# Progetto esecutivo di riqualificazione energetica della Scuola Media “E.Fermi”

## Relazione specialistica impianto fotovoltaico

## Comune di ALBIATE
## (Provincia di MONZA E BRIANZA)

Albiate, 13 febbraio 2017

IL PROGETTISTA

# Sommario

1 Premessa ..... 2
2 Sito di installazione ..... 3
2.1 Dati identificativi del sito ..... 3
3 Descrizione impianto ..... 4
4 Stima producibilità impianto ..... 5
5 Dimensionamento impianto ..... 7
5.1 Moduli fotovoltaici ..... 8
5.2 Gruppi di conversione ..... 9
5.2.1 Configurazione impianto ..... 10
5.3 Strutture di supporto ..... 11
5.4 Quadri elettrici ..... 12
5.4.1 Quadri in CC ..... 12
5.4.2 Quadri in CA ..... 12
5.5 Cavi elettrici ..... 12
5.5.1 Variazione della tensione con la temperatura perla sezione c.c. ..... 14
5.6 Contatori di energia elettrica ..... 14
6 Verifica Tecnico-Funzionale ..... 14

# 1 Premessa

La presente relazione mira a fornire le caratteristiche tecniche di tutti i componenti e i dettagli progettuali di un impianto di generazione di energia elettrica attraverso la conversione fotovoltaica, che fa parte del progetto esecutivo avente per oggetto "**Progetto esecutivo di riqualificazione energetica della Scuola Media "E.Fermi"",** redatto al fine di partecipare al programma di finanziamento denominato Fondo Kyoto per le scuole 2016 (DM 40/2016) del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, che concede finanziamenti a tassi agevolati per la realizzazione di interventi di efficientamento energetico sugli edifici scolastici.

L'impianto oggetto dell'intervento ha una potenza complessiva pari a 25 kWp, da installare presso la copertura dell'edificio che ospita la scuola media, sito in viale Rimembranze. La realizzazione di tale impianto consentirebbe di produrre l'energia elettrica necessaria per l'edificio, sfruttando la fonte rinnovabile solare, evitando così l'emissione di $CO_2$ in atmosfera, causata dalla produzione di energia da fonti fossili, determinando così un beneficio per l'ambiente.

# 2 Sito di installazione

L'edificio oggetto del presente intervento si trova all'interno del centro abitato del Comune di Albiate, in particolare ospita la sede della scuola media ed è sito in viale Rimebranze, Comune di Albiate (MB).

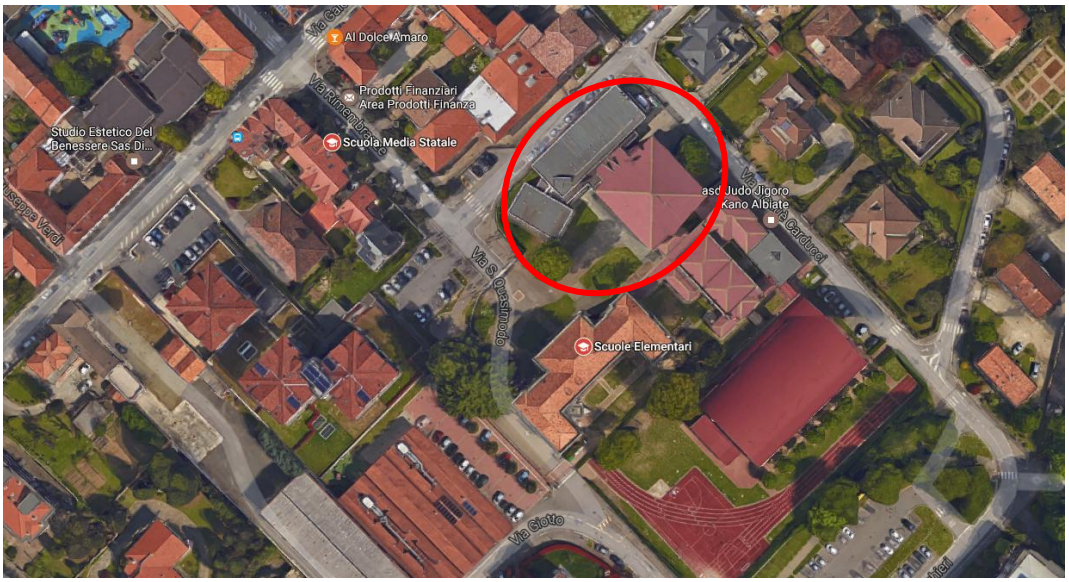


Figura 1 Vista dall'alto dell'edificio

Il dimensionamento energetico dell'impianto fotovoltaico connesso alla rete del distributore è stato effettuato tenendo conto della disponibilità di spazi sui quali installare l'impianto, della disponibilità della fonte solare, dei fattori morfologici e ambientali e degli attuali consumi energetici dell'edificio.

Il tetto in esame non risente di ombreggiamenti dovuti a edifici vicini, per cui risulta utilizzabile l'intera superficie.

