



COMUNE DI PONTECAGNANO FAIANO (Provincia di Salerno)

SETTORE LAVORI PUBBLICI INFRASTRUTTURE PATRIMONIO
IGIENE URBANA E S.A.D. "PICENTINI E BATTIPAGLIA"

PROGETTO ESECUTIVO

ai sensi dell'art. 41 del D. Lgs. n. 36 del 31 Marzo 2023

OGGETTO

LAVORI DI " "REALIZZAZIONE NUOVO ASILO NIDO
VIA ABATE CONFORTI-VIA SANDRO PERTINI
LOCALITA' SAN ANTONIO

TAVOLA

20

ELABORATO

Relazione di calcolo impianto fotovoltaico

Data:

Ottobre 2025

Scala

Progettista architettonico:

Ing. Rosario Antonini



Responsabile del Settore e RUP:

Arch. Giovanni Landi

Revisione del

Revisione del

Revisione del

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA..... | 1 |
| 2. CAPACITÀ PRODUTTIVA DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO | 3 |
| 3. RACCOLTA DATI DI PROGETTO | 4 |
| 3.1. DATI DI PROGETTO DI CARATTERE GENERALE..... | 4 |
| 3.2. DATI DI PROGETTO RELATIVI ALL'IMPIANTO ELETTRICO..... | 5 |
| 4. RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI | 5 |
| 5. DESCRIZIONE DELLE OPERE DA REALIZZARE..... | 7 |
| 5.1. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'INTERVENTO..... | 7 |
| 5.2. ARCHITETTURA DELL'IMPIANTO..... | 7 |
| 5.3. SCELTA DEI MODULI FV | 9 |
| 5.4. CONFIGURAZIONE DEL CAMPO FOTOVOLTAICO | 10 |
| 5.5. SCELTA DELL'INVERTER | 10 |
| 5.6. QUADRO STRINGHE E QE IMPIANTO FV..... | 11 |
| 5.7. COLLEGAMENTI DC E AC | 12 |
| 5.8. SISTEMA DI PROTEZIONE DI INTERFACCIA E DISPOSITIVO DI INTERFACCIA (SPI E DDI)..... | 13 |
| 5.9. IMPIANTO DI MESSA A TERRA ED EQUIPOTENZIALE..... | 14 |
| 6. VERIFICHE DI COLLAUDO E DOCUMENTAZIONE FINALE..... | 16 |
| 7. DESCRIZIONE DELLE OPERE DA REALIZZARE..... | 18 |
| 7.1. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'INTERVENTO..... | 18 |
| 7.2. PROTEZIONE CONTRO LE CORRENTI DI SOVRACCARICO | 18 |
| 7.3. PROTEZIONE CONTRO LE CORRENTI DI CORTOCIRCUITO | 18 |
| 7.4. CALCOLO DELLA CADUTA DI TENSIONE | 19 |
| 7.5. MISURE DI PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI | 20 |
| 7.6. IDONEITÀ DEI COMPONENTI ALL'AMBIENTE DI INSTALLAZIONE..... | 20 |
| 7.7. SCELTA DEI CAVI..... | 21 |
| 7.8. MISURE DI PREVENZIONE | 22 |
| 7.9. COMANDO DI EMERGENZA | 22 |
| 8. PROTEZIONE CONTRO LE SOVRATENSIONI..... | 25 |
| 8.1. PREMESSA | 25 |
| 8.2. SCHERMATURA E DISPOSIZIONE DEI CIRCUITI | 25 |
| 8.3. PROTEZIONE CON SPD LATO DC | 26 |
| 9. CALCOLI ESECUTIVI DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA LATO DC..... | 27 |
| 9.1. PROTEZIONE CONTRO LE SOVRACORRENTI DEI CIRCUITI LATO DC | 27 |
| 9.2. CADUTA DI TENSIONE CIRCUITI LATO DC..... | 27 |

10. IMPIANTI AC.....

29

11. ISTRUZIONI PER L'USO E LA MANUTENZIONE DELL'IMPIANTO.....

29

1. PREMESSA

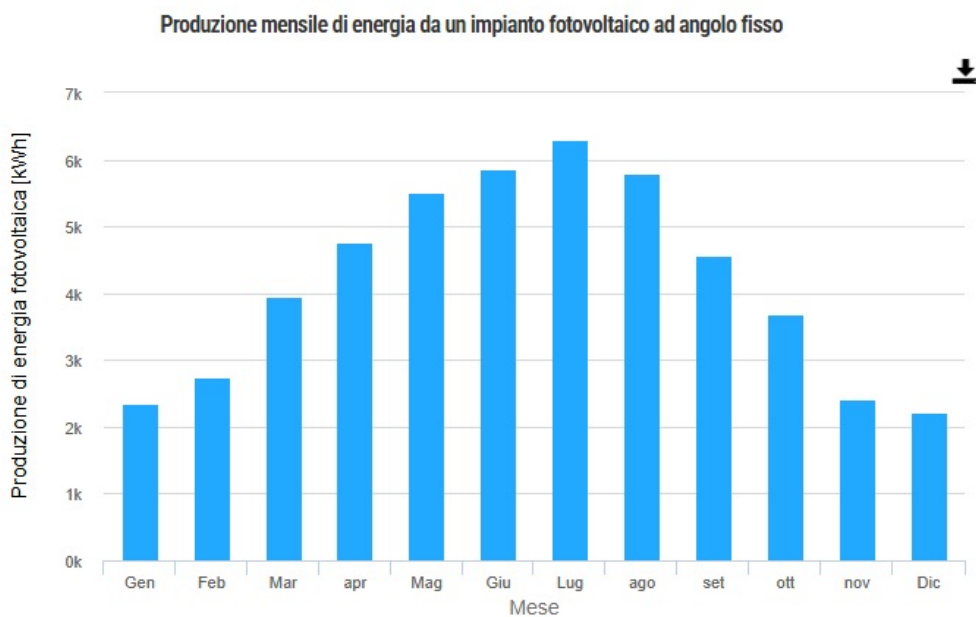
La presente relazione tecnica contiene tutto quanto previsto dal D.M. 37/08 e nello specifico all'art. 5, nel rispetto della Norma CEI 0-21E Norme ceI 64-8, afferente il progetto dei lavori di realizzazione di un impianto fotovoltaico con potenza nominale pari a **$P = 35,20 \text{ kWp}$** . L'impianto sarà realizzato nel Comune di Pontecagnano-Faiano sulle coperture di un nuovo fabbricato da destinare ad asilo nido, sito in via Pertini. Il sistema fotovoltaico da installare, che sarà connesso alla rete elettrica di distribuzione, è stato concepito allo scopo di alimentare quota parte dei consumi elettrici dell'utenza collegata, al fine di auto-consumare tutta, o quasi, l'energia prodotta. Lo scrivente tiene a precisare che l'impianto fotovoltaico da installare sulla copertura della struttura, sarà realizzato nel rispetto minimo dei criteri richiesti dal Decreto Legislativo n. 199 dell'8 novembre 2021 in vigore dal 15 dicembre 2021 di cui si riporta tabella di sintesi.

| Requisiti per la copertura del fabbisogno di energia da fonti rinnovabili |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">60% di copertura da fonti rinnovabili per il servizio di acqua calda sanitaria;60% di copertura da fonti rinnovabili per l'insieme dei servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria. |
| <i>Per gli edifici pubblici le percentuali salgono al 65%</i> |

| Requisiti relativo all'installazione di impianti fotovoltaici |
|--|
| Obbligo installazione Impianti FV di potenza pari a: $P = k \cdot S$ Dove: S = Superficie in pianta dell'edificio senza pertinenze $k = 0,025$ per edifici esistenti $k = 0,05$ per edifici nuovi |
| <i>Per gli edifici pubblici la potenza è incrementata del 10%</i> |

Orbene in relazione alla superficie in pianta dell'immobile pari a circa $S = 624 \text{ mq}$ è stata desunta una potenza nominale di picco minima dell'impianto da realizzare pari a $34,32 \text{ kWp}$. Sarà realizzato nella fattispecie un impianto di potenza nominale di picco pari a $P = 35,20 \text{ kWp}$ lievemente maggiorato. L'impianto sarà realizzato con l'installazione di n.64 moduli fotovoltaici con celle di silicio monocristallino, di potenza cadauno pari a 550 Wp interconnessi a un inverter di potenza nominale pari a $P = 36 \text{ kW}$.

La producibilità annua dell'impianto *de quo* in relazione alla propria potenza di picco pari a **$P = 35,2 \text{ kWp}$** , potrà produrre un quantitativo di energia stimato di circa **$P = 50.145 \text{ kWh/anno}$** (Parametro ottenuto da simulazione con PVGIS). Si allega di seguito calcolo simulato della producibilità desunto dalla piattaforma citata.

