prevista una protezione di interfaccia (SPI) associato con un dispositivo di interfaccia (DDI) in modo da separare l'impianto di generazione energetica fotovoltaica dalla rete del distributore di energia evitando le seguenti condizioni:*

*in caso di mancanza della tensione di rete, l'Utente possa alimentare la rete stessa creando situazioni di esercizio in isola non intenzionale;*

*in caso di guasto sulla linea BT cui è connesso, l'Utente sostenga il guasto;*

*La protezione sopradescritta sarà installata nel lato di bassa tensione, prevedendo la lettura delle tensioni concatenate e frequenze nel lato di bassa tensione (funzioni 81 e 59).*

*In caso di mancata apertura dell'interruttore DDI, la protezione di interfaccia eseguirà il sezionamento dell'impianto fotovoltaico attraverso l'interruttore DGL.*

*In assenza di alimentazione, le funzionalità della protezione di interfaccia, e la relativa tenuta in chiusura del DDI e del dispositivo di comando del DGL, sono assicurate per un minimo di 5 secondi mediante gruppo di continuità esterno (UPS)*

*È possibile visionare lo schema unifilare nella tavola*

*Si riportano in seguito le funzioni della protezione di interfaccia prevista:*

*Norme di riferimento: CEI 0-21*

*Intervallo di misura: 0 ... 540 V AC*

*Tensione nominale di alimentazione di controllo (Us): 24 ... 240 V AC/DC;*

*Uscita: 3 Contatti (SPDT)*

*Funzioni: Over- and undervoltage monitoring; Interrupted neutral monitoring;*

*Over- and underfrequency monitoring ;10 minutes average value monitoring;  
ROCOF monitoring*

## 8. COORDINAMENTO TRA LE TENSIONI DI STRINGA E L'INVERTER

*In base alle caratteristiche dei moduli e dell'inverter scelti dovranno essere verificate alcune condizioni secondo i seguenti criteri:*

1) *la massima tensione a vuoto  $U_{OCX}$  del generatore fotovoltaico, corrispondente alla minima temperatura di funzionamento ipotizzabile in relazione ai dati di temperatura locali ( $3^{\circ}\text{C}$ ), non deve superare la massima tensione di ingresso  $V_{MAX}$  tollerata dall'inverter:*

$$U_{OCX} \leq V_{MAX}$$

2. *la minima tensione  $U_{MPPmin}$  del generatore fotovoltaico, valutata alla massima temperatura di esercizio dei moduli ( $60^{\circ}\text{C}$ ) con un irraggiamento di  $1000\text{ W/m}^2$ , non deve essere inferiore alla minima tensione di funzionamento dell'MPPT  $V_{MMPTmin}$  dell'inverter:*

$$U_{MPPmin} \leq V_{MMPTmin}$$

3. *la massima tensione  $U_{MPPmax}$  del generatore fotovoltaico, valutata alla minima temperatura ( $3^{\circ}\text{C}$ ) con un irraggiamento di  $1000\text{ W/m}^2$ , non deve superare la massima tensione di funzionamento dell'MPPT  $V_{MMPTmax}$  dell'inverter:*

$$U_{MPPmax} \leq V_{MMPTmax}$$

4. *la massima corrente del generatore fotovoltaico, valutata alla massima temperatura di funzionamento ( $60^{\circ}\text{C}$ ), nel funzionamento MPP,  $I_{MPPx}$ , non deve superare la massima corrente di ingresso  $I_{DCmax}$  tollerata dall'inverter:*

$$I_{MPPmax} \leq I_{DCmax}$$

*Per calcolare i parametri sopradetti del generatore fotovoltaico al variare della temperatura di funzionamento delle celle entrano in gioco i coefficienti di temperatura  $\beta$  dei moduli forniti dal costruttore.*

Per comodità riportiamo i valori di temperatura utilizzati nei calcoli e i coefficienti di perdita per temperatura dei moduli fotovoltaici rispettivamente per la tensione a vuoto  $UOC$  e per la corrente  $IMPP$ .