## 2.1 Dati identificativi del sito

| | |
|---|---|
| **Identificativo impianto** | FV - scuola media |
| **Committente:** | Comune di Albiate |
| **Sede Legale** | Via Salvadori 1 – 20847 Albiate (MB) |
| **P.IVA** | 00737700963 |
| **Sito di installazione** | Viale Rimembranze – 20847 Albiate (MB) |
| **Latitudine** | 45° 39' 29'' N |
| **Longitudine** | 09° 15' 26'' E |
| **Superficie dell'impianto 1** | 200 mq |
| **Caratteristiche 1** | 80 moduli installati su copertura inclinata a 45°s-e e 45° s-o, 20 moduli installati su copertura piana a 45°s-o |

# 3 Descrizione impianto

Nel presente paragrafo verrà valutata la fattibilità di installare un impianto fotovoltaico sulla copertura della scuola oggetto della presente relazione e sulla copertura della nuova palestra, che è l'edificio adiacente.

L'edificio della scuola come tipologia di copertura presente può essere suddiviso in due sezioni, la prima presenta una copertura a falde con una superficie di circa 560 $m^2$, esposta con varia esposizione. Tale superficie è di tipo a falde per cui i panelli fotovoltaici dovranno essere installati tramite apposite strutture di supporto in modo complanare alla falda stessa così da non modificare la geometria dell'edificio. Utilizzando pannelli fotovoltaici in silicio policristallino della dimensione di 1,675 x 1 m di potenza pari a 250 Wp, risulta installabile un impianto composto da 80 moduli della potenza complessiva di 20 kWp.

Mentre la seconda presenta una copertura piana con una superficie di circa 450 $m^2$, esposta a sud-ovest. Su tale superficie i panelli fotovoltaici dovranno essere installati tramite apposite strutture di supporto triangolari, ancorate o zavorrate al tetto, in modo da conferire ai moduli un'inclinazione tale ad ottimizzarne la producibilità. Utilizzando pannelli fotovoltaici in silicio policristallino della dimensione di 1,675 x 1 m di potenza pari a 250 Wp, risulta installabile un impianto composto da 20 moduli della potenza complessiva di 5 kWp, considerando che parte della copertura risulta ombreggiata.

La potenza di picco dell'impianto, intesa come somma delle potenze di targa dei singoli moduli, è stata individuata sulla base della superficie disponibile in congruenza con i requisiti strutturali, funzionali ed architettonici richiesti dalla installazione stessa e dei consumi di energia elettrica medi della scuola (considerando sia quelli avuti fino ad oggi sia la stima di quelli futuri, data l'intenzione di installare la pompa di calore).

La configurazione elettrica adottata nel presente progetto per il funzionamento dell'impianto, consentirà al committente, attraverso il meccanismo dell'autoconsumo, di poter beneficiare dell'intera produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico per poter far fronte ai propri fabbisogni elettrici.

L'impianto fotovoltaico installato sul tetto a falda sarà inclinato a 15° parallelamente alla copertura della scuola, mentre sulla porzione piana avrà un'inclinazione di 10° in modo che l'impatto estetico sia minimo in quanto non visibile dall'esterno. Lo spessore del modulo unito a quello della struttura di supporto non emergerà dalla superficie esistente o quantomeno verrà ridotto al minimo indispensabile; in questa maniera il campo fotovoltaico non andrà ad inficiare con le caratteristiche estetiche e la funzionalità dell' involucro architettonico esistente.

Al fine di ottenere un buon compromesso tra la potenza installabile e la captazione della radiazione solare e di conseguenza la maggiore produzione di energia elettrica, i moduli fotovoltaici saranno installati parallelamente al profilo dell'edificio con un'esposizione di 45° sud-ovest e 45° sud-est I moduli fotovoltaici saranno installati su struttura di supporto in alluminio estruso e ganci sul tetto in acciaio inox, in modo da avere al contempo elevata durata nel tempo, resistenza alla corrosione e agli agenti atmosferici e un peso contenuto.

Dovranno essere installati anche due contabilizzatori dell'energia elettrica, il primo posto a valle degli inverter per valutare l'energia prodotta e il secondo bidirezionale a monte della rete di distribuzione per misurare l'energia immessa e prelevata, e infine un dispositivo di interfaccia, per poter sezionare l'impianto dalla rete di distribuzione.

Nell'immagine seguente viene mostrata l'ipotesi di installazione dell'impianto con la planimetria dell'edificio e il suo layout.

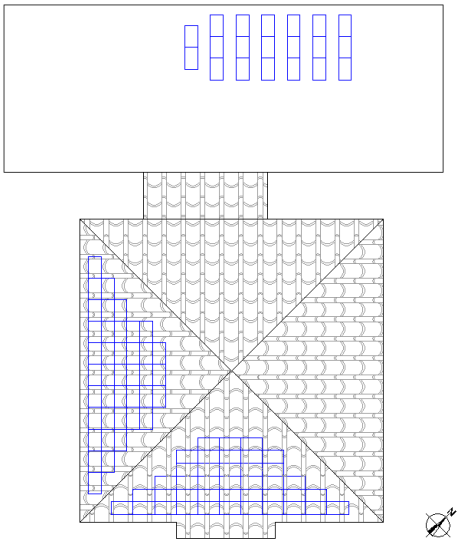

Figura 2 Planimetria impianto fotovoltaico

# 4 Stima producibilità impianto

Per stimare la producibilità dell'impianto è stato utilizzato il software PVGIS del Joint Research Centre, il quale inserendo i dati caratteristici dell'impianto fornisce un valore medio mensile di producibilità per un intero anno.