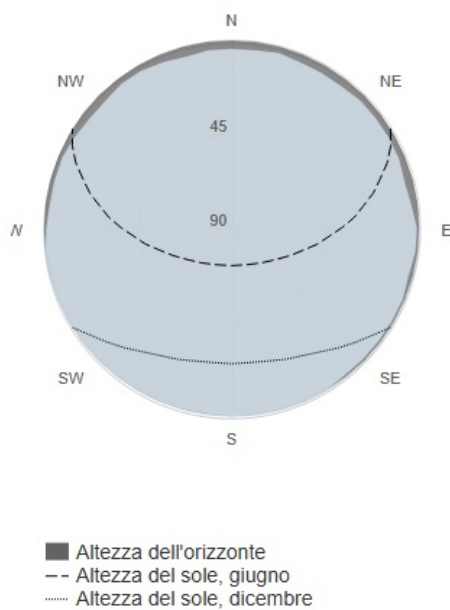


Ingressi forniti :

| | |
|--------------------------|---------------------|
| Posizione [Lat/Lon]: | 40.639 , 14.884 |
| Orizzonte: | Calcolato |
| Banca dati utilizzata: | PVGIS-SARAH3 |
| Tecnologia fotovoltaica: | Silicio cristallino |
| FV installato [Wp]: | 35.2 |
| Perdita del sistema [%]: | 14 |

Risultati della simulazione :

| | |
|--|----------|
| Angolo di pendenza $[\hat{A}^{\circ}]$: | 15 |
| Angolo di azimut $[\hat{A}^{\circ}]$: | 0 |
| Produzione annua di energia fotovoltaica [kWh]: | 50145.49 |
| Irraggiamento annuale nel piano [kWh/m ²]: | 1837.04 |
| Variabilità di anno in anno [kWh]: | 1504.46 |
| Cambiamenti nella produzione dovuti a: | |
| Angolo di incidenza [%]: | -2.97 |
| Effetti spettrali [%]: | 0.71 |
| Temperatura e basso irraggiamento [%]: | -7.72 |
| Perdita totale [%]: | -22.45 |



Tutti gli interventi previsti saranno realizzati scegliendo i materiali necessari, nuovi e mai utilizzati in altri impianti fotovoltaici. La progettazione dell'impianto fotovoltaico è stata eseguita nel rispetto delle norme CEI applicabili, come indicato ai paragrafi successivi, anche in relazione alle norme di connessione, come riportato anche negli schemi elettrici allegati. La scelta dei materiali è stata eseguita al fine:

- di impiegare moduli ed inverter con il maggior rendimento possibile, attualmente presenti sul mercato e compatibilmente con i limiti di spesa previsti, per massimizzare la produzione di elettricità;
- impiegare materiali altamente riciclabili;

2. CAPACITÀ PRODUTTIVA DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico è stato eseguito con l'obiettivo di avere:

- una potenza lato corrente continua superiore all' 85 % della potenza nominale del generatore fotovoltaico, riferita alle particolari condizioni di irraggiamento;
- una potenza attiva, lato corrente alternata, superiore al 90 % della potenza lato corrente continua (efficienza del gruppo di conversione);

Le coordinate geografiche del sito di intervento sono le seguenti.

- Longitudine 14,512195°
- Latitudine 40,374439°

Considerando le denominazioni delle direzioni come da immagine seguente e come punto di riferimento per il conteggio degli angoli la direzione SUD invece della direzione nord,



La stima di produzione del generatore fotovoltaico è stata eseguita tenendo conto di:

- disponibilità di spazi sui quali installare l'impianto fotovoltaico;
- disponibilità della fonte solare;
- fattori morfologici e ambientali (ombreggiamento e albedo).

In particolare per la stima della producibilità energetica si è fatto ricorso al database di informazioni meteorologiche del "PVGIS".

I risultati della stima indicata sono stati ottenuti attraverso la seguente procedura:

- Individuazione del sito (in termini di coordinate geografiche) ove è presente lo stabilimento all'interno del quale verrà installato l'impianto fotovoltaico;
- Impostazione del valore "PVGIS" nel campo "radiazione solare";
- Impostazione della tecnologia fotovoltaica;
- Impostazione di un fattore correlato alle perdite del generatore fotovoltaico lato corrente continua pari, al **14%**;
- Impostazione della modalità di installazione;
- Inserimento della potenza del generatore che sarà installato sulle falde.

Il valore dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico è stato ricavato dal campo denominato "Produzione annuale FV [kWh]", presente nella sezione "Riassunto", del report ottenuto. Tale valore è strettamente correlato al valore di potenza nominale dell'impianto della sua porzione indicata in fase di stima della produzione. Infatti, nel caso specifico, per via del diverso orientamento delle falde, sulle quali sarà installato il generatore, la stima di produzione è stata eseguita per ciascun orientamento. Quindi, si è proceduto ad aggregare i dati di produzione in base al mese di riferimento, al fine di ottenere un dato complessivo. L'efficienza del generatore fotovoltaico è numericamente data dal rapporto tra la potenza nominale del generatore stesso (espressa in kW) e la relativa superficie (espressa in mq e intesa come somma della superficie dei moduli).

3. RACCOLTA DATI DI PROGETTO

L'impianto fotovoltaico sarà installato sulle coperture del fabbricato destinato ad asilo nido. Il materiale costituente le coperture innanzi descritte sono è caratterizzato da cls gettato in opera, inclinate di circa 8° e con orientamento generale Sud Ovest.

3.1. Dati di progetto di carattere generale

| N. | Dati | Valori |
|----|------------------------|---|
| 1 | Tipo di progetto | Progetto definitivo |
| 2 | Committente | Amm.ne comunale di Pontecagnano-Faiano (SA) |
| 3 | Luogo dell'intervento | Via Pertini |
| 4 | Tipologia dell'opera | Pubblica |
| 5 | Tipo di intervento | Nuovo impianto |
| 6 | Ambito di applicazione | Impianto soggetto al DM 37/08, l'impresa |

| | | |
|----|--|--|
| | | installatrice deve essere abilitata ai sensi del DM 37/08 per gli impianti elettrici di cui all'art. 1, comma 2, lettera a |
| 7 | Attività soggetta al controllo dei VVF | SI |
| 8 | Destinazione d'uso | Edilizia scolastica |
| 9 | Connessione | BT – 400 V |
| 10 | Tipologia utente | Prosumer |

3.2. Dati di progetto relativi all'impianto elettrico

| N. | Dati | Valori |
|----|--------------------------|-----------------|
| 1 | Tensione nominale | 400 V \pm 10% |
| 2 | Frequenza nominale | 50 Hz \pm 1% |
| 3 | Sistema di distribuzione | T-T |

4. RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

| Principali disposizioni legislative | |
|-------------------------------------|---|
| Leggi e Decreti | Descrizione |
| Legge 1/3/1968 n. 186 | Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazione di impianti elettrici ed elettronici |
| D.M. 22/1/2008 n. 37 | Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettere a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici |
| D.Lgs. 9/4/2008 n. 81 | Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro |
| Legge 8/10/1977 n. 791 | Attuazione della direttiva del consiglio delle Comunità Europee (n. 73/23/CEE) relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione |
| Regolamento UE n. 305/2011 | Regolamento (UE) N. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio |
| D.Lgs 31/7/1997 n. 277 | Modificazioni al decreto legislativo 25 novembre 1996, n. 626, recante attuazione della direttiva 93/68/CEE in materia di marcatura CE del materiale elettrico destinato ad essere |

| | |
|--|---|
| | utilizzato entro taluni limiti di tensione. |
| D.Lgs n. 504 del 26/10/1995, aggiorn. 1/6/2007 | Testo Unico delle disposizioni legislative concernenti le imposte sulla produzione e sui consumi e relative sanzioni penali e amministrative. |
| Decreto Legislativo n. 387 del 29/12/2003 | Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità. |
| Legge n. 99 del 23 luglio 2009 | Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia. |

| Principali norme tecniche di riferimento | |
|--|---|
| Norme tecniche | Descrizione |
| 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 64-8 (2021) | Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua |
| CEI 70-1 (1997) | Gradi di protezione degli involucri (Codice IP) |
| CEI 81-10 (2013) | Protezione contro i fulmini |
| CEI 81-29 (2014) | Linee guida per l'applicazione delle norme CEI EN 62305 |
| CEI 82-1 (2008) | Dispositivi fotovoltaici. Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche corrente-tensione |
| CEI 82-2 (2015) | Dispositivi fotovoltaici. Parte 2: Prescrizioni per i dispositivi solari di riferimento |
| CEI 82-3 (2020) | Dispositivi fotovoltaici. Parte 3: Principi di misura per dispositivi solari fotovoltaici (FV) per uso terrestre, con spettro solare di riferimento |
| CEI 82-9 (1997) | Sistemi fotovoltaici (FV). Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo alla rete |
| CEI 82-25 (2010) | Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione |
| CEI 121-24 (2022) | Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT). Parte 2: Quadri di potenza |
| CEI-UNEL 35023 (2012) | Cavi di energia per tensione nominale U uguale ad 1 kV – 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 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa in aria |
| UNI EN 13501-6 (2019) | Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 6: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco sui cavi di alimentazione, controllo e comunicazione |
| CEI EN 50618 (2015) | Cavi elettrici per impianti fotovoltaici |