La tensione massima a vuoto  $UOCX$  per ogni modulo vale:

$$UOCX = UOC + \beta UOC \cdot (T_{cellmin} - T_{STC}) = 52,64 V$$

dove:

- $UOC = 46,7 V$
- $T_{STC} = 25 ^\circ C$
- $T_{cellmin} = 3 ^\circ C$
- $\beta UOC = -0,27$

Nell'impianto fotovoltaico in esame sono previste  $n$  stringhe per inverter, ciascuna da 21 moduli in serie si ha:

$$UOCX_{stringa} = 19 \cdot UOCX = 1.000 V$$

Cautelativamente si assume lo stesso valore del coefficiente di tensione  $MPP$  pari a quello relativo alla tensione a vuoto  $UOC$ , per cui si ha:

$$\beta U_{MPP} = -0,270 V/^{\circ}C$$

la tensione minima  $UMPPmin$  per ogni modulo vale:

$$UMPPmin = UMPP + \beta U_{MPP} \cdot (T_{cellmax} - T_{STC}) = 29,45 V$$

dove:

- $UMPP = 38,9 V$
- $T_{STC} = 25 ^\circ C$
- $T_{cellmax} = 60 ^\circ C$ .

si ha:

$$UMPP_{min\ stringa} = 19 \cdot UMPPmin = 560 V$$

Analogamente si calcola la tensione massima  $UMPPmax$  per ogni modulo che vale:

$$UMPPmax = UMPP + \beta U_{MPP} \cdot (T_{cellmin} - T_{STC}) = 44,84 V$$

si ha:

$$UMPP_{max\ stringa} = 19 \cdot UMPPmax = 852 V$$

La corrente massima di MPP per ogni modulo, ed anche per ogni stringa, vale:

$$IMPP_{max\ stringa} = IMPP + \beta IMPP \cdot (TSTC - T_{cellmin}) = 11,55A$$

$$IMPP = 10,67 A$$

$$\beta IMPP = 0,04$$

L'inverter scelto ha 2 canali MPPT indipendenti, sono collegate una singola stringa per ogni canale MPPT, la corrente massima da considerare è:

$$IMPP_{max} = 2 \cdot IMPP = 23,1 A$$

Minore del valore massimo di corrente in ingresso.

## 9. DIMENSIONAMENTO DELLE LINEE

*Il calcolo di progetto delle linee elettriche in esame, consiste nel determinare le caratteristiche fisiche della conduttura (sezione dei conduttori, tipo di cavo, modalità di posa ecc.) in funzione dei dati di ingresso e nel rispetto dei vincoli progettuali, che andranno verificati a calcolo concluso.*

*Al fine di determinare la sezione di un cavo è necessario conoscere la portata del cavo, la corrente di impiego del circuito e la sua lunghezza per limitare la caduta di tensione. E' inoltre necessario conoscere la portata ( $I_z$ ) del tipo di cavo in relazione alla sezione e alle condizioni di posa del cavo stesso.*

*Determineremo anzitutto la corrente d'impiego ( $I_b$ ) del circuito che, a parità di tensione, dipende dalla potenza e dal  $\cos \varphi$  (del carico).*

$$I_b = \frac{P}{V \cos \varphi} \quad \text{per linee monofase}$$

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \varphi} \quad \text{per linee trifase}$$

*Per il dimensionamento delle nostre linee è stato utilizzato il criterio della caduta di tensione ammissibile.*

### **CRITERIO DELLA CADUTA DI TENSIONE AMMISSIBILE**

*Fissiamo la caduta di tensione ammissibile sulla base di quanto dettato dall'art. 525 della norma CEI 64-8: la caduta di tensione tra l'origine dell'impianto e l'apparecchio utilizzatore **non deve essere superiore al 4%** della tensione nominale dell'impianto cioè:*

$$\Delta V\% \leq 4\%$$

*Dopo aver fissato il valore della  $\Delta V\%$ , procederemo nel modo seguente:*

$$\Delta V = \frac{\Delta V\% \cdot V}{100} \quad \text{troviamo il valore della caduta di tensione ammissibile}$$

- noto  $\Delta V$ , dall'espressione  $\Delta V = 2 \cdot L \cdot I (R_l \cos \varphi + X_l \sin \varphi)$  per i linee monofase e  $\Delta V = \sqrt{3} \cdot L \cdot I (R_l \cos \varphi + X_l \sin \varphi)$  per linee trifase possiamo calcolare il valore della resistenza chilometrica della linea  $r_l$ , in quanto è l'unica incognita presente;

$$r_l = \frac{\frac{\Delta V}{2 \cdot L \cdot I} - (X_l \sin \varphi)}{\cos \varphi} \text{ per linee monofase}$$

$$r_l = \frac{\frac{\Delta V}{\sqrt{3} \cdot L \cdot I} - (X_l \sin \varphi)}{\cos \varphi} \text{ per linee trifase}$$

- si stabilisce il valore orientativo della reattanza chilometrica  $x_l$  per linee in cavo uguale a  $0,1 \Omega/\text{km}$ ;
- si calcola la sezione dei conduttori con la formula:

$$r_l = \frac{\rho_{\text{servizio}}}{S} \text{ da cui } S = \frac{\rho_{\text{servizio}}}{r_l}$$

considerando il valore di resistività (in  $\Omega \text{ mm}^2/\text{km}$ ) alla temperatura di esercizio della linea, che in questo caso sarà  $90^\circ \text{C}$  in quanto l'isolamento è in EPR;

- si può scegliere ora, la sezione commerciale.