L'impianto fotovoltaico sulla scuola è suddiviso in tre sottocampi, nel dettaglio il primo con una potenza di 10 kWp, installato su una copertura con inclinazione di 15°, e orientamento di 45° sud-est, un secondo sottocampo con una potenza di 10 kWp, installato su una copertura con inclinazione di 15°, e orientamento di 45° sud-ovest, e un terzo sottocampo con una potenza di 5 kWp, installato su una copertura piana con inclinazione dei moduli di 10°, e orientamento di 45° sud-ovest. Complessivamente si è ottenuta una producibilità stimata annua complessiva di 28.000 kWh (1.120 kWh/kWp).

Nelle immagine sottostanti vengono mostrati il report ottenuto dal PVGIS e un grafico della producibilità mensile stimata.

JRC EUROPEAN COMMISSION **Photovoltaic Geographical Information System**

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

### Performance of Grid-connected PV

**PVGIS estimates of solar electricity generation**

Location: 45°39'19" North, 9°14'55" East, Elevation: 227 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 10.0 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 12.7% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.3%
Other losses (cables, inverter etc.): 12.0%
Combined PV system losses: 25.7%

| | Fixed system: inclination=15 deg., orientation=45 deg. | | | |
|---|---|---|---|---|
| Month | Ed | Em | Hd | Hm |
| Jan | 13.60 | 422 | 1.69 | 52.5 |
| Feb | 22.80 | 638 | 2.84 | 79.5 |
| Mar | 32.70 | 1010 | 4.25 | 132 |
| Apr | 36.80 | 1100 | 4.91 | 147 |
| May | 43.50 | 1350 | 5.97 | 185 |
| Jun | 46.40 | 1390 | 6.50 | 195 |
| Jul | 49.30 | 1530 | 6.96 | 216 |
| Aug | 42.60 | 1320 | 6.00 | 186 |
| Sep | 34.20 | 1030 | 4.65 | 140 |
| Oct | 21.90 | 678 | 2.87 | 89.0 |
| Nov | 13.90 | 418 | 1.78 | 53.3 |
| Dec | 11.40 | 355 | 1.44 | 44.5 |
| Year | 30.80 | 937 | 4.16 | 127 |
| Total for year | | 11200 | | 1520 |

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)
Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

JRC EUROPEAN COMMISSION **Photovoltaic Geographical Information System**

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

### Performance of Grid-connected PV

**PVGIS estimates of solar electricity generation**

Location: 45°39'19" North, 9°14'55" East, Elevation: 227 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 10.0 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 12.5% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.3%
Other losses (cables, inverter etc.): 12.0%
Combined PV system losses: 25.5%

| | Fixed system: inclination=15 deg., orientation=-45 deg. | | | |
|---|---|---|---|---|
| Month | Ed | Em | Hd | Hm |
| Jan | 13.70 | 424 | 1.70 | 52.6 |
| Feb | 22.80 | 639 | 2.84 | 79.5 |
| Mar | 32.80 | 1020 | 4.25 | 132 |
| Apr | 36.80 | 1100 | 4.91 | 147 |
| May | 43.60 | 1350 | 5.97 | 185 |
| Jun | 46.50 | 1400 | 6.50 | 195 |
| Jul | 49.40 | 1530 | 6.96 | 216 |
| Aug | 42.70 | 1320 | 6.00 | 186 |
| Sep | 34.30 | 1030 | 4.65 | 140 |
| Oct | 21.90 | 679 | 2.87 | 89.0 |
| Nov | 14.00 | 419 | 1.78 | 53.3 |
| Dec | 11.50 | 356 | 1.44 | 44.6 |
| Year | 30.90 | 939 | 4.16 | 127 |
| Total for year | | 11300 | | 1520 |

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)
Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

JRC EUROPEAN COMMISSION **Photovoltaic Geographical Information System**

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

### Performance of Grid-connected PV

**PVGIS estimates of solar electricity generation**

Location: 45°39'19" North, 9°14'55" East, Elevation: 227 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 5.0 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 12.4% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.5%
Other losses (cables, inverter etc.): 12.0%
Combined PV system losses: 25.6%

| | Fixed system: inclination=10 deg., orientation=45 deg. | | | |
|---|---|---|---|---|
| Month | Ed | Em | Hd | Hm |
| Jan | 6.33 | 196 | 1.59 | 49.2 |
| Feb | 10.80 | 302 | 2.69 | 75.4 |
| Mar | 15.90 | 493 | 4.11 | 128 |
| Apr | 18.20 | 545 | 4.84 | 145 |
| May | 21.70 | 674 | 5.95 | 185 |
| Jun | 23.30 | 700 | 6.52 | 195 |
| Jul | 24.70 | 766 | 6.96 | 216 |
| Aug | 21.10 | 655 | 5.94 | 184 |
| Sep | 16.70 | 501 | 4.53 | 136 |
| Oct | 10.50 | 326 | 2.76 | 85.6 |
| Nov | 6.53 | 196 | 1.67 | 50.2 |
| Dec | 5.25 | 163 | 1.33 | 41.3 |
| Year | 15.10 | 460 | 4.08 | 124 |
| Total for year | | 5520 | | 1490 |