5. DESCRIZIONE DELLE OPERE DA REALIZZARE

5.1. Descrizione sommaria dell'intervento

L'impianto sarà installato sulla copertura piana, previa verifica statica da parte di un professionista abilitato, oggetto di altro incarico professionale. Per il dimensionamento dell'impianto si è, innanzitutto, tenuto conto dello spazio disponibile per l'installazione dei moduli; in particolare sarà utilizzata parte della copertura sulla quale si potranno installare 64 moduli FV con potenza cadauno di 550 Wp. In definitiva, l'impianto da realizzare, nei suoi componenti, risulta così composto:

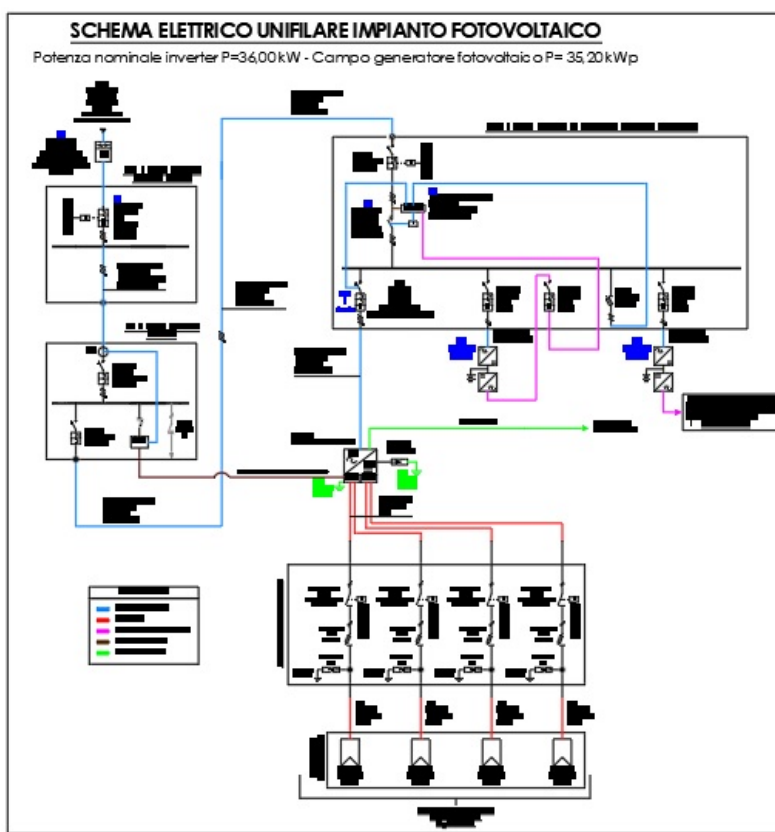
- Generatore fotovoltaico, comprensivo del sistema di supporto del tipo zavorrato;
- Quadro stringhe;
- Gruppo di conversione (Inverter);
- QE impianto FV, completo di dispositivo di interfaccia (DDI) e sistema di protezione di interfaccia (SPI);
- Trasformatori di tensione a triangolo aperto per segnale massima tensione omopolare (Relè 59N);
- Impianto di messa a terra ed equipotenziale;
- Sistema di acquisizione dati.

L'impianto FV avrà la configurazione visualizzata negli schemi elettrici e nei disegni d'installazione inseriti nelle tavole grafiche facenti parte del presente progetto. La presente relazione tecnica contiene una descrizione dell'impianto fotovoltaico ed evidenzia quanto indicato nei punti seguenti:

- descrizione sommaria dell'impianto al fine della sua identificazione;
- dati del sistema di distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica;
- norme tecniche di riferimento per gli impianti e i componenti;
- caratteristiche generali dell'impianto FV;
- descrizione delle misure di protezione;
- criteri di dimensionamento e scelta dei componenti elettrici.

5.2. Architettura dell'impianto

L'impianto fotovoltaico da realizzare, sarà composto da un campo fotovoltaico di 64 moduli FV con potenza cadauno di 550 Wp, per un valore di targa pari a 35,20 kWp, suddivisi in 4 stringhe (vedi figura pagina seguente).



Schema generale dell'impianto FV

Tutte le stringhe di moduli saranno posate all'interno di canale metallico portacavi fissata alla superficie di copertura per il tramite di sistemi di ancoraggio specifici per il tipo materiale costituente la copertura medesima. Il sistema di ancoraggio sarà completo di sistemi di impermeabilizzazione al fine di evitare infiltrazioni d'acqua piovana nella struttura del tetto. Per ogni stringa è previsto un fusibile di protezione nonché uno limitatore di sovratensione da alloggiare nel quadro elettrico stringhe in copertura (QUADRO DI CAMPO). Per la conversione dell'energia prodotta, le stringhe si attesteranno all'inverter di potenza adeguata, da installare all'interno dell'ingresso principale:

- N. 1 inverter con potenza $P = 36 \text{ kW}$;

L'uscita in corrente alternata dall'inverter si attesterà ad un interruttore automatico magnetotermico differenziale, con funzione di sezionamento e protezione, da alloggiare all'interno del quadro elettrico di interfaccia QEIFV. L'interfaccia con la rete, sarà garantita dall'adozione di un apposito dispositivo, da installare all'interno dello stesso quadro elettrico di interfaccia, con il compito di garantire il rispetto degli standard qualitativi dell'energia elettrica prodotta dal sistema ed immessa nella rete. Tale dispositivo, sarà costituito da un contattore in esecuzione AC3 protetto da idoneo magnetotermico dotato di bobina di minima tensione (DDI), gestito da un'apposita protezione di interfaccia (PI).

5.3. Scelta dei moduli FV

I moduli scelti rispetteranno le disposizioni di cui al D.lgs.49/2014 e ss.mm.ii., in materia di gestione del fine vita, e, quindi, saranno acquistati tra quelli immessi sul mercato a seguito dell'entrata in vigore della succitata normativa da Produttori di apparecchiature elettriche ed elettroniche aderenti ai Sistemi di gestione di cui agli artt. 9 e 10 del D.lgs. 49/2014. La quantità dei moduli FV è stata dettata dallo spazio disponibile in copertura; si è optato per moduli in silicio monocristallino di potenza 455 W, con le seguenti caratteristiche (elettriche, meccaniche e di temperatura):

Caratteristiche elettriche

| | |
|--|---------|
| - Potenza di picco (P_{MPP}) | 550 W |
| - Tensione a P_{max} (V_{MPP}) | 41,82 V |
| - Corrente a P_{max} (I_{MPP}) | 8,72 A |
| - Tensione di circuito aperto (V_{OC}) | 49,85 V |
| - Corrente di corto circuito (I_{SC}) | 11,41 A |
| - Efficienza modulo | 20,4 % |
| - Classe di protezione da scossa elettrica | II |

Caratteristiche meccaniche

| | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| - Celle | 144 (6x24) semicella monocristallina |
| - Cornice in | lega d'alluminio anodizzato |
| - Diodi di bypass | 3 |
| - Junction box certificato | IP68 |
| - Connettori | QC 4.10-35 (1500 V) |
| - Lunghezza cavi | 1200 mm |
| - Sezione cavi | 4 mm ² |
| - Dimensioni | 2120x1052x40 mm |
| - Peso | 25 Kg |

Caratteristiche temperatura

| | |
|--|-----------------|
| - NOCT | 45 ± 2 °C |
| - Coefficiente temperatura della potenza massima | -0,35 % / °C |
| - Coefficiente temperatura della tensione di circuito aperto | -0,27 % / °C |
| - Coefficiente temperatura della corrente di corto circuito | 0,044 % / °C |
| - Temperatura di funzionamento | da -40 a +85 °C |

5.4. Configurazione del campo fotovoltaico

L'impianto FV sarà costituito da 4 stringhe per un totale di 64 moduli e una potenza complessiva di 35,20 kWp. I moduli costituenti i pannelli saranno dotati di diodi di by-pass, ogni stringa sarà dotata di diodo di blocco. I moduli saranno montati, mediante bulloni in acciaio inox e morsetti in acciaio inox, fissati direttamente su un sistema zavorrato idoneo al tipo di copertura. Per il collegamento in serie dei moduli fotovoltaici, considerando il luogo di posa esterno, si è optato per un cavo solare con guaina tipo H1Z2Z2-K. A seconda della lunghezza e della potenza delle stringhe, per contenere le perdite di potenza, i collegamenti tra i moduli è stato realizzato con cavi unipolari da 6 mmq. La distribuzione dei cavi sul tetto sarà realizzata con apposite canalizzazioni metalliche completi di accessori, pezzi speciali e coperchio di chiusura. I moduli adottati nell'impianto in oggetto saranno dotati di cavi Multi-Contact (definiti MC-plug); l'utilizzo di queste connessioni favorisce, in fase realizzativa, i collegamenti in serie in modo efficace e rapido, oltre ad avere un'ottima tenuta meccanica della connessione.

