

COMUNE DI GERENZAGO

Provincia di Pavia

Realizzazione di un impianto fotovoltaico da 19,2 kW

presso il centro sportivo di Via Inverno, nel Comune di Gerenzago PV

▪

Relazione tecnica

PROGETTO ESECUTIVO

DATA:

18 luglio 2011

IL PROGETTISTA

Ing. Mario Gamberale



A circular professional stamp in blue ink. The text inside the stamp reads: 'INGEGNERI ROMA N. 20116'. The name 'MARIO GAMBERALE' is written around the perimeter of the stamp. Below the stamp is a handwritten signature in blue ink that appears to read 'Mario Gamberale'.

INDICE DEGLI ARGOMENTI

1. DESCRIZIONE STRUTTURA DA SOLARIZZARE	3
2. DATI CLIMATICI	4
2.1 Dati di irraggiamento.....	4
3. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO	5
3.1 Connessione elettrica alla rete.....	5
3.2 Moduli fotovoltaici	5
3.3 Convertitore CC/CA	6
3.4 Campo fotovoltaico	9
4. VERIFICHE DI PROGETTO.....	12
5. CARATTERIZZAZIONE DELL'IMPIANTO ELETTRICO.....	12
5.1 Configurazione elettrica del generatore fotovoltaico	12
5.2 Dimensionamento cavi.....	12
5.3 Quadri elettrici	13
5.4 Cablaggio elettrico	13
5.5 Quadri e consegna dell'energia.....	14
5.6 Protezione Impianto.....	14
6. ASSEMBLAGGIO DELL'IMPIANTO.....	16
7. VERIFICA DI STATICITÀ	17
8. REQUISITI DI RISPONDEZZA A NORME, LEGGI, REGOLAMENTI.....	20
9. ELEMENTI PER LA SICUREZZA	20
10. PIANO DI MANUTENZIONE.....	21
11. TERMINOLOGIA.....	21
12 ALLEGATI.....	22

1. DESCRIZIONE STRUTTURA DA SOLARIZZARE

La struttura sportiva presso la quale l'amministrazione di Gerenzago intende installare un impianto fotovoltaico per soddisfarne il fabbisogno di energia elettrica si estende su una superficie di circa 18.700 m² di forma rettangolare delle dimensioni di circa 115 m x 160 m.

La struttura ospita diverse attrezzature sportive, principalmente:

- un campo da calcio di dimensioni regolamentari
- 2 campi da tennis
- 2 piscine all'aperto
- una pista di pattinaggio
- un campo di bocce

A servizio delle suddette strutture, al centro dell'area, si trova un edificio che ospita gli spogliatoi, il bar e la biglietteria; infine un parcheggio esterno riservato ai frequentatori del centro, volumi tecnici per la centrale termica e il deposito dei materiali, oltre naturalmente a spazi di pertinenza e di collegamento pedonale tra i singoli campi.

Come ubicazione ideale per l'impianto fotovoltaico è stato individuato il tetto dell'edificio che ospita la biglietteria e gli spogliatoi per gli utenti delle due piscine. La scelta presenta diversi vantaggi: dal punto di vista della produttività grazie alla totale assenza di ombreggiamenti e alla possibilità di posizionare i moduli secondo l'inclinazione ottimale trattandosi di copertura piana); dal punto di vista dell'impatto visivo, rimanendo l'impianto nascosto alla vista del pubblico; infine della sicurezza, dal momento che il fabbricato si trova in posizione assolutamente centrale rispetto all'intero centro sportivo e quindi controllabile molto facilmente. L'edificio risulta articolato in due corpi, sfalsati tra loro, che ospitano rispettivamente il bar con la biglietteria e gli spogliatoi, si sviluppa su un solo livello per un'altezza totale di circa 4 metri e presenta una copertura piana (*All.1 – documentazione fotografica*), non praticabile. Dal punto di vista strutturale presenta un'intelaiatura in cemento armato e tamponamenti con muratura in laterizio, e rivestimento in pietra locale.

La superficie della copertura è rivestita con una guaina impermeabilizzante in ottimo stato di conservazione e presente diversi lucernari che si aprono nel corpo adibito agli spogliato. Nonostante la presenza dei lucernari, la superficie sfruttabile per la collocazione dell'impianto fotovoltaico rimane comunque significativa e permette l'installazione di una potenza pari a 19,2 kWp (si veda il capitolo 3). L'impianto occuperà un'area di circa 350 m² su 500 m² circa di superficie totale della copertura.



Fig. 1 – localizzazione dell'edificio da solarizzare

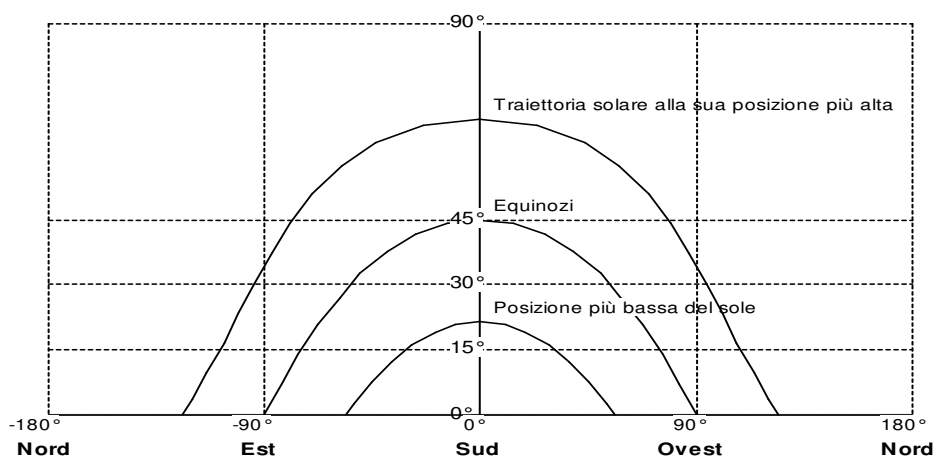


Fig. 2 – Grafico che indica la totale assenza di ombreggiature sul piano della copertura sulla quale verrà collocato l'impianto (elaborato con il software PV Sol 3.0)

2. DATI CLIMATICI

2.1 Dati di irraggiamento

DATI CLIMATICI E DI IRRAGGIAMENTO	
Regione	Lombardia
Provincia	Pavia
Comune	Gerenzago
Zona climatica	E
Gradi Giorno	2623
Altitudine	75 slm
Latitudine	45°12'27"00 N
Longitudine	09°21'38"52 E
Orientamento sup. fv da installare (azimut)	SUD (azimut 0°)
Inclinazione sup. fv da installare (tilt)	20°
Irraggiamento medio giornaliero (su sup. orizz)	3,49 kWh/m ²
Irraggiamento medio annuo (su sup. orizz)	1.280 kWh/m ²

Tabella 1 – Dati climatici e irraggiamento (* dati desunti dal software PVgis)

3. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO

3.1 Connessione elettrica alla rete

L'impianto fotovoltaico si collegherà in parallelo alla rete di bassa tensione dell'utente produttore, con un valore di tensione di alimentazione di 230/400V trifase (BTMF 3x230[400]V, 5-40A, 50Hz), configurato in scambio sul posto secondo le disposizioni della Delibera ARG/elt 74/08.