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)
Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

**Figura 3 report producibilità PVGIS**

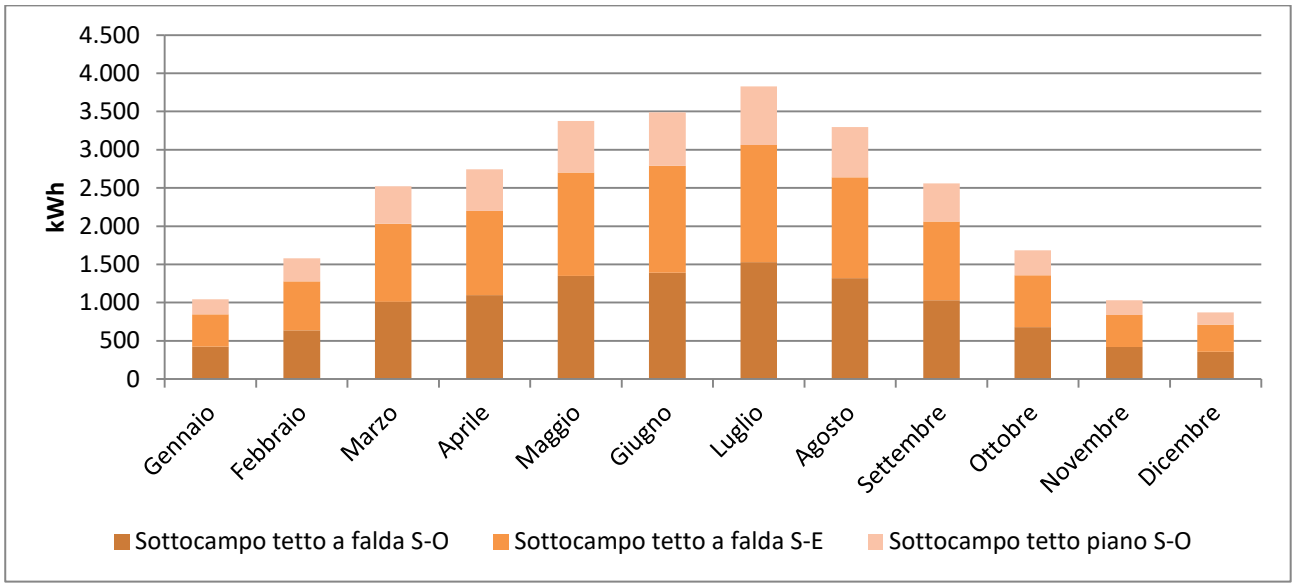


Figura 4 Andamento annuale producibilità impianto fotovoltaico scuola elementare

L' impianto fotovoltaico descritto, considerando una producibilità complessiva di 28.000 kWh all'anno e una perdita di efficienza annuale dei moduli pari a 0,8%, consentirebbe di produrre in 25 anni 636.750 kWh, che corrispondono ad un uguale risparmio di energia elettrica prodotta tramite impianti di generazione alimentati da combustibili di origine fossile, con conseguente beneficio per l'ambiente.

Il risparmio di combustibile fossile ottenibile è quantificabile tramite alcuni indicatori, le Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP) risparmiate per la produzione di energia elettrica e le tonnellate di $CO_2$ ($tCO_2$) non emesse in atmosfera grazie al medesimo risparmio. In particolare l'installazione dell'impianto in oggetto consentirebbe i seguenti risparmi:

| | |
|---|---|
| **TEP risparmiate in un anno** | 5,2 |
| **TEP risparmiate in 25 anni** | 119 |
| **$tCO_2$ risparmiate in un anno** | 15,5 |
| **$tCO_2$ risparmiate in 25 anni** | 353 |

Tabella 1 Risparmi di energia prodotta da fonte fossile (fonte: Rapporto ISPRA 212/2015)

# 5 Dimensionamento impianto

I principali componenti di un impianto fotovoltaico sono:

- Moduli fotovoltaici
- Gruppi di conversione
- Strutture di supporto
- Quadri elettrici
- Cavi elettrici

- Contatori di energia elettrica

Nell'immagine seguente è riportato lo schema a blocchi dell'impianto.