5.5. Scelta dell'inverter

La produzione energetica del campo fotovoltaico sarà gestita, in fase di conversione DC/AC, dall'inverter trifase conforme alla norma CEI 0-21. L' inverter, mediante il quadro d'interfaccia alla rete (QE impianto FV), sarà gestito in modalità trifase, in conformità alle prescrizioni previste dalla stessa norma CEI 0-21 e dalle specifiche del distributore locale (e-distribuzione), consentendo la sua connessione in parallelo alla rete pubblica. Si riportano di seguito le principali caratteristiche:

Inverter :

Ingresso FV DC

| | |
|---|--------------|
| - Potenza massima CC | 46 kW |
| - Tensione massima in ingresso | 1000 V |
| - Tensione di avvio | 680 V |
| - Intervallo di tensione operativa MPPT | 190 – 1000 V |
| - Corrente in ingresso massima per MPPT | 43,5 A |
| - Efficienza massima | 98,6 % |
| - Efficienza ponderata europea | 98,3 % |

Uscita AC

| | |
|---------------------------------|----------|
| - Potenza di uscita nominale | 36 kW |
| - Potenza apparente massima | 25 kW |
| - Tensione di uscita nominale | 400 V |
| - Frequenza di rete AC nominale | 50/60 Hz |

- | | |
|--|--------------------------------|
| - Corrente d'uscita massima (per fase) | 130,5 A |
| - Fattore di potenza regolabile | 0,8 capacitivo – 0,8 induttivo |
| - Distorsione armonica massima totale | $\leq 3 \%$ |

L'inverter sarà, inoltre, dotato delle seguenti protezioni e funzioni aggiuntive:

- Protezione anti-islanding;
- Protezione da polarità inversa DC;
- Protezione da sovratensione DC Tipo2 integrata;
- Protezione da sovratensione AC Tipo 2 integrata;
- Protezione da arco elettrico integrata;
- Interfacce di comunicazione supportate RS485, Ethernet e WLAN.

Infine, sarà dotato di connettori MC4 per l'ingresso dei cavi lato DC, apposito pressacavo per l'uscita del cavo lato AC, intervallo di temperatura di funzionamento da -40 a +60 °C e classe di protezione IP65.

5.6. Quadro stringhe e QE impianto FV

L'impianto FV sarà dotato, lato DC, di un quadro stringhe in copertura, per il collegamento delle stringhe, del tipo IP67, all'interno del quale saranno installati i dispositivi di sezionamento e protezione delle singole stringhe. In particolare per ciascuna stringa saranno installati:

- un portafusibili modulare 2P, In 32A, con fusibili 10x38 gPV, 1000V DC, In 25 A, n.1 Sezionatore In=32A accessoriabile con bobina a lancio di corrente

La linea in uscita da ciascun inverter, sarà protetta da opportuna protezione del tipo magnetotermico differenziale tetrapolare (DDG) regolabile, con In 80, Icu 6kA, Idn 0,5A, Tipo A (a favore della sicurezza), da alloggiare all'interno del quadro elettrico di interfaccia (QE impianto FV).

Il parallelo con la rete avverrà in corrispondenza del quadro elettrico generale.

I quadri dovranno essere conformi alla vigente Norma CEI 121-24; essi dovranno essere corredati di certificato attestante le verifiche e prove eseguite. I morsetti ed i poli in entrata dovranno essere corredati di coperture di protezione isolanti trasparenti in materiale non propagante la fiamma. Il grado di protezione (dove non espressamente richiesto altro) non dovrà essere inferiore ad IP4X e dovrà essere rispettato anche in corrispondenza dell'ingresso dei conduttori che saranno adeguatamente protetti. Ciascuna apparecchiatura dovrà essere smontabile, in parte e completamente accedendo al quadro esclusivamente dalla posizione frontale. I circuiti ausiliari dovranno essere

realizzati con conduttori flessibili tipo FS17, di sezione non inferiore a 1,5 mm². Tutte le apparecchiature costituenti i circuiti ausiliari, dovranno essere raggruppate su appositi pannelli, unitamente al relativo cablaggio, completo della morsettiera terminale per il collegamento con le altre parti del quadro. La strumentazione, i comandi e le segnalazioni dei circuiti ausiliari dovranno essere posti su pannellature, separati dai comandi di potenza. Tutti i conduttori attestati sia su morsettiera sia su apparecchiature dovranno essere contrassegnati con segnafile numerati e tutte le apparecchiature sistemate all'interno del quadro dovranno essere contraddistinte attraverso una sigla di identificazione riportata su un'etichetta applicata ad ognuna di esse. Tutti i comandi riportati sul frontale dei quadri dovranno essere contraddistinti mediante l'applicazione in corrispondenza di ciascuno di essi di un'apposita targhetta. I quadri dovranno essere corredati di targhetta con il nome della ditta costruttrice, il numero di serie, il tipo, la tensione d'esercizio, i limiti d'impiego e tutte le altre informazioni previste dalla Norma CEI 121-24.

Di seguito si riportano tali informazioni:

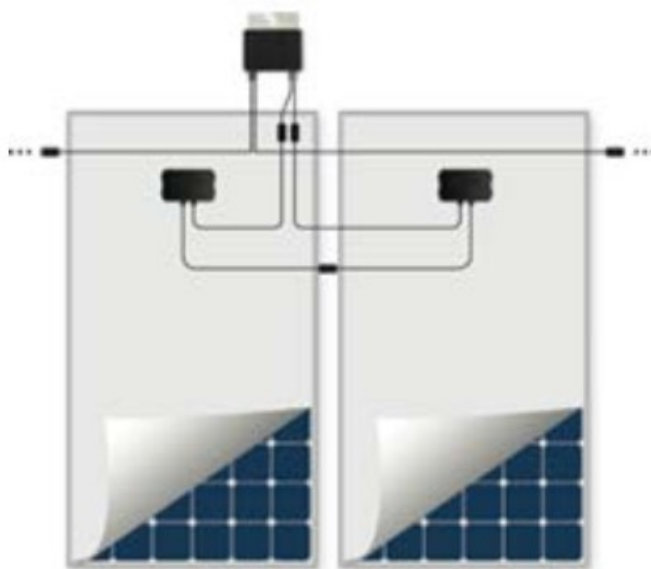
- Nome del costruttore
- Numero di serie
- Anno di costruzione
- Tensione di prova
- Tensione d'impiego
- Corrente d'impiego
- Corrente di cortocircuito
- Grado di protezione
- Dimensioni

5.7. Collegamenti DC e AC

I moduli FV da utilizzare saranno dotati di cavi solari, polo positivo e polo negativo, e lunghezza di circa 25 cm, completi di connettori tipo MC4 con grado di protezione IP65 ([Figura seguente](#)). Ciascuna stringa sarà collegata al Quadro stringhe, e da questo all' inverter, con cavi solari con guaina tipo H1Z2Z2-K, da posare in passerella in metallo. Il collegamento tra gli inverter, lato AC, e il DDG (Dispositivi di generatore), dovrà essere realizzato con cavi unipolari in rame, con guaina, tipo FG16OM16 0,6/1kV, con sezione 5G25 mm².

I cavi saranno posati affiancati ordinatamente nel rispetto del massimo coefficiente di stipamento previsto e contrassegnati ogni 20 m con targhetta in PVC fissata con collare plastico, indicante il tipo di impianto o di servizio. Nei tratti verticali ed inclinati i cavi saranno fissati alle canaline/passerelle mediante legatura o, dove possibile, con l'impiego di ancoraggi realizzati con morsetti su guaina, posti

con interdistanza massima di 1 m. I morsetti di serraggio saranno completi di sella di appoggio alle parti metalliche. Nel passaggio da un locale all'altro, saranno previsti diaframmi tagliafuoco. Nell'installazione delle passerelle metalliche per passaggio cavi in verticale su facciate esterne, sarà fissato il coperchio con apposito clamp o staffe di sicurezza per evitarne il distacco e la caduta. In tutti i casi in cui è previsto l'impiego di canaline sarà assicurata la continuità metallica.



Collegamento in serie degli ottimizzatori di potenza

5.8. Sistema di protezione di interfaccia e dispositivo di interfaccia (SPI e DDI)

L'interfaccia con la rete, sarà garantita dall'adozione di un apposito dispositivo di interfaccia (DDI) con il compito di garantire il rispetto degli standard qualitativi dell'energia elettrica prodotta dal sistema ed immessa nella rete. Il DDI, costituito da un contattore quadripolare 4P, conforme alla norma CEI EN 60947-4-1, dovrà avere le seguenti caratteristiche:

| | |
|--|------------|
| - Tensione nominale di impiego (U_e) | 400V AC |
| - Tipo circuito di controllo | AC a 50 Hz |
| - Tensione di comando (U_c) | 230V AC |
| - Potere di interruzione (P.I.) | 50 kA |
| - Corrente nominale (I_n) | 63 A |

Il DDI sarà associato ad una protezione di interfaccia esterna (PI), conforme alla norma CEI 0-21 con protezione di minima e massima tensione a doppia soglia, minima e massima frequenza a doppia soglia e sblocco voltmetrico.