L'utenza farà un contratto in 'conto energia' per ogni kWh prodotto dall'impianto, per un periodo di 20 anni. La tariffa dell'incentivo sarà quella prevista per gli edifici pubblici e corrisponde al massimo ottenibile per questa taglia di impianto. Di questa energia prodotta la maggior parte verrà assorbita dalla stessa utenza, pertanto la tipologia di contratto prevederà lo "scambio sul posto".

Deve essere presente la rete di terra ai sensi della norma CEI 64-8/3 e la protezione contro le scariche atmosferiche (norma CEI 81-1: "Protezione delle strutture contro i fulmini").

Nella figura 3 si riporta lo schema a blocchi per impianti FV collegati alla rete:

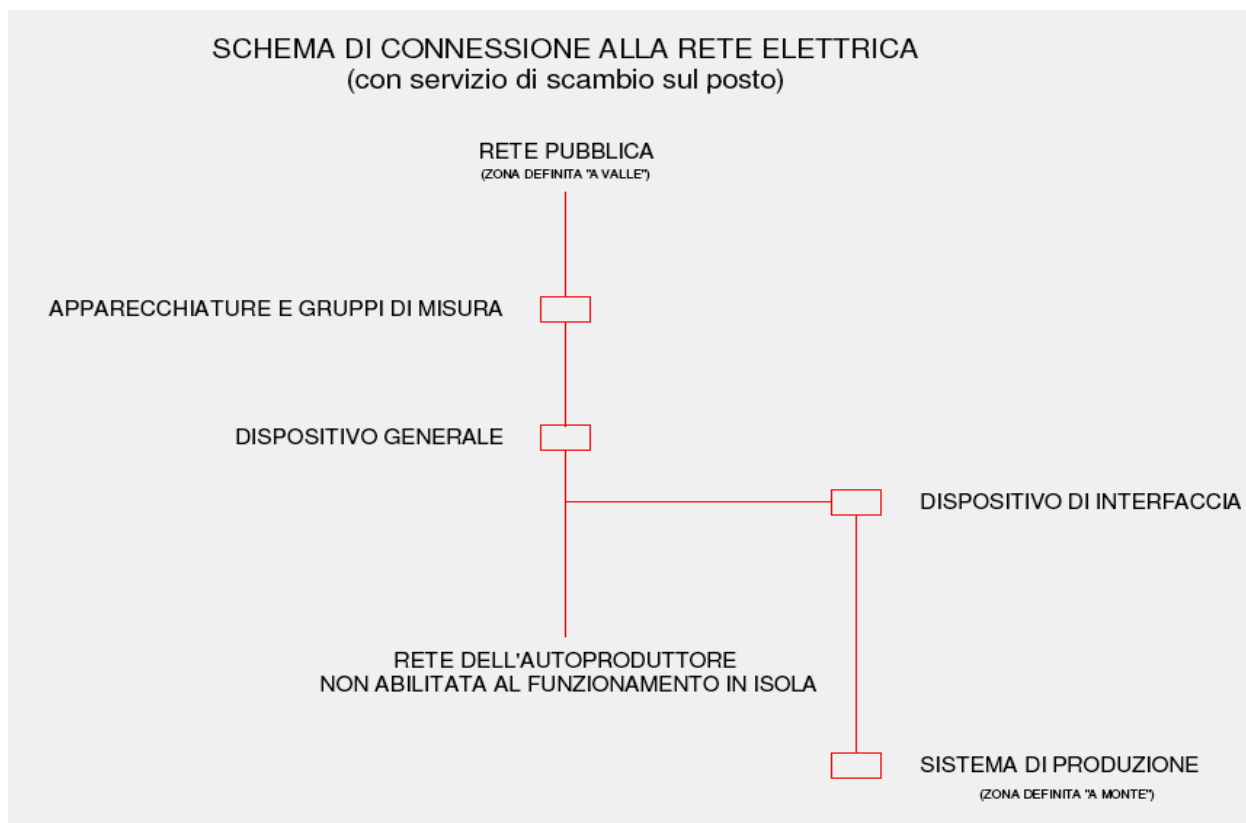


Fig. 3 – Architettura del sistema

3.2 Moduli fotovoltaici

E' stata identificata sul mercato una tipologia di moduli fotovoltaici che rispondesse il più possibile a caratteristiche tecniche ed economiche adeguate, nonché all'esigenza di contenere la superficie captante entro una determinata porzione di copertura.

Si è optato per moduli fotovoltaici in **silicio monocristallino da 240 Watt** (tipo Solon Black 220/16), di cui si riportano di seguito i dati elettrici e meccanici forniti dal costruttore.

Tipo di modulo fv ipotizzato

Produttore	SOLON
Modello	Black 220/16 240 Wp
Tecnologia	Monocristallino
Potenza nominale tipica - WP	240 Watts
Tolleranza sui valori di potenza	+/- 3%
Tensione alla massima potenza - VPM	29.62 Volts
Tensione a circuito aperto - VOC	36.75 Volts
Corrente alla massima potenza - IPM	8.11 Amps
Corrente di corto circuito - ISC	8.56 Amps
Efficienza modulo – h mod	14.63%
Coefficiente di temperatura tensione a vuoto	-0.36 %/°C
Dimensioni modulo	1640 X 1000 x 34 mm
Superficie modulo	1.64 m2
Peso modulo	22 kg
Numero di celle per modulo	60
Dimensioni celle	156 x 156 mm

Tabella 2: caratteristiche del modulo fv scelto

3.3 Convertitore CC/CA

Il sistema di conversione (insieme alle necessarie protezioni) costituisce l'interfaccia tra il campo fotovoltaico e la rete elettrica locale. Il controllo della corrente elettrica da immettere nella rete si produce fondamentalmente per il tramite dei seguenti componenti:

- Connettori CC;
- Filtro d'entrata lato corrente continua e dispositivo MPP Tracking;
- Ponte a semiconduttori (diodo che impedisce l'inversione di polarità);
- Unità di controllo;
- Filtro d'uscita;
- Trasformatore separatore di rete (disaccoppia elettricamente e non lascia passare componenti continue della corrente);

- Connettori CA.