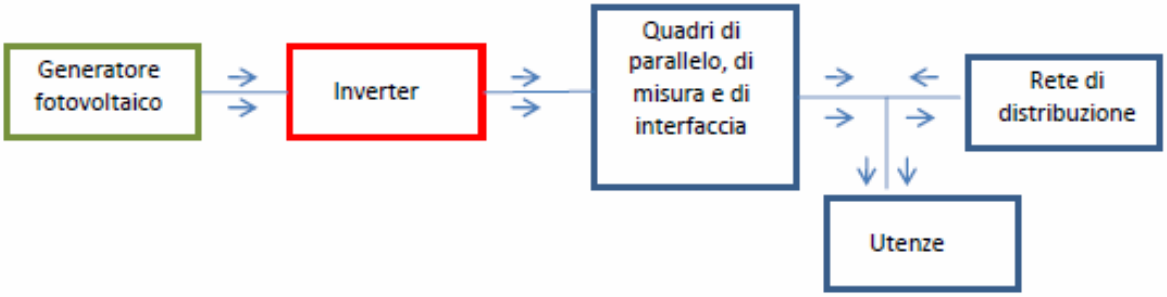


Figura 5 Schema a blocchi impianto FV

## 5.1 Moduli fotovoltaici

Il modulo fotovoltaico proposto (di potenza pari a 250 Wp) è costituito da 60 celle di silicio policristallino collegate in serie utilizzando sottili nastri metallici elettrosaldati. L'incapsulamento ed il fissaggio delle celle fotovoltaiche avviene attraverso due lastre di EVA (Vinilacetato di etilene) trasparenti che contengono additivi che ritardano l'ingiallimento delle celle dovuto all'esposizione ai raggi ultravioletti durante la vita operativa del modulo. Il vetro frontale è termicamente temprato e la sua superficie presenta una trasmittanza, ovvero una capacità di essere attraversato dalla luce solare, elevata, ciò al fine di non pregiudicare il rendimento complessivo del modulo. Infine sul retro delle celle, a chiusura del sandwich realizzato, viene utilizzato un foglio di color bianco di pellicola composita in grado di resistente all'acqua ed alle intemperie. Sul bordo dei moduli è presente un telaio in alluminio anodizzato resistente alla torsione e privo di camera a vuoto in modo da evitare problemi d'infiltrazione ed eventuali danni causati dal gelo e dall'umidità.

Le tolleranze solo positive fino a +5% garantiscono massima potenza senza compromesso. Pertanto la potenza nominale, garantita in ogni caso, può solo essere superata. Il modulo ha una perdita di potenza al grado centigrado di soli 0,41%/°C.

I moduli si distinguono per tecnologia di celle policristalline con grado di efficienza maggiore al 15,00%.

I moduli fotovoltaici sono coperti da garanzia attestante un decadimento della potenza erogata non superiore al 0,7% nell'arco del primo anno, e non superiore al 18 % nell'arco di 25 anni.

La garanzia sul prodotto è di anni dieci (10) per i difetti di fabbrica. Il modulo così adottato è in grado di rispondere ai requisiti funzionali, strutturali ed architettonici previsti per l'installazione dello stesso. Le caratteristiche elettriche, termiche e meccaniche del modulo sono state verificate attraverso prove in laboratorio che rispondono agli standard qualitativi previsti dalla norma CEI EN 61215 per i moduli al Silicio Cristallino. La certificazione sulla base delle più strette normative internazionali è ulteriore sinonimo di massima qualità. Una serie di diodi bypass, posta sul retro dei moduli evita un surriscaldamento delle

singole celle fotovoltaiche (effetto hot-spot). I moduli garantiscono una resistenza al carico di 5400 Pa e sono in possesso della certificazione IEC 61730.

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche elettriche (misurate alle condizioni standard), meccaniche e le certificazioni che il modulo deve avere:

| | |
|---|---|
| **Potenza massima** | 250 Wp |
| **Tensione a vuoto** | 37,6 V |
| **Tensione a massima potenza** | 30,5 V |
| **Corrente di corto circuito** | 8,81 A |
| **Corrente a massima potenza** | 8,27 A |
| **Rendimento** | 14,91% |
| **Dimensioni** | 1675 x 1001 x 33 mm |
| **Peso** | 18 kg |
| **Certificazioni** | TUV |
| **Garanzia rendimento** | 0,7% all'anno per 25 anni |
| **Garanzia prodotto** | 10 anni |