La PI avrà le seguenti caratteristiche:

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| - Campo di funzionamento tensione da | 90 a 440V AC |
|--------------------------------------|--------------|

| | |
|---|--|
| - Frequenza nominale | 45/55 Hz |
| - Corrente nominale circuito di controllo (I _e) | da 1 a 5A (programmabile) |
| - Tensione nominale di alimentazione ausiliaria | da 100 a 400V AC |
| - Tensione nominale max in ingresso | da 50 a 500V AC |
| - Campo di misura | da 400 a 150000V |
| - Campo di frequenza | da 45 a 55 Hz |
| - Campo di misura corrente in ingresso | da 0,01 a 6A (scala 5A) |
| - Tipo di ingresso | con Shunt alimentati da trasformatore di corrente esterno max 5A |
| - Tipo di misura | RMS |
| - Limite termico di breve durata | 50A per 1s |

DDI e protezione di interfaccia (PI), saranno installati nello stesso QE di interfaccia impianto FV sopra descritto; all'interno dello stesso quadro, saranno installati i fusibili, tipo gG 10x38, per l'alimentazione della PI e il prelievo del segnale voltmetrico. La protezione (PI) e il circuito di alimentazione dell'interruttore destinato a dispositivo di interfaccia (DDI), saranno alimentati da apposito UPS, con potenza 1000 VA.

La protezione di interfaccia comprenderà i relè 27, 59, 81, 59IND, 27DIR e 59N (massima tensione omopolare); inoltre sarà predisposta per due ingressi logici per i segnali esterni di guardia, telescatto e attivazione delle soglie restrittive.

5.9. Impianto di messa a terra ed equipotenziale

L'impianto di messa a terra, a servizio del sistema fotovoltaico, dovrà essere realizzato in modo da conseguire i seguenti principali obiettivi:

- protezione delle persone dagli effetti della folgorazione dovuti a contatti indiretti sulle masse
- protezione delle persone dagli effetti della folgorazione dovuti a contatti indiretti sulle masse estranee
- efficienza dell'impianto nel tempo (sia al valore di resistenza che ai materiali)
- le correnti di guasto dovranno essere sopportate senza danno

In particolare esso sarà così realizzato:

- nodo equipotenziale di terra da installare nel QE impianto FV;
- conduttori di protezione in partenza dal collettore di terra, per il collegamento dell'inverter e delle cornici dei moduli FV;

- conduttore di protezione per il collegamento al nodo di terra del QE esistente.

Tutti i conduttori che si attesteranno sul collettore saranno identificati singolarmente con apposite targhette. Tutte le connessioni dovranno essere eseguite evitando il formarsi di corrosioni di origine elettrochimica pertanto, si farà uso di giunzioni rame/rame evitando in ogni modo l'accoppiamento rame/acciaio zincato. La minuteria di raccordo sarà in acciaio inossidabile. Tutte le connessioni saranno eseguite mediante morsetti adeguatamente dimensionati, sistemi meccanici (viti, bulloni, saldatura forte, etc.) atti a garantire la minima resistenza di contatto possibile e la massima durata nel tempo. Le connessioni soggette ad agenti atmosferici od altro saranno adeguatamente protette contro la corrosione. Le condutture realizzate con conduttori unipolari saranno costituite da apposito conduttore di protezione, del tipo FS17, a corda flessibile di rame con isolante in PVC, non propaganti l'incendio e la fiamma, di colore gialloverde, con sezione uguale a quella del corrispondente conduttore di fase, posati nelle stesse tubazioni sopra descritte. Sarà vietato l'impiego di conduttori di protezione non protetti meccanicamente con sezione inferiore a 4 mm²; il conduttore di neutro non potrà essere utilizzato come conduttore di protezione.

6. VERIFICHE DI COLLAUDO E DOCUMENTAZIONE FINALE

Prima della consegna e della messa in servizio dell'impianto FV, saranno eseguite le verifiche per accertare se l'impianto sia conforme alla regola dell'arte e al progetto, nonché alla rispondenza alle prescrizioni della norma CEI 64-8. Tali verifiche saranno eseguite secondo le indicazioni contenute nella norma CEI 64-8/6 e si articoleranno in:

- Esame a vista
- Misure e prove

In particolare l'esame a vista avrà lo scopo di accertare se i componenti dell'impianto fotovoltaico siano idonei all'uso previsto, integri ed installati correttamente e prevedrà i seguenti controlli principali:

Moduli

- Fissaggio dei moduli e delle strutture di sostegno
- Presenza di crepe, penetrazione di umidità, ecc.
- Integrità del PE e stato dei morsetti di terra
- Idoneità targhe e marcature

Cavi

- Tipo di cavo e posa
- Identificazione dei circuiti

Quadri e scatole di derivazione

- Installazione come da progetto
- Idoneità e serraggio morsetti
- Integrità del PE e stato dei morsetti di terra
- Idoneità targhe e marcature

Inverter

- Corretta installazione
- Segnalazioni di corretto funzionamento, allarme o avaria
- Collegamenti alle stringhe e ai quadri intermedi
- Ventilazione
- Idoneità targhe e marcature

Controlli generali

- Marcatura CE dei componenti dell'impianto
- Idoneità dei componenti all'ambiente di installazione
- Metodi di protezione contro i contatti diretti ed indiretti
- Caduta di tensione delle linee

- Metodi di protezione contro i sovraccarichi e cortocircuiti
- Dispositivi di sezionamento o di comando
- Tensione nominale d'isolamento dei cavi
- Sezioni minime dei conduttori
- Identificazione dei conduttori di neutro e di protezione
- Idoneità delle connessioni dei conduttori
- Dimensioni minime dei conduttori di protezione ed equipotenziali
- Messa a terra di masse e masse estranee

Le misure saranno eseguite in condizioni meteorologiche stabili, ad evitare repentini cambiamenti dell'irraggiamento solare; dovranno essere, inoltre, evitate le ore più calde della giornata, poiché le elevate temperature riducono il rendimento dell'impianto, e le giornate particolarmente umide, in quanto il vapore acqueo in sospensione nell'aria aumenta l'irraggiamento diffuso, a discapito di quello diretto. Prima di mettere in servizio l'impianto, saranno eseguite, innanzitutto, le seguenti prove:

- Verifica delle tensioni e correnti di stringa
- Misura dell'isolamento dei circuiti
- Verifica dei collegamenti equipotenziali

Quindi si procederà a procedere con le prove di avviamento e mancanza rete dell'inverter e una volta avviato l'impianto, misure di potenza.

Infine, si eseguiranno le seguenti misure e prove di carattere generale:

- Misura della resistenza d'isolamento dell'impianto elettrico
- Misura del tempo e della corrente differenziale d'intervento degli interruttori differenziali
- Misura della resistenza di terra
- Prove di polarità
- Prove di funzionamento

L'installatore fornirà la dichiarazione di conformità degli impianti installati alla regola d'arte, sottoscritta dal titolare o legale rappresentante dell'impresa, così come disposto dal DM 37/08; la dichiarazione sarà fornita insieme agli allegati obbligatori e al progetto costruttivo (As built) dell'opera completo degli schemi elettrici e di tutte le tavole grafiche.

7. DESCRIZIONE DELLE OPERE DA REALIZZARE

7.1. Descrizione sommaria dell'intervento

La protezione sarà ottenuta mediante l'isolamento delle parti attive (in generale per cavi), rimovibile solo con la distruzione (art. 412.1, norma CEI 64-8/4), oppure mediante involucri o barriere (in generale per apparecchiature di comando, protezione e manovra, morsettiere e apparecchi utilizzatori), rimovibili solo con l'uso di una chiave o di un attrezzo (art. 412.2, norma CEI 64-8/4), costruiti in modo tale da realizzare comunque un grado di protezione non inferiore a IP4X. Inoltre, saranno adottate misure di protezione aggiuntive mediante l'installazione di interruttori differenziali con corrente differenziale di intervento non superiore a 30 mA, a protezione di circuiti terminali (art. 412.5.1, norma CEI 64-8/4).

7.2. Protezione contro le correnti di sovraccarico

Saranno utilizzati dispositivi di protezione delle condutture contro i sovraccarichi con caratteristiche di funzionamento tali da rispondere alle seguenti due condizioni (art. 433.2, norma CEI 64-8/4):

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

dove:

| | |
|-------|---|
| I_B | corrente di impiego del circuito |
| I_n | corrente nominale del dispositivo di protezione |
| I_z | portata in regime permanente della conduttura |
| I_f | corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite |

Per il rispetto della prima condizione, calcolata la I_B in base ai dati forniti dal committente relativi alle potenze degli utilizzatori, per ogni circuito è stata determinata la sezione del cavo che abbia la portata effettiva superiore alla corrente nominale del dispositivo di protezione. Per quanto riguarda il rispetto della seconda condizione, nel caso di interruttori automatici conformi alla norma CEI 23-3/1, la corrente di funzionamento è pari a $1,45 I_n$, quindi tale condizione è sempre verificata.