I convertitori statici di potenza CC/CA (inverter) saranno disposti all'interno, in appositi armadi protetti (dalle intrusioni e dalle scariche atmosferiche). In questo modo saranno rapidamente ispezionabili e consultabili. Sarà più semplice anche l'eventuale collegamento alla rete locale dei computer.

Per l'architettura dell'impianto fotovoltaico in oggetto, della potenza nominale di 19,2 kWp, si è scelto l'utilizzo di 2 convertitori modulari trifase CC/CA (inverter) del tipo FRONIUS IG PLUS – 120 V, selezionato in base ai parametri elettrici idonei per l'accoppiamento con le stringhe del campo fotovoltaico.

L'inverter tipo FRONIUS IG Plus – 120 V funziona in parallelo con la rete elettrica e fornisce l'energia generata dal campo fotovoltaico inseguendo il punto di massima potenza. Gli inverter Fronius sono conformi alle normative vigenti per il funzionamento in connessione alla rete, la sicurezza e la compatibilità elettromagnetica. L'inverter IG Plus – 120 V presenta le seguenti caratteristiche:

Fronius IG Plus - 120 V	
Dati di entrata	
Potenza nominale CC	10590 W
Gamma di tensione MPP	230 - 500 V
Gamma tensioni di entrata max. (con 1000 W/m ² , -10°C)	600 V
Corrente di entrata max.	46,0 A
Dati di uscita	
Potenza nominale CA	10000 VA
Potenza di uscita max.	10000 VA
Grado di efficacia max.	95,9 %
Grado di efficacia Euro	95,4 %
Grado di efficacia adattamento MPP	> 99,9 %
Tensione/Frequenza di rete	50 Hz / 60 Hz
Collegamento alla rete	3~NPE 400 V / 230 V
Fattore di distorsione	< 3.0 %
Fattore di potenza	0.85 - 1 ind./cap.
Consumo proprio notturno	< 1 W
Dati generali	
Dimensioni (altezza x larghezza x profondità)	1263 x 434 x 250 mm
Peso	49,2 kg
IP	IP 54**
Concezione inverter	Trasformatore AF
Raffreddamento	Ventilazione regolata
Corpo esterno	in interni ed esterni
Gamma temperatura ambiente	Da -20°C a +50°C
Umidità dell'aria consentita	Da 0 % a 95 %
Dispositivi di sicurezza	
Misurazione dell'isolamento CC	Avviso con RISO<500k Ohm
Comportamento sovraccarico	Spostamento del punto di lavoro, limitazione della potenza
Sezionatore CC	Integrato

Tabella 3: Caratteristiche dell'inverter.

3.4 Campo fotovoltaico

L'orientamento dei moduli fotovoltaici è stato scelto sulla base di differenti considerazioni tecniche per stabilire la maggiore convenienza economica nella scelta di installazione dell'impianto fotovoltaico.

Si è scelto di installare i pannelli con inclinazione di 20°, orientati perfettamente a SUD (azimuth=0).

L'inclinazione scelta, inoltre, permette anche di ridurre l'impatto visivo dell'impianto.

Selezionato quindi il modulo tipo **Solon Black 220/16** della potenza nominale di **240 Wp**, e l'inverter tipo **Fronius IG Plus 120 V** si realizza un impianto di potenza nominale pari ai **19,2 kWp**, con un totale di n. **80 moduli** suddivisi in **8 stringhe da 10 moduli** ciascuna.

I convertitori di potenza AC/DC (inverter), 2 in totale, uno ogni 4 stringhe, gestiscono la conversione dell'energia elettrica, da continua ad alternata, prodotta dall'intero generatore fotovoltaico.

Sulla base delle caratteristiche di tensione dei moduli al punto di massima potenza – pari a 29,62 V – si è ottenuta una **tensione nominale di stringa** pari a **296,2 V** e una **tensione a circuito aperto** pari a **367,5 V**. L'intensità di **corrente di stringa** sarà invece pari a **8,11 A** al punto di massima potenza e **8,56 A** in condizioni di corto circuito.

Producibilità

Per il calcolo della producibilità si sono considerati i dati di irraggiamento del software PVGIS.

In base ai valori riportati nel grafico, l'irraggiamento medio annuo su 1 m² di superficie fotovoltaica – con orientamento ed inclinazione uguali a quelle previste per l'impianto ossia azimuth=0 e tilt=20° è pari a **1647,5 kWh/m² anno**

Per valutare in modo realistico la producibilità si considerano i seguenti fattori di riduzione:

$h_{BOS} = 0,85$ (*efficienza della componentistica non fotovoltaica del sistema, dipendente dalle perdite dovute ai cablaggi e all'inverter*)

$K_{PV} = 0,9$ (*fattore di riduzione che tiene conto di fenomeni come il surriscaldamento dei pannelli, la riflessione parziale della radiazione incidente, eventuali depositi polverosi sul modulo, ecc..*)

$PR = 0,765$ (*Performance Ratio, data da: $h_{BOS} \times K_{PV}$*)

$h_{MOD} = 0,1463$ (*efficienza dei moduli: 14,63 % - dedotta dalla scheda tecnica del tipo di modulo prescelto*)

e gli altri due parametri:

H = irraggiamento al m² /anno sulla sup. fv (caratteristico della località, del tilt e dell'azimut)

A = superficie dell'impianto

Quindi si ha:

$0,85 (h_{BOS}) \times 0,9 (K_{PV}) \times 0,1463 (h_{MOD}) \times 1.647,5 \text{ kWh/m}^2 (H) \times 131,2 \text{ m}^2 (A) = 24.192 \text{ kWh a}$

L'impianto fv da 19,2 kWp è in grado di produrre in un anno **24.192 kWh_e** e di risparmiare l'immissione in atmosfera di circa 12 Tonn di CO₂.

Di seguito si riportano i dati quale riepilogo delle caratteristiche dell'impianto e dei dati di producibilità.