## 5.2 Gruppi di conversione

Il Gruppo di conversione permette la conversione dell'energia elettrica da corrente continua prodotta dai moduli fotovoltaici a corrente alternata. Essendo tensione e frequenza imposti dalla rete elettrica (230/400V e 50 Hz), l'inverter deve sincronizzarsi con quest'ultima e comportarsi come un generatore pressoché ideale di corrente alternata.
L'energia cosi convertita viene resa disponibile sia per l'autoconsumo, attraverso il parallelo con il sistema di distribuzione dell'utente, che per l'immissione nella rete del distributore locale. Per l'impianto della scuola elementare verranno utilizzati due inverter con potenza rispettivamente pari a 12,5 kW e 5,8 kW, mentre per l'impianto sulla palestra saranno utilizzati due inverter con potenza nominale pari a 20 kW ciascuno.
Ogni inverter è fornito di un circuito inseguitore del punto di massima potenza o Maximum Power Point Tracker (MPPT) sulla curva caratteristica I-V del generatore: mediante una sofisticata procedura di calcolo eseguita dal microprocessore, il gruppo di conversione determina il punto ottimale di lavoro del campo fotovoltaico che corrisponde alla massima potenza generabile dal campo fotovoltaico nelle condizioni di insolazione in cui si trova.
Il dispositivo di conversione utilizza un ponte a IGBT ad alta frequenza di commutazione che trasforma la corrente continua in corrente alternata. Un differenziale di classe B integrato e conforme alla normativa IEC 60755 assicura i criteri di sicurezza previsti dalla CEI 64-8/7. L'inverter risulta conforme alle direttive Europee sulla Compatibilità Elettromagnetica (EMC); presenta infatti dei filtri EMC per la soppressione dei disturbi elettromagnetici; il gruppo di conversione, inoltre, è dotato di un Tester di isolamento ovvero di un sensore che verifica continuamente l'isolamento tra le polarità del campo fotovoltaico e la terra; tale funzione è realizzata mediante la misura della resistenza di isolamento. L'apparecchiatura è tarata per segnalare la perdita di isolamento quando la resistenza di isolamento tra la polarità +, o la polarità - e la terra scende al di sotto di 1 MOhm. L'inverter risulta essere dotato di opportune protezioni per i cortocircuiti e di varistori in grado di proteggerlo da pericolose sovratensioni indotte da fulminazioni dirette o indirette. Onde evitare l'accesso di personale non addetto, gli inverter saranno sistemati in un'area opportunamente scelta e sufficientemente areata in modo da non compromettere le prestazioni degli stessi per eccessivo surriscaldamento della temperatura di esercizio. Non sarà necessario l'utilizzo di un

trasformatore di isolamento per garantire la separazione galvanica tra parte in corrente continua e corrente alternata poiché è presente una cabina di trasformazione di proprietà del committente.
Dai gruppi di conversione partirà una linea trifase in corrente alternata, opportunamente sezionata, che verrà connessa in parallelo all'impianto elettrico del richiedente e protetta mediante interruttore magnetotermico installato in prossimità del quadro generale attualmente esistente.

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche che le tre tipologia di inverter devono avere:

| | Inverter 1 | Inverter 3 |
|---|---|---|
| **Potenza nominale in ingresso** | 5.950 W | 20.750 W |
| **Numero di MPPT** | 1 | 2 |
| **Potenza max per ogni MPPT** | 6.050 W | 12.000 W |
| **Intervallo di tensione** | 320 – 800 V | 440 – 800 V |
| **Massima corrente in ingresso /per ogni MPPT** | 18,9A | 50A/25A |
| **Massima corrente di cortocircuito per ogni MPPT** | 24 A | 30 A |
| **Potenza nominale in uscita** | 5.800 W | 20.000 W |
| **Tensione di uscita** | 400 V | 400 V |
| **Massima corrente in uscita** | 10 A | 33 A |
| **Contributo alla corrente di cortocircuito** | 12 A | 35 A |
| **Efficienza massima** | 98% | 98,2% |
| **Garanzia** | 10 anni | 10 anni |

### 5.2.1 Configurazione impianto

Le caratteristiche principali dell'impianto fotovoltaico della scuola elementare sono:
Potenza nominale: 25 kWp
Moduli fotovoltaici: n. 100 moduli in silicio policristallino da 250 Wp
Gruppi di conversione (inverter): n.2 inverter con potenza nominale di 20 kW e 5,8 kW
La cui configurazione elettrica è la seguente:
Inverter 1 – Pn = 20kW
MPPT1: 2 stringhe da 20 moduli ciascuna
MPPT2: 2 stringhe da 20 moduli ciascuna

Inverter 2 – Pn = 5,8 kW
MPPT1: 1 stringa da 20 moduli

La connessione con la rete di distribuzione è di tipo trifase in bassa tensione.
Nell'immagine seguente viene mostrato come sono stati configurati gli impianti

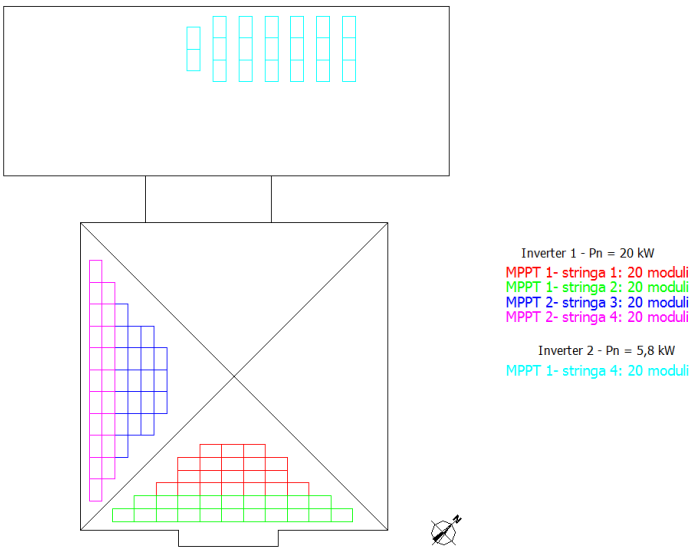


**Figura 6 Configurazione elettrica degli impianti**

Si può notare come per l'impianto della palestra si è avuto cura di collegare allo stesso inseguitore moduli con la stessa inclinazione in modo tale da non avere perdite sulla producibilità