Bisogna inoltre valutare la portata ( $I_z$ ) del cavo nelle condizioni di installazione, così da poter verificare i calcoli effettuati.

La portata sarà ricavata dalla seguente espressione:

$$I_z = I_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

Con:

$I_z$	portata del cavo nella nostra condizione di installazione
$I_0$	portata relativa a una determinata sezione, a un certo tipo di isolante e a un determinato modo di installazione (tabellato)
$K_1$	fattore di correzione per temperature del terreno diverse da $20^\circ$ (tabellato);
$K_2$	fattore di correzione che tiene conto del numero dei cavi multipolari installati sullo stesso piano (tabellato)



<b><math>K_3</math></b>	<i>fattore di correzione da applicare nel caso di profondità di posa diversa dal valore di riferimento 0,8 (tabellato)</i>
<b><math>K_4</math></b>	<i>Fattore di correzione che tiene conto della resistività termica del terreno</i>

*Ora si verifica la condizione  $I_z > I_b$ .*

*Nei circuiti monofase, qualunque sia la sezione dei conduttori di fase, e nei circuiti trifase quando la sezione dei conduttori di fase è minore o uguale a  $16 \text{ mm}^2$  se in rame, il conduttore di neutro deve avere la stessa sezione dei conduttori di fase (CEI 64-8 art. 524.2).*

## 10. Montati convertitori statici di potenza elettrica (Inverter)

*Il montante di alimentazione elettrica, in uscita dal convertitore statico di potenza, sarà di tipo FG16OR16 multipolari con guaina, con sezione dei conduttori da 16 mm<sup>2</sup>.*

*Di seguito si riporta il calcolo di dimensionamento elettrico:*

*Nome impianto: Montante di alimentazione in AC*

*Tipo di circuito: Trifase in ca*

*Tensione di esercizio: 400 V*

*Frequenza di rete: 50 Hz*

*Fattore di potenza: 0,8*

*Stato del neutro: Distribuito*

*Massima caduta di tensione: 5%*

*Tipo di conduttore: Unipolare con guaina*

*Tipo di cavo selezionato: General Cavi - FG16R16 0.6/1 KV*

*Lunghezza cavo: 50 m*

*Temperatura ambiente: 30°C*

*Tipo di posa: Cavi in tubo in aria*

*Resistività termica del terreno: 1*

*Numero conduttori in parallelo: 1*

*Numero di circuiti per strato: 1*

*Tempo di intervento delle protezioni: 0,1 s*

*Sezione conduttore (S): 16 mm<sup>2</sup>*

*Portata conduttore (\*): 88 A*

*Fattore di correzione k1: 1,000*

*Fattore di correzione k2: 1,000*

*Fattore di correzione totale: 1,000*

*Portata conduttore/i (Iz): 88,000 A*

*Temperatura di funzionamento: 36,457°C*

*Caduta di tensione perc. T=Tf: 0,608%*

*Corrente di impiego (Ib): 28,868 A*

*Potenza attiva (P): 16,000 KW*

*Potenza reattiva (Q): 12,000 KVAR*

*Potenza apparente (A): 20,000 KVA*

*Temperatura Max di funzionamento: 90,0°C*

*Temperatura Max di cortocircuito: 250,0°C*

*Resistenza di fase a 20 °C: 53,125 mΩ*

*Reattanza di fase a 20 °C: 5,600 mΩ*

*Energia specifica passante (I<sup>2</sup>t): 5,235 (KA)<sup>2</sup>s*

*Corrente massima di cc: 7,235 KA*

*(\*) Riferimento Tabella UNEL 35024 o costruttore*

## 11. Dimensionamento stringa elettrica in corrente continua

Per quanto riguarda il sovraccarico si può considerare che nelle condizioni più severe i cavi di stringa possono essere interessati da una corrente di impiego pari a

$$IB = 1,25 \cdot ISC$$

dove ISC è la corrente di corto circuito del modulo componente la stringa.

Poiché tale valore non può essere superato, cioè non è possibile sovraccaricare i cavi, in un impianto fotovoltaico non sarà necessario proteggerli dal sovraccarico purché la sua portata (valutata in tutte le sue condizioni di posa) sia almeno pari al valore massimo di corrente che li percorre.