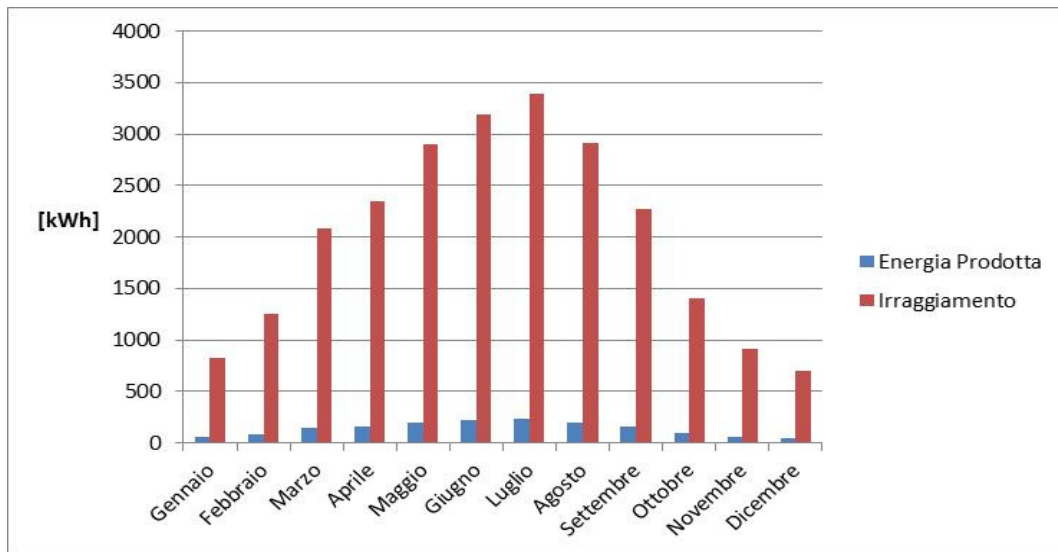


Fig. 4 – Grafico che evidenzia la differenza tra la radiazione solare intercettata e quindi captata dai moduli e la quota di essa che viene effettivamente convertita in elettricità utilizzabile (in uscita dall'inverter).

Di seguito vengono riepilogati i dati dimensionali ed elettrici inerenti il generatore, i sottocampi e le singole stringhe.

Caratteristiche del generatore fv	
Potenza nominale di impianto fv	19,2 kWp
Numero di sottocampi	2
Numero di stringhe totali	8
Numero di moduli totali	80
Superficie captante dell'impianto fv	131,2 m2
Peso dell'impianto fv	1760 Kg
Tensione alla massima potenza - VPM	296,2 V
Tensione a circuito aperto - VOC	367,5 V

Caratteristiche del sottocampo fv	
Potenza nominale del sottocampo fv	9,6 kWp
Numero di stringhe per ogni sottocampo	4
Numero di moduli per ogni sottocampo	40
Superficie captante del sottocampo	65,6 m2
Peso del sottocampo	880 Kg
Tensione alla massima potenza - VPM	296,2 V
Tensione a circuito aperto - VOC	367,5 V
Corrente alla massima potenza - IPM	8,11 A
Corrente di corto circuito - ISC	8,56 A

Producibilità del generatore fv	
h_{BOS}	85%
K_{PV}	90%
PR (Performance Ratio)	76,5%
h_{MOD} (efficienza moduli)	14,63 %
H (irraggiamento unitario a 20°)	1647,5 kWh/m ² a
Irraggiamento sull'impianto	216.152 (1647 x 131,2) kWh/ a
Produzione annua unitaria impianto	184,4 kWh/m ²
Produzione annua impianto	24.192 kWh
Emissioni di CO ₂ evitate	12 Tonn

Tabelle 4, 5 e 6 : Caratteristiche del generatore, dei sottocampi e producibilità impianto

4. VERIFICHE DI PROGETTO

Occorre verificare che in corrispondenza dei valori minimi di temperatura esterna e dei valori massimi di temperatura raggiungibili dai moduli fotovoltaici risultino essere verificate tutte le seguenti disuguaglianze:

$$V_m \min \geq V_{inv \text{ MPPT} \min}$$

$$V_m \max \leq V_{inv \text{ MPPT} \max}$$

$$V_{oc} \max < V_{inv \max}$$

dove

V_m = tensione alla massima potenza, delle stringhe fotovoltaiche

$V_{inv \text{ MPPT} \min}$ = tensione minima per la ricerca del punto di massima potenza, da parte dell'inverter

$V_{inv \text{ MPPT} \max}$ = tensione massima per la ricerca del punto di massima potenza, da parte dell'inverter

V_{oc} = tensione di circuito aperto, delle stringhe fotovoltaiche

$V_{inv \max}$ = tensione massima in c.c. ammissibile ai morsetti dell'inverter

Considerando un coefficiente di temperatura di tensione a circuito aperto pari a $-0.36\%/^{\circ}\text{C}$ ed i limiti estremi di temperatura delle celle assunti pari a -10°C e $+70^{\circ}\text{C}$, e per i quali si è fatta quindi la verifica, V_m e V_{oc} assumono valori differenti rispetto a quelli misurati a STC (25°C). In tutti i casi, le condizioni di verifica risultano comunque rispettate; pertanto si può concludere che vi è compatibilità tra le stringhe di moduli fotovoltaici e il tipo di inverter adottato.

5. CARATTERIZZAZIONE DELL'IMPIANTO ELETTRICO

5.1 Configurazione elettrica del generatore fotovoltaico

Il sistema in corrente continua dell'impianto comprende tutte le apparecchiature elettriche che vanno dal generatore fotovoltaico al ponte di conversione del convertitore CC/CA. L'impianto fotovoltaico oggetto del presente progetto appartiene ai sistemi di I Categoria (tensione $< 1000 \text{ V}$ in c.a. o 1500 V in c.c.) ai sensi di CEI 11-20.

Questa parte del sistema (il generatore), per quanto attiene al modo di collegamento a terra, risponde al collegamento di tipo IT ai sensi della Norma CEI 64 - 8/3 (senza parti attive collegate direttamente a terra e con le masse [quando presenti secondo la definizione CEI 64-8 e CEI 64-12] collegate alla terra).

Il sistema elettrico a valle dell'inverter risulta essere trifase.

5.2 Dimensionamento cavi

Tutti i collegamenti elettrici nella parte in corrente continua saranno effettuati con cavo solare unipolare di sezione 6 mm^2 .

I collegamenti elettrici in uscita dall'inverter saranno effettuati con cavi (entro tubazioni) del tipo armonizzato H07RN-F di sezione $10-16 \text{ mm}^2$ rispondenti alle seguenti caratteristiche: cavo armonizzato

flessibile, isolato in gomma, sotto guaina di policloloroprene, tensione nominale 450/750 V (fino a 1000 V se in conduttura) con classe di isolamento 3, per ambienti di qualsiasi tipo anche bagnati.