## 5.3 Strutture di supporto

La struttura di supporto dei moduli fotovoltaici è composta da componenti costruiti impiegando alluminio ed acciaio inox: l'uso di materiali pregiati garantisce elevata durata nel tempo e resistenza alla corrosione e agli agenti atmosferici anche in condizioni di forte stress. Le strutture di supporto, oltre ad avere un sistema di fissaggio che rispetta pienamente le normative relative alla sicurezza, sono state progettate, realizzate e collaudate in base ai principi generali delle leggi 1086/71 (Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica) e 64/74 (Provvedimenti per i costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche) nonché tenendo conto del Testo Unico Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008). In particolare, tali strutture sono state dimensionate per resistere alle seguenti sollecitazioni di carico:

- Carico permanente: peso moduli;
- Sovraccarichi: Carico da neve, Azione del vento, Variazioni termiche (scarto di temperatura rispetto a quella iniziale di riferimento), Effetti sismici.

I moduli sono stati installati in modo complanare alla falda, tramite staffe avvitate all'orditura secondaria della copertura. Nel dettaglio le strutture sono composte da:

- Struttura  adatte al fissaggio su copertura inclinata e piana
- Profilo di tipo G per il fissaggio alle staffe
- Giunzioni per profilo da inserire all'interno
- Morsetti centrali e terminali per il fissaggio dei moduli ai profili

## 5.4 Quadri elettrici

### 5.4.1 Quadri in CC

Data la configurazione elettrica dell'impianto, è stato installato n° 1 quadri di parallelo, che provvede a effettuare il parallelo delle stringhe connesse agli inseguitori dell'inverter 1. Il quadro effettua la protezione di ciascuna stringa da correnti inverse e sono presenti dei fusibili sezionatori su ciascuna stringa per la protezione ed il sezionamento delle linee. Le uscite positive e negative dei sezionatori sono connesse in parallelo. Diverso è il caso dell'inverter 2 dove è presente un'unica stringa connessa direttamente all'inverter sulla quale saranno comunque presenti le protezioni sopra dette.

### 5.4.2 Quadri in CA

I quadri di campo già descritti consentono il parallelo delle stringhe e la loro connessione con gli inverter, che trasformano l'energia elettrica in corrente continua prodotta dall'impianto in energia in corrente alternata, che può essere utilizzata dalle utenze e immessa in rete. Ciascun inverter, e di conseguenza il corrispettivo sottocampo che lo precede, è sezionabile dalla restante parte dell'impianto da un interruttore magnetotermico (DDG1 e DDG2). A valle di tali interruttori è presente un terzo interruttore magnetotermico (DDG) che consente il parallelo delle due linee presente fino a questo momento rimaste distinte.
Gli interruttori sono stati dimensionati sulla base della corrente nominale di uscita dagli inverter, di conseguenza sono stati scelti i seguenti:
DDG1: interruttore magnetotermico 4P In=32A, 400 V, P.I 6 kA curva C
DDG2: interruttore magnetotermico 4P In=10A, 400 V, P.I 6 kA curva C
DDG: interruttore magnetotermico 4P In=63A, 400 V

A valle del quadro si trova il contatore di produzione, alloggiato in un apposito contenitore in resina.
Per separare l'impianto dal quadro delle utenze già presenti nell'edificio, viene installato un quadro di interfaccia (DDI).
La linea in uscita, successivamente al parallelo con il quadro elettrico generale lato utente, è connessa alla rete di distribuzione trame il dispositivo generale (DG), collocato a monte del contatore di scambio bidirezionale. Tale dispositivo è costituito da un interruttore magnetotermico differenziale 4P In=63A, 400 V, P.I. 10 kA.

## 5.5 Cavi elettrici

Il cablaggio elettrico avverrà per mezzo di cavi con conduttori isolati in rame con le seguenti prescrizioni:

| | Tipologia cavi |
|---|---|
| Sezione c.c. moduli - Inverter | Cavo solare F21M21 |
| Sezione c.a. | FG7(O)R / FG7R / N07V-K |

**A. Lato C.C. - Cavi sezione 6 mm$^2$ (**moduli – inverter**)**
Tipologia: Cavo unipolare solare F21M21, 2x1x6 mm$^2$

Tensione di esercizio: 0,6-1 kV

**B. Lato C.A. - Cavi sezione 10 mm$^2$** (inverter1 – DDG1)
Tipo: Cavo pentapolare FG7OR 5G10
Cavo unipolare N07V-K 4x1x6 mm$^2$
Tensione di esercizio: 0,6-1 kV

**B. Lato C.A. - Cavi sezione 6 mm$^2$** (inverter2 – DDG2)
Tipo: Cavo pentapolare FG7OR 5G10
Cavo unipolare N07V-K 4x1x6 mm$^2$
Tensione di esercizio: 0,6-1 kV