7.3. Protezione contro le correnti di cortocircuito

Saranno utilizzati dispositivi di protezione in grado di interrompere la corrente di cortocircuito prima che essa diventi pericolosa per gli effetti termici e meccanici provocati nei conduttori e nelle relative connessioni (art. 434.1, norma CEI 64-8/4). Pertanto:

- il potere di interruzione non dovrà essere inferiore al valore della corrente presunta di cortocircuito nel punto dell'impianto in cui il dispositivo è posto (art. 434.3.1, norma CEI 64-8/4)

- il dispositivo di protezione dovrà intervenire in un tempo inferiore a quello che farebbe assumere al conduttore una temperatura superiore al valore limite ammissibile, qualunque sia il punto della condotta in cui il guasto si manifesta (art. 434.3.2, norma CEI 64-8/4)

In particolare, con riferimento alla prima condizione, la protezione contro le correnti di cortocircuito è garantita da dispositivi ad intervento automatico che soddisfano la seguente relazione:

$$I_{cc} \leq P.I.$$

dove:

I_{cc} corrente di cortocircuito trifase presunta nel punto d'installazione del dispositivo di protezione

P.I. potere d'interruzione del dispositivo di protezione

Dal momento che i dispositivi di protezione adottati sono del tipo automatico magnetotermico (protezione contro i sovraccarichi + cortocircuiti), la condizione di protezione dal cortocircuito a fondo linea è sicuramente soddisfatta (art. 533.3, norma CEI 64-8/5). Per quanto riguarda il rispetto della seconda condizione, è stata verificata, con esito positivo, la seguente relazione:

$$I^2t \leq K^2 S^2$$

dove:

I^2t è l'energia specifica lasciata passare dall'interruttore (dato fornito dal costruttore)

K è una costante caratteristica dei cavi che dipende sia dal materiale conduttore che dal tipo di isolante (115 per conduttori in rame con isolante in PVC, 135 per conduttori in rame con isolante in gomma G2 e 143 per conduttori in rame con isolante in EPR/XLPE)

S è la sezione del cavo in mm²

7.4. Calcolo della caduta di tensione

La caduta di tensione tra l'origine dell'installazione e il punto di utilizzazione dell'energia elettrica non supera il 4% della tensione nominale dell'impianto (sezione 525, norma CEI 64-8/5). Il calcolo di verifica è stato effettuato tenendo conto delle caratteristiche dei cavi, adottando i valori di resistenza e reattanza fornite dai costruttori e comunque verificando che essi siano in accordo con le tabelle CEI UNEL 35023. La formula adottata per la verifica è la seguente:

$$\Delta V = K I_B L (r \cos \varphi + x \sin \varphi)$$

ed in percentuale:

$$\Delta V \% = \Delta V / U_n 100$$

dove:

K è un fattore di tensione pari a 2 nei sistemi monofase e $\sqrt{3}$ nei sistemi trifase
I_B è la corrente nel cavo
L è la lunghezza della linea
r è la resistenza di un chilometro di cavo
x è la reattanza di un chilometro di cavo
cos φ è il fattore di potenza del carico
U_n è la tensione nominale dell'impianto

7.5. Misure di protezione contro i contatti indiretti

Il criterio di protezione adottato è quello indicato nell'art. 413.1.3.3 della norma CEI 64-8/4, il quale prescrive che le caratteristiche dei dispositivi di protezione e le impedenze dei circuiti devono essere tali che, se si presenta un guasto di impedenza trascurabile in qualsiasi parte dell'impianto tra un conduttore di fase e un conduttore di protezione o una massa, l'interruzione automatica dell'alimentazione avvenga entro il tempo specificato nella tabella 41A della norma, soddisfacendo la seguente condizione:

$$Z_s I_a \leq U_0$$

dove:

Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto in ohm, che comprende la sorgente, il conduttore attivo fino al punto di guasto ed il conduttore di protezione tra il punto di guasto e la sorgente;
I_a è la corrente che provoca l'interruzione automatica del dispositivo di protezione entro il tempo definito nella tabella 41A in funzione della tensione nominale verso terra U₀ oppure, nelle condizioni specificate in 413.1.3.5, entro un tempo convenzionale non superiore a 5 s; se si usa un interruttore differenziale I_a è la corrente differenziale nominale I_{Δn};
U₀ è la tensione nominale in c.a., valore efficace tra fase e terra.

Dalle tabelle di calcolo tale protezione è risultata sempre soddisfatta.

7.6. Idoneità dei componenti all'ambiente di installazione

Si dovrà garantire la sicurezza ed il corretto funzionamento dei componenti elettrici in relazione alla loro scelta ed installazione.

Pertanto:

- il modo di posa delle condutture, in funzione dei cavi o condotti sbarre, sarà conforme alle disposizioni delle relative norme
- le sezioni minime dei conduttori saranno di 1,5 mm², per i circuiti di potenza e 0,5 mm², per i circuiti di segnalazione e per i circuiti ausiliari di comando (norma CEI 64-8/5, art. 524.1)
- il conduttore di neutro avrà la stessa sezione dei conduttori di fase nei circuiti monofase, qualunque sia la sezione dei conduttori, e nei circuiti trifase quando la sezione è uguale o inferiore a 16 mm² (norma CEI 64-8/5, art. 524.2 e art. 524.3)
- i conduttori di sistemi a tensioni diverse posati nella stessa conduttura, avranno l'isolamento idoneo per la tensione maggiore
- le condutture elettriche, installate vicino a fonti di calore o di condensa, saranno adeguatamente protette dagli effetti dannosi
- le condutture saranno protette da eventuali danneggiamenti meccanici
- la modalità di posa sarà conforme a quanto previsto nella norma CEI 11-17
- i mezzi di connessione saranno idonei in relazione alle caratteristiche dei conduttori e le connessioni saranno realizzate correttamente, tenendo conto delle norme CEI specifiche (norma CEI 64-8/5, sez. 526)
- le connessioni saranno realizzate in involucri che le proteggano adeguatamente e che saranno accessibili per l'ispezione (norma CEI 64-8/5, art. 526.2)
- le cassette di derivazione saranno ispezionabili, apribili con attrezzo e consentiranno un corretto stipamento di cavi e di morsetti

7.7. Scelta dei cavi

I cavi da impiegare saranno conformi al regolamento UE n. 305/2011, riguardante la commercializzazione dei prodotti da costruzione (detto anche regolamento CPR) e alle relative norme tecniche UNI-EN 13501-6, CEI UNEL 35016, EN 60332-1-2, EN 50399 e in base alla norma CEI 64-8, sono stati scelti i cavi impiegati. Si riporta di seguito sigle e caratteristiche dei cavi utilizzabili:

- H1Z2Z2-K (cavo per impianti fotovoltaici) con classe Eca
- FS17 450/750V (unipolari senza guaina) con classe Cca-s3, d1, a3

- FG16R16 0,6/1kV (unipolari e/o multipolari con guaina) con classe Cca-s3, d1, a3

7.8. Misure di prevenzione

Saranno esposti appositi cartelli di segnalazione ([Figura 1](#)), conformi al DLgs 81/08, nei seguenti luoghi:

- nell'area in cui è ubicato l'impianto fotovoltaico
- in corrispondenza di tutti i varchi di accesso del fabbricato



Figura 1– Cartello di segnalazione della presenza di un generatore fotovoltaico

Per limitare l'eventuale pericolo di elettrocuzione cui può essere esposto l'operatore VVF per la presenza di elementi circuitati in tensione, l'uso degli ottimizzatori sarà particolarmente utile. Infatti, tali dispositivi garantiranno la riduzione automatica della tensione continua del modulo a 1V DC, all'arresto dell'inverter o della rete e, quindi, anche all'attivazione del comando di emergenza.

7.9. Comando di emergenza

La presenza dell'impianto FV in copertura non dovrà comportare un aggravio del livello di rischio di incendio all'edificio, pertanto, in via del tutto cautelativa, **si consiglia** di prevedere un comando di emergenza per mettere fuori tensione tutti i circuiti alimentati dal generatore fotovoltaico.

In particolare il comando di emergenza, sarà costituito da un pulsante sottovetro di tipo onnipolare ([Figura 2](#)), segnalato con apposito cartello, e dovrà comandare l'apertura contemporanea degli interruttori di stringa o di sottocampo, installati nei quadri di campo e dell'interruttore generale d'impianto, installato nel QE generale.



Figura 2– Pulsante sottovetro per comando di emergenza con cartello di segnalazione

Il pulsante di cui sopra sarà installato preferibilmente in prossimità dell'ingresso della proprietà e sarà ripetuto nei pressi della copertura e della cabina elettrica ospitante gli inverter, salvo diverse disposizioni future. Il circuito di comando prevede l'utilizzo di bobine di apertura a lancio di corrente, da associare ai rispettivi interruttori, con la necessità di monitorare l'efficienza (continuità e cortocircuito) del circuito di sgancio.