Le dimensioni delle condutture elettriche sono state sovradimensionate per garantire un basso riscaldamento dei cavi ed una bassa caduta di tensione (<1%), assicurando così, nel contempo, anche una lunga durata di esercizio continuato.

La connessione elettrica fra i moduli fotovoltaici avverrà tramite cavi almeno in classe di isolamento 2 (300/500 V) e con connettori stagni.

5.3 Quadri elettrici

Il campo fotovoltaico sarà collegato ad un interruttore magnetotermico adatto alla tensione continua a circuito aperto nonché ad uno scaricatore di sovratensione (per entrambi i poli, positivo e negativo, tra di loro e verso terra), posti a protezione dell'inverter, per bloccare eventuali sovratensioni.

Gli ingressi e le uscite saranno tutti provvisti del relativo pressacavo.

Gli armadi contenitori dei quadri devono avere prestazioni termiche adeguate alla dissipazione degli elementi presenti. Quelli posti eventualmente all'aperto saranno del tipo per esterno con grado di protezione minimo IP65, di tipo ANS (apparecchiature non di serie) e dovranno rispondere alle buone norme di realizzazione raccolte nella normativa EN 60439-1 (CEI 17-31) e la norma IEC 439-1 (CEI 17-43). Tutti (sia quelli al chiuso, sia quelli all'aperto) saranno protetti dalle intrusioni e dalle scariche atmosferiche (almeno perché posti in zona "coperta").

Il quadro di parallelo QP conterrà l'interruttore magnetotermico differenziale quadripolare, il contatore dell'energia prodotta e l'interruttore magnetotermico differenziale quadripolare con potere di interruzione di 6 kA, installato a valle del contatore. Il quadro generale (QG) conterrà l'interruttore magnetotermico con potere di interruzione di 6 kA per la protezione in testa della linea oltre ad una protezione differenziale (salvavita) con corrente nominale di intervento pari a 30 mA.

5.4 Cablaggio elettrico

La stringa (n.10 moduli) produce una corrente massima di 8,11 A ad una tensione di stringa pari a 414 V. Il generatore, formato da n.8 stringhe, ha una potenza nominale pari a 19,2 kW. La massima corrente alternata in uscita dagli inverter è di 14,5 A (non considerando la perdita di potenza nella conversione della corrente continua in corrente alternata).

In questa configurazione i cavi usati, sia nella sezione in continua sia nella sezione in alternata, avranno caratteristiche spinte (doppio isolamento, anti UV, flessibilità ecc.) e conformità alle specifiche ENEA oltre che alle norme CEI 20-19 ("Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V") e 20-20, aventi le seguenti caratteristiche:

- Cavi del tipo unipolare per circuiti di potenza;
- Cavi del tipo autoestinguento e non propagante l'incendio;
- Estremità dei cavi con capicorda e morsetti standard di sezione adeguata al cavo;
- Tipo di cavo usato: FG21M21 PV 20 (c.c.), H07RN-K (c.a.)

Verranno installati in tubi, canaline e/o passerelle portacavi per la protezione meccanica dei cavi, garantendo, per il collegamento cavi ai quadri, un livello di protezione analogo a quello dei quadri stessi.

Le sezioni dei cavi utilizzate, con le lunghezze previste in progetto, con la resistività propria del rame, alle correnti massime previste, con il fattore di potenza più sfavorevole (nel tronco di circuito in corrente alternata), utilizzando i metodi di calcolo classici, permettono di contenere la potenza perduta sulla linea in $\Delta P < 1\%$ (al di sotto del 2% standard).

Scelte le sezioni dei conduttori di potenza S [mm²], si sono dimensionate le sezioni minime dei conduttori di protezione S_p (sul ramo corrente alternata) rispettando le indicazioni riportate in tabella, ai sensi della norma CEI 64-8.

Sezione minima di potenza S [mm ²]	Sez. minima conduttori di protezione S_p [mm ²]
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Le condutture elettriche, comunque sia, devono essere poste in opera in modo che sia possibile il loro controllo, anche ai fini di accertare lo stato del loro isolamento e la localizzazione e rimozione di eventuali guasti.

5.5 Quadri e consegna dell'energia

Il collegamento per la consegna dell'energia sarà a valle del dispositivo generale della rete utente secondo le modalità descritte dalle normative vigenti. Sarà dotato di protezione magneto-termica e differenziale, contatore per il monitoraggio della potenza generata e delle ore effettive di funzionamento dell'impianto fotovoltaico. Un'interfaccia di rete avrà il compito di gestire il parallelo con la rete del distributore di energia elettrica. La protezione di interfaccia impedirà il funzionamento "in isola" e provvederà al distacco dalla rete elettrica del generatore in caso di malfunzionamenti (anche parziali) e in caso di mancanza di tensione sulla linea del distributore.

Per quello che concerne la contabilizzazione dell'energia prodotta, il distributore locale, dopo la stipula del contratto secondo le attuali normative e leggi vigenti, provvederà all'installazione di apposito gruppo di misura (contatore bidirezionale che provvederà ad installare l' Ente Distributore locale di energia elettrica).

5.6 Protezione Impianto

Messa in sicurezza dell'impianto

L'impianto fotovoltaico, oggetto del presente documento, risulta inserito in un sistema elettrico di bassa tensione già esistente da cui eredita, per la parte in corrente alternata, alcune caratteristiche: tensione, sistema di conduttori attivi e modo di collegamento a terra.

L'impianto uscente dagli inverter è collegato all'impianto elettrico dell'edificio e pertanto fa parte del sistema elettrico TN-S di quest'ultimo.

La protezione contro i contatti indiretti è, in questo caso, assicurata dal collegamento al conduttore di protezione PE di tutte le masse, ad eccezione degli involucri metallici delle apparecchiature di Classe II (CEI 11-20).

Misure di protezione sul collegamento alla rete elettrica

La protezione del sistema di generazione fotovoltaica nei confronti sia della rete autoproduttore che della rete di distribuzione pubblica è realizzata in conformità a quanto previsto dalla norma CEI 11-20, con riferimento anche a quanto contenuto nei documenti di unificazione ENEL DK5940, DV1604 e DV604 e successive modifiche ed integrazioni.

L'impianto risulta pertanto equipaggiato con un sistema di protezione che si articola su tre livelli: dispositivo del generatore, dispositivo di interfaccia, dispositivo generale.

Dispositivo di generatore

La protezione contro il corto circuito è assicurata dal dispositivo magnetotermico posto a valle di ciascun inverter all'interno del quadro c.a.