Tale guasto viene alimentato:

- dalla stessa stringa con una corrente:  $IM1 = 1,25 \cdot ISC = IB$

Per un corretto dimensionamento del cavo di stringa si ritiene conveniente ricorrere alla protezione del singolo cavo di stringa mediante l'adozione di idoneo fusibile (Integrato nei quadri di campo).

In tale maniera la portata dei cavi di stringa deve soddisfare la seguente relazione:

$$I_z \geq IM1$$

Pertanto, per cavi con conduttore in Alluminio tipo H1Z2Z2-K la sezione idonea per la corrente nominale calcolata risulta pari a:

$$S = 4 \text{ mm}^2$$

con una portata a 60°C in aria:

$$IZ = 44 \text{ A} \geq 14 \text{ A}$$

## 12. PROTEZIONE DA SOVRACCARICO E CORTOCIRCUITO – SCELTA DEGLI INTERRUTTORI

*La protezione dal sovraccarico rispetta le condizioni stabilite dalla norma CEI 64-8 (impianti utilizzatori in bassa tensione):*

- $I_b \leq I_n \leq I_z$
- $I_f \leq 1.45 I_z$

*Con:*

*$I_b$  = corrente d'impiego della linea*

*$I_n$  = corrente nominale o portata dell'interruttore*

*$I_z$  = portata del cavo*

*$I_f$  = minima corrente di intervento dell'interruttore entro il tempo convenzionale*

*Per quanto riguarda il cortocircuito, è stato verificato che il potere di interruzione del dispositivo non sia inferiore al valore della corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione, applicando la disuguaglianza sotto riportata:*

- $I_{cn} \text{ (potere di interruzione)} \geq I_{ccmax}$

*E' necessario verificare che il dispositivo intervenga in un tempo inferiore a quello che porterebbe la temperatura dei conduttori oltre il limite ammissibile, questa condizione è verificata mediante la seguente disuguaglianza:*

$$\int_0^t i^2(t) dt \leq K^2 S^2$$

*La protezione dalle sovracorrenti può essere effettuata con unico dispositivo (protezione combinata), la norma CEI 64-8 consente infatti l'adozione di un unico dispositivo a patto che esso soddisfi contemporaneamente le prescrizioni per il sovraccarico e per il corto circuito.*

*Si sceglierà quindi un interruttore fra quelli presenti in commercio, con  $I_n$  compresa fra la corrente d'impiego della linea da proteggere e la portata del cavo (ovvero la massima corrente sopportata dal cavo senza danneggiarsi). Si riporta di seguito un elenco di interruttori monofase e trifase presenti in commercio:*

<i>INTERRUTTORI MONOFASE (A)</i>	<i>INTERRUTTORI TRIFASE (A)</i>	
<i>6</i>	<i>16</i>	<i>250</i>
<i>10</i>	<i>25</i>	<i>400</i>
<i>16</i>	<i>32</i>	<i>630</i>
<i>20</i>	<i>40</i>	<i>1000</i>
<i>25</i>	<i>50</i>	<i>1250</i>
<i>32</i>	<i>63</i>	<i>1600</i>
<i>40</i>	<i>80</i>	
<i>50</i>	<i>100</i>	
<i>63</i>	<i>125</i>	

*(Elenco degli interruttori monofase e trifase in commercio)*

### 13. IMPIANTO DI TERRA

*Il collegamento a terra dell'impianto elettrico sarà realizzato secondo il sistema TT, nel quale l'impianto di terra delle masse è separato da quello del neutro della cabina di trasformazione MT/BT.*

*Per il collegamento di terra verrà utilizzato l'impianto di messa a terra così come progettato nel progetto elettrico, derivando un conduttore FS17 giallo-verde di sezione pari a 16 mm<sup>2</sup>.*

*Le ragioni che stanno alla base del dimensionamento dei conduttori di terra e di protezione sono principalmente legate alla resistenza meccanica del conduttore. La corrente di guasto, infatti, che in condizioni di normale funzionamento è zero, è quasi sempre sopportabile da conduttori di protezione che rispettino le sezioni minime stabilite dalla norma CEI 64-8:*

Sezione di fase (mm <sup>2</sup> )	Sezione minima del conduttore di protezione (mm <sup>2</sup> )
	PE
≤ 16	S <sub>F</sub>
16 ÷ 35	16
> 35	S <sub>F</sub> /2

(Tabella esplicativa delle caratteristiche dei conduttori di protezione)