A tal scopo saranno utilizzati appositi dispositivi per il controllo permanente del circuito di sgancio, con attivatore per apertura emergenza interruttori con bobina a lancio di corrente e pulsanti o contatti normalmente chiusi. Il dispositivo di controllo realizzerà così una linea di ingresso controllata per pulsanti o contatti normalmente chiusi e l'uscita con contatto normalmente aperto con controllo di continuità ed efficienza circuito. Il sistema di controllo avrà le seguenti caratteristiche:

- Pulsanti e contatti utilizzati normalmente chiusi con alimentazione a bassissima tensione per maggiore sicurezza e per evitare problematiche funzionali con linee lunghe;
- Controllo attivo con segnalazione di interruzione o corto circuito della linea pulsanti
- Possibilità di utilizzare molti pulsanti (di cui 5 con controllo totale)
- Uscite per comando interruttore, uscita segnalazione allarme ed uscita di sicurezza
- Controllo della linea di uscita verso la bobina di apertura con controllo di continuità
- Insensibilità alle interruzioni di rete senza utilizzo di batterie
- Selezione numero pulsanti o contatti
- Selezione funzione di apertura o allarme in caso di guasto linea pulsanti e/o linea bobina

- Alimentazione isolata e stabilizzata insensibile alle microinterruzioni
- Controllo di presenza tensione ausiliaria

Sotto il profilo cronologico degli interventi, l'impianto fotovoltaico sarà predisposto con le bobine di comando a lancio di corrente, sia lato DC che lato AC, che potranno eventualmente essere inserite nel circuito del comando di emergenza. In particolare, la logica di azione del comando terrà conto del fatto che la disattivazione delle linee elettriche, sia lato DC che lato AC, dovrà avvenire nel punto che precede l'ingresso delle linee stesse nel fabbricato. Questa logica richiederà l'installazione delle bobine di comando sia nei quadri di campo che nei quadri lato rete, ogni volta che le linee di riferimento seguiranno un percorso che ne condurrà il transito all'interno del fabbricato ospitante ed adiacente. La progettazione e la realizzazione del circuito del comando di emergenza riguarda gli impianti elettrici nella loro integrità dell'intero stabilimento e deve tenere conto anche delle procedure aziendali di gestione delle emergenze. Proprio per questo, il comando di emergenza non può essere ridotto ad agire solo su una parte di tali impianti, come il solo impianto fotovoltaico.

8. PROTEZIONE CONTRO LE SOVRATENSIONI

8.1. Premessa

E' stata valutata la protezione contro le sovratensioni indotte lato DC, allo scopo di proteggere le apparecchiature da installare (Inverter e moduli FV) ed evitare la mancata produzione di energia elettrica per un eventuale danno all'impianto. In particolare le apparecchiature da proteggere dell'impianto fotovoltaico sono:

- gli inverter
- il generatore fotovoltaico
- le apparecchiature per il controllo e monitoraggio

Le tensioni di tenuta ad impulso (U_w) delle apparecchiature, considerate ai fini della valutazione del rischio, sono:

| | $U_{ocstc} \leq 213 \text{ V}$ | $U_{ocstc} \leq 424 \text{ V}$ | $U_{ocstc} \leq 849 \text{ V}$ | $U_{ocstc} \leq 1500 \text{ V}$ |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Modulo FV | 2,5 kV | 4 kV | 6 kV | 8 kV |
| Inverter: interfaccia in c.c | | 2,5 kV | 4 kV | 6 kV |
| Inverter: interfaccia in c.a | 4 kV | | | |

La protezione contro le sovratensioni indotte dell'impianto FV sarà attuata mediante:

- schermatura di tutti i circuiti per ridurre il campo magnetico
- opportuna disposizione dei circuiti per ridurre l'area della spira del circuito indotto
- utilizzo di SPD, lato DC e lato AC, per scaricare verso terra le sovratensioni

8.2. Schermatura e disposizione dei circuiti

Per ridurre le sovratensioni indotte, ed in particolare quelle trasversali (tra i conduttori), si dovranno collegare in modo opportuno i moduli FV tra loro (Figura 3 e Figura 4) e intrecciare i conduttori (twistati).

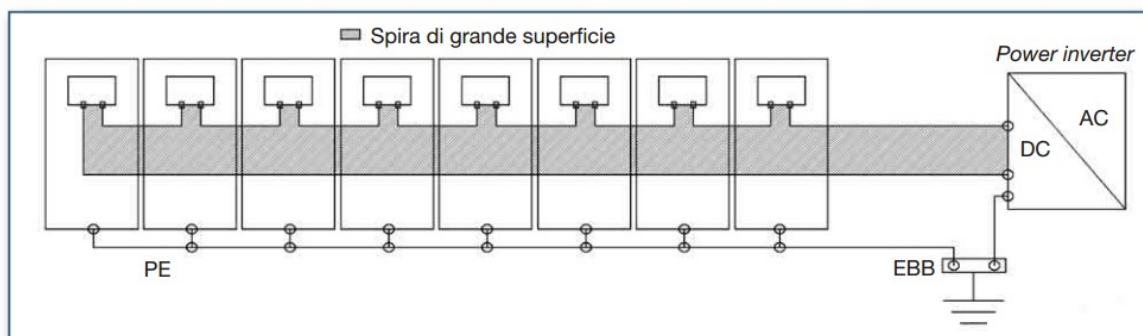


Figura 3 - Area della spira grande con conseguente sovratensione elevata

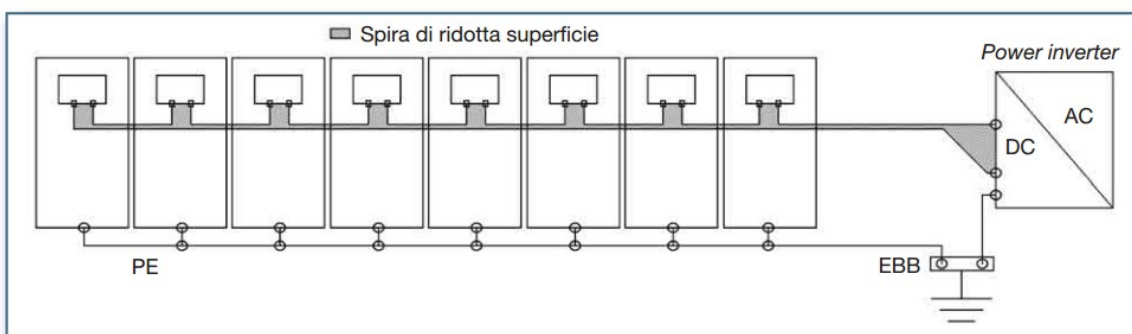


Figura 4 - Riduzione dell'area della spira con conseguente riduzione della sovratensione

8.3. Protezione con SPD lato DC

La massima tensione del generatore fotovoltaico è $1,25 U_{oc}$ (V): 1000

L'inverter ha le seguenti caratteristiche:

- tensione di tenuta ad impulso U_{wi} (V): 2500
- coefficiente di sicurezza: 1

I moduli (classe 1) presentano le seguenti caratteristiche:

- tensione di tenuta ad impulso U_{wm} (V): 2500
- coefficiente di sicurezza: 1

L'SPD è installato ai morsetti dell'inverter.

9. CALCOLI ESECUTIVI DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA LATO DC

9.1. Protezione contro le sovracorrenti dei circuiti lato DC

Per il collegamento delle stringhe al Quadro stringhe e tra questo e gli inverter, saranno utilizzati cavi H1Z2Z2-K di sezione 6 mm², posati in passerelle in metallo.

I cavi hanno una portata I_0 in aria libera, ad una temperatura di 70°C, di 121A, che, considerata la condizione di posa con 4 circuiti in fascio nella medesima passerella, vale:

$$I_z = k_2 0,8 I_0 = 0,57 \times 0,8 \times 90 = 41,04 \text{ A}$$

Il fattore di correzione k_2 , tiene conto degli altri circuiti posati in fascio nella stessa passerella, mentre il fattore di riduzione 0,8 tiene conto della riduzione della portata del 20% per posa in canale.

La portata dei cavi I_z è maggiore della corrente di cortocircuito massima delle stringhe ($1,25 I_{sc} = 1,25 \times 11,41 = 14,26 \text{ A}$) e i moduli tollerano una corrente inversa di $28,52 > 14,26$ ($2,5 I_{sc} = 2,5 \times 11,41 = 28,52 \text{ A}$).