Dispositivo di interfaccia

L'inverter è equipaggiato con un avanzato sistema di protezione "anti-islanding" certificato secondo le normative Enel.

Il dispositivo di interfaccia deve provocare il distacco dell'intero sistema in caso di guasto sulla rete elettrica.

Il riconoscimento di eventuali anomalie sulla rete avviene considerando come anormali le condizioni di funzionamento che fuoriescono da una determinata finestra di tensione e frequenza così caratterizzata:

- Minima tensione: 328 Vrms
- Massima tensione: 472 Vrms
- Minima frequenza: 49,72 Hz
- Massima frequenza: 50,28 Hz
- Deriva di frequenza: 0,45 Hz/s

La protezione offerta dal dispositivo di interfaccia impedisce, tra l'altro, che l'inverter continui a funzionare, con particolari configurazioni di carico, anche nel caso di black-out esterno. Questo fenomeno, detto funzionamento in isola, deve essere assolutamente evitato, soprattutto perché può tradursi in condizioni di pericolo per il personale addetto alla ricerca e alla riparazione dei guasti.

Dispositivo generale

Il dispositivo generale ha la funzione di salvaguardare il funzionamento della rete nei confronti di guasti nel sistema di generazione elettrica. Per i piccoli impianti è sufficiente la protezione contro il corto circuito ed il sovraccarico.

Misure di protezione contro i contatti diretti

Ogni parte elettrica dell'impianto, sia in corrente alternata sia in corrente continua, è da considerarsi in bassa tensione. L'impianto fotovoltaico non influisce sulla forma o volumetria dell'edificio e pertanto non aumenta la probabilità di fulminazione diretta sulla struttura.

La protezione contro i contatti diretti è assicurata dall'utilizzo dei seguenti accorgimenti:

- Utilizzo di componenti dotati di marchio CE (Direttiva CEE 73/23);
- Utilizzo di componenti aventi un idoneo grado di protezione alla penetrazione di solidi e liquidi;
- Collegamenti effettuati utilizzando cavo rivestito con guaina protettiva, idoneo per la tensione nominale utilizzata e alloggiato in condotto portatavi (canale o tubo a seconda del tratto) idoneo allo scopo.

Fulminazione indiretta

Riguardo alla protezione contro le scariche atmosferiche, è stato aggiornato il calcolo riguardante la probabilità di fulminazione dell'edificio, prevedendo l'aggiunta, sulla copertura, dei pannelli fotovoltaici.

Il fabbricato su cui si intende realizzare l'installazione dell'impianto fotovoltaico deve risultare protetto contro le scariche atmosferiche secondo la norma CEI EN 62305-1/4.

In ogni caso l'abbattersi di scariche atmosferiche indirette, quindi in prossimità dell'impianto stesso, può provocare il concatenamento del flusso magnetico associato alla corrente di fulmine con i circuiti dell'impianto fotovoltaico, così da provocare sovratensioni in grado di mettere fuori uso i componenti tra cui, in particolare, gli inverter. I morsetti degli inverter risultano protetti internamente con varistori a pastiglia.

Tuttavia si è pensato di rinforzare tale protezione con l'inserzione di dispositivi soppressori di sovratensioni (SPD) di classe I a varistore sulla sezione c.c. dell'impianto in prossimità del generatore fotovoltaico.

5.7 Contributo dell'impianto PV alla corrente di corto circuito

L'impianto PV contribuisce alla corrente di corto circuito dell'impianto con la sola corrente di corto circuito dell'inverter, la quale poi viene erogata per il valore del doppio di quella nominale per pochi decimi di secondo prima che intervengano le protezioni. In questo caso

$$I_{cc\text{impianto}} = 29 \text{ A}$$

6. ASSEMBLAGGIO DELL'IMPIANTO

Per struttura di sostegno di un generatore fotovoltaico si intende un sistema costituito dall'assemblaggio di profili, generalmente metallici, in grado di sostenere ed ancorare a una struttura edile un insieme di moduli fotovoltaici, collocati con l'esposizione più consona nei confronti della radiazione solare. Si fa presente che i materiali di tutte le strutture di ancoraggio e sostegno del generatore devono assicurare idonea resistenza a corrosione, caratteristica dell'ambiente in cui verranno collocate.

Il tipo di telai utilizzati e il loro sistema di assemblaggio dipenderanno dal tipo di fornitura prescelto in sede di assegnazione dei lavori alla ditta vincitrice e saranno comunque sempre forniti di certificazione del costruttore.

I sostegni metallici sono costituiti da stampelle di sagoma triangolare, due per ogni modulo, con il lato predisposto per il fissaggio dei pannelli inclinato di 20°; tali elementi a stampella verranno resi solidali tra loro e irrigiditi da opportune traversine metalliche, e opportunamente ancorati al piano di posa, che in questo caso è costituito dalla copertura piana a terrazza. Dal momento che quest'ultima non è praticabile ed è rivestita da un semplice strato di guaina, a sua volta non protetta, particolare attenzione dovrà essere posta nella modalità di fissaggio a terra dei sostegni metallici, e dell'eventuale zavorra, al fine di non rovinare la guaina e comprometterne l'integrità.

La disposizione dei moduli è organizzata in file, collocate ad una distanza opportuna in modo che non si verificino ombreggiamenti reciproci tali da determinare una significativa decurtazione della produttività

Infatti nelle prime ore del mattino e nelle tarde ore del pomeriggio, data l'estrema lunghezza delle ombre, è inevitabile che le file dei pannelli si ombreggino a vicenda, con una conseguente mancata produzione di energia. Tuttavia l'effetto è trascurabile dato il basso livello di energia trasmessa dalla luce solare durante questi periodi della giornata.

Per i pannelli fotovoltaici considerati, con azimut 0° e angolo di tilt 20°, la distanza netta tra le file è in grado di garantire che la quota di energia perduta per ombreggiamenti (nelle primissime ore del mattino e serali) risulti del tutto trascurabile.

7. VERIFICA DI STATICITÀ

La copertura a terrazza non risulta pavimentata ma solo coperta con impermeabilizzazione non calpestabile e non sono presenti ringhiere o parapetti. Per questo motivo si potrebbe dedurre che non siano stati calcolati per sopportare i carichi accidentali derivanti dalla loro praticabilità. Debbono, comunque, essere in grado di sopportare i carichi derivanti dall'accessibilità, ad esempio in caso di eventuali manutenzioni.