**B. Lato C.A. - Cavi sezione 16 mm$^2$** (DDG - DG)
Tipo: Cavo unipolare FG7R 4x1x10 mm$^2$
Cavo unipolare N07V-K 4x1x10 mm$^2$
Tensione di esercizio: 0,6-1 kV

Per la posa dei cavi si utilizzeranno:

- canalizzazioni in tubo rigido, da posare a muro o su strutture metalliche, diametro 40 mm, inclusi tutti gli accessori per l'installazione, curve, cassette di derivazione e altri pezzi speciali (dai moduli ai quadri di parallelo);

- canalizzazioni in tubo corrugato flessibile per esterno, diametro 110 mm, inclusi tutti gli accessori per l'installazione, curve, cassette di derivazione e altri pezzi speciali (dai quadri di parallelo all'inverter).

| **Linea** | **Tipologia di cavo** | **Sezione** | **Tipologia di tubo** |
|---|---|---|---|
| Moduli FV – inverter | F21M21 | 6 | In aria |
| inverter - DG | FG7(O)R | 6/10/16 | Rigido |

I cavi sono a norma CEI 20-13, CEI 20-22 II, CEI 20-34, marchiatura I.M.Q., ed è stato rispettato il codice dei colori.

Per non compromettere la sicurezza di chi opera sull'impianto durante la verifica, l'adeguamento o la manutenzione, i conduttori hanno la seguente colorazione:

- Conduttore di protezione: giallo-verde (obbligatorio)
- Conduttore di neutro: blu chiaro (obbligatorio);
- Conduttore di fase: grigio/marrone/nero;
- Conduttore per circuiti in c.c.: chiaramente siglato con indicazione del positivo con "+" e del negativo con "-"

### 5.5.1 Variazione della tensione con la temperatura perla sezione c.c.

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

- $V_{m\ min} \geq V_{inv\ MPPT\ min}$
- $V_{m\ max} \leq V_{inv\ MPPT\ max}$
- $V_{oc\ max} < V_{inv\ max}$

$V_{inv\ MPPT\ min}$ e $V_{inv\ MPPT\ max}$ rappresentano, rispettivamente, i valori minimo e massimo della finestra di tensione utile per la ricerca del punto di massima potenza, mentre la $V_{inv\ max}$ è il massimo valore di tensione c.c. ammissibile ai morsetti dell'inverter.

Considerando una variazione della tensione a circuito aperto di ogni modulo in dipendenza della temperatura e i limiti di temperatura estremi della temperatura ambiente pari a 0 °C e +40°C, $V_m$ e $V_{oc}$ assumono valori differenti rispetto a quelli misurati a STC (25 °C).

| Moduli per stringa | $Vm_{min}$ | | $V_{inv\ MPPT\ min}$ | $Vm_{max}$ | | $V_{inv\ MPPT\ max}$ | $Voc_{max}$ | | $V_{inv\ max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 517 V | > | 320 V | 765 V | < | 800 V | 907 V | < | 1000 V |
| 20 | 517 V | > | 440 V | 765 V | < | 800 V | 907 V | < | 1000 V |

Le disuguaglianze risultano rispettate e pertanto si può concludere che vi è compatibilità tra le stringhe dei moduli fotovoltaici e l'inverter utilizzato.

## 5.6 Contatori di energia elettrica

Il Distributore di Rete, all'atto di messa in parallelo dell'impianto, dovrà installare due gruppi di misura:

- Un **misuratore dell'energia totale prodotta** dal sistema fotovoltaico da posizionare a valle del generatore fotovoltaico.
- Un **misuratore bidirezionale di energia immessa e auto consumata**, in quanto l'impianto servirà ad alimentare le utenze presenti nell'edificio e cederà in rete la quota eccedente.

# 6 Verifica Tecnico-Funzionale

A lavori ultimati l'installatore dell'impianto effettuerà le seguenti verifiche tecnico-funzionali:

- continuità elettrica e le connessioni tra moduli;
- messa a terra di masse e scaricatori;
- isolamento dei circuiti elettrici dalle masse;
- corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni di potenza generata e nelle varie modalità previste dal gruppo di conversione (accensione, spegnimento, mancanza rete,

ecc.);

- condizione: $P_{cc} > 0,85*P_{nom} *I / I_{STC}$, ove:
  - $P_{cc}$ è la potenza (in kW) misurata all'uscita del generatore fotovoltaico, con precisione migliore del 2%,
  - $P_{nom}$ è la potenza nominale (in kW) del generatore fotovoltaico;
  - I è l'irraggiamento (in W/m²) misurato sul piano dei moduli, con precisione migliore del 3%;
  - $I_{STC}$, pari a 1000 W/m², è l'irraggiamento in condizioni standard;

  Tale condizione deve essere verificata per I>600 W/m$^2$

- condizione: Pca > 0,9*Pcc, ove: Pca è la potenza attiva (in kW) misurata all'uscita del gruppo di conversione, con precisione migliore del 2%;

  Tale condizione deve essere verificata per Pca > 90% della potenza di targa del gruppo di conversione della corrente continua in corrente alternata.