9.2. Caduta di tensione circuiti lato DC

In corrente continua la caduta di tensione % corrisponde alla perdita di potenza percentuale. Infatti poiché la caduta di tensione corrisponde a $\Delta V = R I$, la perdita di potenza percentuale può essere calcolata come segue:

$$\Delta P\% = \frac{R * I^2}{V * I} * 100 = \frac{R * I * I}{V * I} * 100 = \frac{R * I}{V} * 100 = \frac{\Delta V}{V} * 100 = \Delta V\%$$

Per questa ragione, ai fini del dimensionamento dei cavi, lato DC, si è considerato:

$$\Delta P\% = \Delta V\% \leq 2\%$$

Inoltre, per calcolare la caduta di tensione sul lato DC si osserva che poiché:

$$P = V * I = R * I^2$$
$$I = \frac{P}{V} = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$\Delta U\% = 100 * \rho \frac{L}{S} * \frac{P}{U^2}$$

Risulta:

$$\Delta U\% = 100 * \frac{R * I}{U} = 100 * R * \frac{I}{U} = 100 * \rho \frac{L}{S} * \frac{P}{U} = 100 * \rho * \frac{L}{S} * \frac{P}{U} * \frac{1}{U} = 100 * \rho * \frac{L}{S} * \frac{P}{U^2}$$

E quindi:

$$\Delta U\% = 100 * \rho * \frac{L}{S} * \frac{P}{U^2}$$

Per la valutazione della caduta di tensione si è fatto riferimento alla lunghezza media dei cavi che collegano le stringhe all'inverter, attraverso il quadro di campo:

- connessioni tra i moduli che compongono la stringa (cavo di sezione $S_1 = 6 \text{ mm}^2$) $L_1 = 25 (1+1) \text{ m} = 25 \text{ m}$

Considerando la tensione di stringa $U = 750\text{V DC}$ (imposta dall'inverter), la resistività del rame $\rho_1 = 0,021 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ $70 \text{ } ^\circ\text{C}$ e $\rho_2 = 0,018 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ $30 \text{ } ^\circ\text{C}$, la caduta di tensione media $\Delta U\%$ fino al Quadro stringhe, quando i moduli erogano la potenza massima $P_{\text{max}} = 15,925 \text{ kW}$ (con), risulta:

$$\Delta U\% = 100 (\rho_1 L_1/S_1 + \rho_2 L_2/S_2) P_{\text{max}}/U^2 = \\ 100 (0,021 \times 50 / 16 + 0,018 \times 250 / 16) 15925 / 750^2 = 1,0 \%$$

La caduta di tensione media $\Delta U\%$ dal Quadro stringhe all'inverter, con $P_{\text{max}} = 15,925 \text{ W}$ e tensione di stringa $U = 750\text{V DC}$, risulta:

$$\Delta U\% = 100 (\rho_1 L_3/S_3) P_{\text{max}}/U^2 = \\ 100 (0,018 \times 5 / 16) 15,925 / 750^2 = 0,00 \%$$

Complessivamente, la caduta di tensione e quindi le perdite per effetto Joule sul lato DC risultano pari a **1,0 %**.

10. IMPIANTI AC

Il dimensionamento dei cavi e la scelta degli interruttori sono stati effettuati nel rispetto delle norme vigenti e più dettagliatamente secondo i criteri che seguiranno. Il calcolo di dimensionamento dell'impianto è stato eseguito con l'ausilio di calcoli computerizzati. Per maggiori dettagli consultare l'elaborato grafico "Schemi unifilari quadri elettrici facente parte della presente progettazione".

11. ISTRUZIONI PER L'USO E LA MANUTENZIONE DELL'IMPIANTO

In conformità a quanto previsto dal DM 37/08, art. 8, comma 2, si allegano le istruzioni che l'utente dovrà seguire per un corretto uso e manutenzione dell'impianto. L'impianto fotovoltaico costituisce un impianto di produzione dell'energia elettrica e, pur eseguito a regola d'arte, è pericoloso come tutti gli impianti elettrici. Anzi, è più pericoloso, perché di giorno la luce del sole determina la presenza di una tensione pericolosa nei circuiti a seguito dell'effetto fotoelettrico ed è impossibile mettere fuori tensione l'impianto. Ciò implica che la zona dell'impianto fotovoltaico (moduli fotovoltaici, inverter, quadri elettrici e condutture elettriche) deve essere accessibile soltanto a persone qualificate nel settore elettrico. In mancanza di una adeguata manutenzione, il livello di sicurezza dell'impianto fotovoltaico può decadere nel tempo, a causa del naturale decadimento dei materiali isolanti esposti alle intemperie, con pericolo di folgorazione e di incendio. Nel tempo può decadere anche la funzionalità dell'impianto e la conseguente produzione di energia elettrica (kWh/anno) da cui dipende la remunerazione del capitale investito e il successivo guadagno. L'utente non si accorge in genere di un'avaria nell'impianto fotovoltaico, poiché continua a ricevere ugualmente energia dalla rete pubblica per il suo fabbisogno. E' quindi consigliabile stipulare un contratto di manutenzione periodica, almeno una volta all'anno, con una impresa installatrice abilitata per gli impianti elettrici ai sensi del DM 37/08, in modo da garantire mediante opportune verifiche e prove, l'effettivo stato dell'impianto fotovoltaico e provvedere a ristabilire, con eventuali interventi mirati, il necessario livello di funzionalità e di sicurezza.

Schede di manutenzione

| Codice intervento | Descrizione intervento | Frequenza intervento |
|-------------------|--|----------------------|
| QE | QUADRI ELETTRICI | |
| QE-01 | CONTROLLO VISIVO: <ul style="list-style-type: none">• eseguire il controllo visivo esterno per verificare l'integrità dell'apparecchiatura• ove accessibili, eseguire il controllo visivo delle condutture di alimentazione | 1 anno |
| QE-02 | QUADRO: <ul style="list-style-type: none">• eseguire la pulizia interna ed esterna• controllare lo stato di conservazione delle strutture di protezione contro | 1 anno |

| | | |
|-------|---|--------|
| | i contatti diretti <ul style="list-style-type: none"> • controllare il serraggio dei bulloni e pulire le connessioni • verificare la continuità dei conduttori di messa a terra delle strutture metalliche e delle apparecchiature installate • sostituire i morsetti e i conduttori deteriorati • verificare l'efficienza dei dispositivi di blocco che impediscono l'accesso alle parti in tensione • verificare il serraggio delle connessioni di potenza; • controllare ed eventualmente sostituire le guarnizioni delle porte | |
| QE-03 | CONTROLLO COMPONENTI DI POTENZA: <ul style="list-style-type: none"> • eseguire la pulizia dei componenti soffiando aria secca a bassa pressione e usando stracci puliti ed asciutti • controllare lo stato di usura dei contatti fissi, mobili e spegniarco (ove esistenti), avendo cura di eliminare ossidazioni, bruciature o perlinature usando tela smeriglio fine e antiossidante • verificare che i setti di separazione tra le fasi siano integri e fissati • verificare l'efficienza della bobina e il suo ancoraggio e che non presenti segni di surriscaldamento • verificare la funzionalità e l'efficienza dei contatti ausiliari e delle bobine • controllare lo stato di conservazione dei conduttori elettrici • eseguire il serraggio dei morsetti • effettuare qualche manovra e verificare con il tester l'effettivo stato dei circuiti di potenza (aperto / chiuso) e delle bobine (eccitata / diseccitata) | 1 anno |

| Codice intervento | Descrizione intervento | Frequenza intervento |
|-------------------|--|----------------------|
| QE-04 | VERIFICA PROTEZIONI: <ul style="list-style-type: none"> • effettuare il controllo visivo del buono stato di conservazione delle protezioni • per i fusibili verificare le caratteristiche elettriche di progetto • per i relè verificare le tarature di sovraccarico di progetto • per gli interruttori automatici verificare le tarature e le caratteristiche elettriche di progetto • per le protezioni di tipo indiretto verificare il corretto intervento delle protezioni di massima corrente e di terra utilizzando l'apposito strumento • prima della messa in tensione verificare che i circuiti amperometrici siano chiusi • per i relè e gli interruttori differenziali verificare il corretto intervento utilizzando l'apposito strumento | 6 mesi |
| QE-05 | VERIFICA AUSILIARI ELETTRICI: <ul style="list-style-type: none"> • controllare il serraggio dei collegamenti elettrici dei circuiti ausiliari • controllare l'integrità degli interruttori verificandone con il tester l'effettiva apertura e chiusura • controllare l'integrità, la funzionalità e l'efficienza di commutatori, pulsanti, lampade, etc. verificando che vengano abilitati i circuiti previsti dal progetto | 1 anno |

| | | |
|--|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none">• controllare l'integrità e la funzionalità degli strumenti di misura agendo sui commutatori di tensione per i voltmetri e sulla variazione di carico per gli amperometri• verificare l'efficienza delle apparecchiature ausiliare alimentandole e disalimentandole, ove possibile, o effettuare la verifica con il tester | |
|--|---|--|

Schede di manutenzione

| Codice intervento | Descrizione intervento | Frequenza intervento |
|-------------------|--|----------------------|
| PV | IMPIANTO FOTOVOLTAICO | |
| PV-01 | PULIZIA MODULI FOTOVOLTAICI: <ul style="list-style-type: none"> • lavaggio moduli con getto d'acqua a pressione e detersivo non abrasivo, evitando l'accumulo di acqua sui moduli | 6 mesi |
| PV-02 | CONTROLLO VISIVO: <ul style="list-style-type: none"> • controllare il serraggio delle bullonerie di ancoraggio dei moduli fotovoltaici alla struttura e di questa alla sottostruttura • verificare fissaggio e stato dei morsetti dei cavi di collegamento dei moduli • verificare la tenuta stagna della scatola dei morsetti | 6 mesi |
| PV-03 | CONTROLLO STATO DI CONSERVAZIONE: <ul style="list-style-type: none"> • eseguire il controllo visivo per verificare l'integrità dei moduli fotovoltaici • sostituire i componenti che presentano evidenti segni di ossidazione o corrosione | 6 mesi |
| PV-04 | CONTROLLO RENDIMENTI: <ul style="list-style-type: none"> • verifica della produzione dell'impianto in funzione dell'irraggiamento istantaneo mediante solarimetro | 6 mesi |