	Protetti meccanicamente		Non protetti meccanicamente
	Sezione conduttore di fase	Sezione minima conduttore di terra	Sezione minima conduttore di terra
<b>Protetto contro la corrosione</b>  <b>(In ambienti non particolarmente aggressivi dal punto di vista chimico il rame e il ferro zincato si</b>	$S_F < 16$	$S_T = S$	16 mm <sup>2</sup> se in rame
	$S_F \geq 16 \geq 35$	$S_T = 16$	16 mm <sup>2</sup> se in ferro zincato (secondo
	$S_F > 35$	$S_T = S / 2$	Norma CEI 7-6 o con rivestimento equivalente)

considerano protetti contro la corrosione)			
Non protetto contro la corrosione	25 mm <sup>2</sup> se in rame  50 mm <sup>2</sup> se in ferro zincato (secondo la Norma CEI 7-6 o con rivestimento equivalente)		

(Tabella esplicativa delle caratteristiche dei conduttori di terra)

*I conduttori equipotenziali sono conduttori che servono ad assicurare, mediante collegamento elettrico, l'equipotenzialità fra le masse e/o le masse estranee.*

*Non essendo conduttori attivi e non dovendo sopportare gravose correnti di guasto il loro dimensionamento non segue regole legate alla portata ma alla resistenza meccanica del collegamento.*

Conduttori equipotenziali	Sezione conduttore di protezione principale PE  (mm <sup>2</sup> )	Sezione del conduttore equipotenziale  (mm <sup>2</sup> )
Principale EQP	$\leq 10$  = 16  = 25  > 35	6  10  16  25
Supplementare EQS:  <ul style="list-style-type: none"> <li>collegamento massa-massa</li> <li>collegamento massa-massa estranea</li> </ul>	$EQS \geq PE$ di sezione minore (1)  $EQS \geq \frac{1}{2}$ della sezione del corrispondente conduttore PE	

	<p>In ogni caso la sezione del conduttore EQS deve essere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\geq 2,5</math> mm<sup>2</sup> se protetto meccanicamente</li> <li>• <math>\geq 4</math> mm<sup>2</sup> se non protetto meccanicamente</li> </ul>
<p>(<sup>1</sup>) Quando le due masse appartengono a circuiti con sezioni dei conduttori di protezione molto diverse, sul conduttore EQS (dimensionato in base alla sezione del conduttore di protezione minore), potrebbero verificarsi correnti di guasto tali da sollecitare termicamente in modo eccessivo il conduttore stesso. In questo caso è opportuno aumentare la sezione del conduttore EQS sulla base della corrente di guasto effettiva.</p>	

(Tabella esplicativa delle caratteristiche dei conduttori equipotenziali)

## 14. Sistema di emergenza

*È prevista l'installazione di un pulsante normalmente chiuso (NC) di emergenza a fungo per la realizzazione del sistema di emergenza.*

*In caso si verifichi una situazione avversa che minacci la sicurezza dell'edificio, il pulsante permette di isolare l'alimentazione dell'impianto di produzione fotovoltaica, eseguendo il distacco dell'interruttore automatico del lato di corrente alternata per mezzo di bobine di minima tensione.*

*Il pulsante sarà installato in prossimità del quadro elettrico lato corrente alternata denominato **QGA** (reception).*

## 15. Note sul Decreto Del Presidente Della Repubblica 462/2001

*Stando a quanto descritto nell'art.2 del DPR 462/2001, il datore di lavoro, entro trenta giorni dopo la messa in esercizio dell'impianto, trasmette la dichiarazione di conformità dell'impianto elettrico al Dipartimento territorialmente competente dell'INAIL ed all'ARPA o ASL competenti per territorio.*

*In base all'art. 3 del DPR 462/01, risulta attribuito all'INAIL il controllo a campione della "prima verifica sulla conformità alla normativa vigente degli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche ed i dispositivi di messa a terra degli impianti elettrici".*

*Stando a quanto descritto nell'art.36 del Decreto Legge del 30 dicembre 2019, n. 162, viene introdotto nel DPR 462/01 l'art. 7 bis che prevede la disposizione da parte dell'INAIL di una banca dati informatizzata per le verifiche (CIVA).*



*Il portale CIVA permette la denuncia dell'impianto di messa a terra e la relativa trasmissione della dichiarazione di conformità, in conformità delle prescrizioni dettate nell'art. 2 del DPR 462/2001.*

## 16. REDAZIONE DELLE DOCUMENTAZIONI DI VERIFICA DEGLI IMPIANTI

*A fine lavori la Ditta esecutrice gli impianti elettrici produrrà la "DICHIARAZIONE DI CONFORMITA'" come da Decreto n°37 del 22 Gennaio 2008; di cui questa relazione di progetto deve essere allegato obbligatorio.*

*Oristano, 14 Giugno 2024*

*Il Tecnico*

*Arch. Boasso Gianluca*