Si può optare per la posa in opera con zavorre o il per il fissaggio dei supporti dei moduli al solaio:

1 – Fissaggio

Questo procedimento consta di:

- a) fissaggio al solaio in c.c.a. il numero necessario di perni filettati in acciaio inox M8 mediante resina sintetica tipo "Hilti", rispettando le procedure previste nella scheda tecnica allegata.
- b) sigillo delle basi dei perni ripristinando la continuità degli strati impermeabilizzanti e procedere al riempimento degli eventuali fori di carotaggio con materiale resiliente e impermeabilizzante da esterno.
- c) fissaggio ai perni le staffe di sostegno delle traverse porta-moduli (come da particolare grafico allegato alla relazione tecnica), utilizzando dadi M8 e rosette a corona in acciaio inox.
- d) montaggio delle traverse (eliminando le eventuali parti di perni in eccesso) e dei moduli fotovoltaici (con l'orientamento e la giacitura previsti).

2 – Zavorra

Si realizzeranno le zavorre trasversalmente alla tessitura dei travetti e in modo che poggino su più travetti contemporaneamente, così da non concentrare il loro peso su di uno solo (All. 4 – dettagli di aggancio); le zavorre sono realizzate in c.c. gettato all'interno di una forma in lamiera di acciaio inox (si vedano i particolari allegati), vengono poggiate sulla copertura interponendo uno strato di materiale resiliente (gomma, neoprene, etc.) per distribuirne l'appoggio sull'impermeabilizzazione esistente e, quindi, ancorate alle traverse metalliche della struttura di sostegno in modo stabile (imbullonate). Le zavorre hanno sia il compito di contrastare l'azione del vento sui pannelli sia di ancorare l'impianto alla superficie di appoggio nel caso in cui, come probabilmente quello in oggetto, il solaio non sia dotato di caldana di ripartizione dei carichi.

Il peso complessivo (pannelli + telai + ferramenta) può variare dai 20 ai 40 kg/m²; a questo peso si aggiunge la zavorra ove, eventualmente, si optasse per questo tipo di soluzione. È evidente che la somma dei pesi - pannelli + telai + ferramenta + zavorra - non deve superare il sovraccarico previsto per il solaio che sostiene il tutto.

7.1 Analisi dell'azione del vento

In aggiunta alla verifica del solaio per carichi verticali è necessario verificare anche la tenuta dell'insieme all'azione del vento (soprattutto nel caso di semplice ancoraggio con zavorra). Tale verifica dipenderà dalla dimensione dei pannelli e della loro base di appoggio sul solaio. Questi dati non sono in possesso del progettista (non essendo ancora noti i risultati della gara d'appalto e del tipo di fornitura deliberato) e, pertanto, in questa sede ci si limiterà alla verifica di un'installazione standard (secondo gli schemi di calcolo previsti dalla Normativa in vigore).

Si considera soltanto l'azione del vento alle spalle dei pannelli in quanto quella frontale, essendo i pannelli inclinati di 20° sull'orizzontale, risulta, di fatto, molto modesta.

Si calcola la prima fila (quella più esposta) e si adotta la stessa zavorra anche per le rimanenti file, trascurando l'effetto positivo della protezione reciproca.

Zona 1

Classe di rugosità B

Categoria espositiva IV

H fino a 10 m

V_{ref} = 25 m/s

Q_{ref} = 390,1 N/m²

C_e = 1,63

C_p = 1,20;

C_d = 1

$P = Q_{ref} \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 766,0 \text{ N/m}^2$;

Con le dimensioni del pannello utilizzato (1,64 m x 1 m), installandolo con il lato lungo come base, la superficie del pannello risulterà = 1,64 x 1 = 1,64 m². La forza del vento sarà pari a 766,0 x 1,64 x sen20° = 429,7 N.

Il momento ribaltante M_{rib} risulterà = $429,7 \times 0,5 = 214,8 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Il momento equilibrante M_e , ipotizzando un peso proprio (pannelli + struttura) pari al minimo $200 \text{ N}/\text{m}^2$ (per andare a favore della sicurezza) risulterà (a meno del contributo della zavorra) = $200 \times 1,64 \times \cos 20 \times 0,47 = 144,8 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Per ogni modulo si ipotizza l'utilizzo di n. 2 zavorre posteriori in calcestruzzo con una base di 35 cm, per un peso complessivo di circa 40 daN (= 2 x 20 daN) più 2 zavorre anteriori per un peso complessivo di circa 20 daN.

Il momento stabilizzante dovuto alle zavorre posteriori sarà pari a $40 \times 0,8$ (braccio stabilizzante zavorre posteriori) = 32 daN·m

Il momento stabilizzante totale risulta pertanto essere pari a 46,5 daN m

Verifica a ribaltamento

Si esegue una verifica al ribaltamento impiegando i coefficienti F della Tab. 2.6.1 (DM2008) dello stato limite di corpo rigido (EQU). Si avrà:

Momento stabilizzante totale = $46,5 \times 0,9 = 41,8 \text{ daN}\cdot\text{m}$

Momento ribaltante totale = $21,5 \times 1,5 = 32,3 \text{ daN}\cdot\text{m}$

$M_{stab}(\text{Tot}) > M_{Rib}(\text{Tot})$

La verifica risulta soddisfatta.

7.3 Analisi del carico dovuto alla neve

Il carico per neve nel caso in questione secondo la NTC2008 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008 è pari a $120 \text{ daN}/\text{m}^2$.

7.2 Verifica della portanza del solaio

La struttura fotovoltaica da apporre sul solaio risulta avere un peso complessivo, riferito al singolo pannello, di circa 126 kg (costituito dalla somma dei pesi propri del modulo fotovoltaico, del cavalletto di sostegno e delle quattro zavorre) distribuito su un'area di circa $1,60 \text{ m}^2$ c.a. (proiezione modulo+telaio+impronta zavorre) ed assumendo una distribuzione uniforme del carico, si ottiene un carico specifico agente sul solaio pari a $79 \text{ kg}/\text{m}^2$.

Per verificare se tale copertura sia in grado di sostenere il peso, su indicato, della struttura fotovoltaica è necessario effettuare una prova di carico al fine di definire la reale capacità di carico del solaio.

7.4 Considerazioni

Avendo trascurato la forma dell'edificio e le possibili canalizzazioni del vento (anche dovute all'ambiente esterno circostante) che potrebbero amplificarne e concentrarne l'azione, e avendo ipotizzato una struttura di sostegno teorica standard, sarebbe auspicabile che, al momento della esecuzione dei lavori, oltre al controllo della tessitura dei solai ed alla sistemazione delle guaine impermeabilizzanti, si procedesse anche a ripetere la verifica appena eseguita alla luce della situazione reale e a seguito dell'effettuazione della prova di carico.

8. REQUISITI DI RISPONDENZA A NORME, LEGGI, REGOLAMENTI

Gli impianti devono essere realizzati a regola d'arte, come prescritto dalla Legge n. 186 del 1° marzo 1968 e ribadito dalla DM 37 del 22 gennaio 2008.

Le caratteristiche degli impianti stessi, nonché dei loro componenti, devono essere in accordo con le norme di legge e di regolamento vigenti ed in particolare essere conformi:

- alle prescrizioni di autorità locali, comprese quelle dei VVF;
- alle prescrizioni del decreto legislativo n. 81 del 2008 “Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”.
- alle prescrizioni e indicazioni della Società Distributrice di energia elettrica;
- alle norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano)¹.
- alla Deliberazione n. 28/06 dell'AEEG (‘condizioni tecnico-economiche del servizio di scambio sul posto dell'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza non superiore a 20 kWp, secondo il Dlgs 387/2003’).

9. ELEMENTI PER LA SICUREZZA

Ai fini della sicurezza, oltre ad osservare quanto prescritto dal decreto legislativo n. 81 del 2008 e dal decreto n. 37 del 22 gennaio 2008, dalla norma CEI 50110-1 e successive modifiche ed integrazioni, sarà

-
- ¹ CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua;
 - CEI 11-20: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;
 - CEI EN 60904-1: Dispositivi fotovoltaici Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche tensione-corrente;
 - CEI EN 60904-2: Dispositivi fotovoltaici - Parte 2: Prescrizione per le celle fotovoltaiche di riferimento;
 - CEI EN 60904-3: Dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento;
 - CEI EN 61727: Sistemi fotovoltaici (FV) - Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo con la rete;
 - CEI EN 61215: Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo;
 - CEI EN 61000-3-2: Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 3: Limiti Sezione 2: Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso = 16 A per fase);
 - CEI EN 60555-1: Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili - Parte 1: Definizioni;
 - CEI EN 60439-1-2-3: Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione;
 - CEI EN 60445: Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico;
 - CEI EN 60529: Gradi di protezione degli involucri (codice IP);
 - CEI EN 60099-1-2: Scaricatori;
 - CEI 20-19: Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V;
 - CEI 20-20: Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V;
 - CEI 81-1: Protezione delle strutture contro i fulmini;
 - CEI 81-3: Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato;
 - CEI 81-4: Valutazione del rischio dovuto al fulmine;
 - CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici;
 - CEI 0-3: Guida per la compilazione della documentazione per la legge n. 46/1990;
 - UNI 10349: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici;
 - CEI EN 61724: Rilevo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici.
 - Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati;
 - IEC 60364-7-712 Electrical installations of buildings - Part 7-712: Requirements for special installations or locations Solar photovoltaic (PV) power supply systems.

L'elenco normativo riportato non è esaustivo per cui eventuali leggi o norme applicabili, anche se non citate, vanno comunque applicate.

indispensabile prevedere dei ripartitori di carico (passerelle, zatteroni, racchette, etc.) al fine di potersi muovere sulla copertura in sicurezza. E' indispensabile che gli operatori, sia per l'installazione, sia per le manutenzioni, siano qualificati professionalmente come esperti.

10. PIANO DI MANUTENZIONE

La manutenzione dovrà rispettare le schede tecniche fornite dai produttori per ogni singolo elemento e le procedure ivi prescritte. Dovrà essere eseguita da personale professionalmente esperto.

Per l'insieme dell'impianto si consiglia, in aggiunta a quanto obbligato dagli eventuali malfunzionamenti:

- esame a vista 2 volte per anno;
- pulizia delle superfici 2 volte per anno;
- verifica delle morsettiere e dei cavi 1 volta per anno;
- verifica delle cartucce (OVR) 2 volte per anno e sempre dopo un forte temporale.

Per ulteriori specifiche tecniche vedere il piano di manutenzione, facente parte del presente progetto esecutivo.

11. TERMINOLOGIA

Cella fotovoltaica

Dispositivo semiconduttore che genera elettricità quando è esposto alla luce solare.

Modulo fotovoltaico

Assieme di celle fotovoltaiche elettricamente collegate e protette dagli agenti atmosferici, anteriormente mediante vetro e posteriormente con vetro e/o materiale plastico. Il bordo esterno è protetto da una cornice di alluminio anodizzato.

Stringa

Un gruppo di moduli elettricamente collegati in serie. La tensione di lavoro dell'impianto è quella determinata dal carico elettrico "equivalente" visto dai morsetti della stringa.

Campo

Un insieme di stringhe collegate in parallelo e montate su strutture di supporto.

Corrente di cortocircuito

Corrente erogata in condizioni di cortocircuito, ad una particolare temperatura e radiazione solare.

Tensione a vuoto

Tensione generata ai morsetti a circuito aperto, ad una particolare temperatura e radiazione solare.

Potenza massima di un modulo o di una stringa

Potenza erogata, ad una particolare temperatura e radiazione, nel punto della caratteristica corrente-tensione dove il prodotto corrente-tensione ha il valore massimo.

Condizioni standard di funzionamento di un modulo o di una stringa

Un modulo opera alle “condizioni standard” quando la temperatura delle giunzioni delle celle è 25°C. La radiazione solare è 1.000 W/m² e la distribuzione spettrale della radiazione è quella standard (AM 1,5).

Potenza di picco

Potenza erogata nel punto di potenza massima alle condizioni standard.

Efficienza di conversione di un modulo

Rapporto tra la potenza massima del modulo ed il prodotto della sua superficie per la radiazione solare, espresso come percentuale.

Convertitore CC/CA (Inverter)

Convertitore statico in cui viene effettuata la conversione dell'energia elettrica da continua ad alternata, tramite un ponte a semiconduttori, opportune apparecchiature di controllo che permettono di ottimizzare il rendimento del campo fotovoltaico ed un trasformatore.

Angolo di Azimut

Angolo formato dalla normale alla superficie e dal piano meridiano del luogo; è misurato positivamente da sud verso ovest.

Angolo di Tilt

Angolo che la superficie forma con l'orizzonte; è misurato positivamente dal piano orizzontale verso l'alto.

12. ALLEGATI

Allegato 1 – Documentazione fotografica

Allegato 2 – Elaborati grafici – collocazione dell'impianto/planimetria

Allegato 3 – Elaborati grafici – impianto elettrico

Allegato 4 – Elaborati grafici – particolari del montaggio dell'impianto

Allegato 5 – Elaborati grafici – dettagli del modulo fv