Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU

Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA

Energia dal Sole
Per Esplorare l'Universo

Training Meeting
NG-Croce

Lunedì 12 Maggio - Giovedì 15 Maggio

Radiotelescopi di Medicina
IRA - Bologna

PNRR NG-CROCE

STUDIO TECNICO ALTIERI FABIO

DATI GENERALI

Ubicazione impianto

Identificativo:	*Radiotelescopi di Noto FV*
Indirizzo:	*Contrada Renna Bassa*
CAP-Comune:	*Noto, SR 96017*

Committente

Identificativo	*Istituto Nazionale di Astrofisica (I.N.A.F.)* *Istituto di Radioastronomia (I.R.A.)*
Indirizzo	*-*
CAP-Comune	*-*

Tecnico

Identificativo	*Studio Tecnico Altieri Fabio*
Indirizzo	*Via Mario Poledrelli, n.2*
CAP-Comune	*44121 - Ferrara (FE)*

PREMESSA

Valenza dell'iniziativa

Con la realizzazione dell'impianto, denominato "Radiotelescopi di Noto FV", si intende ottenere un ampio risparmio energetico per la struttura, sfruttando il potenziale illimitato e pulito dell'energia solare. L'adozione di questa tecnologia rinnovabile risponde a una molteplicità di esigenze strategiche e tecniche, fondamentali per garantire il corretto funzionamento e la sostenibilità della struttura. In particolare, il ricorso al fotovoltaico nasce dalla necessità di:

Rispetto ambientale e integrazione architettonica: *Il fotovoltaico si integra armoniosamente con l'edificio, preservando l'estetica e riducendo l'impatto visivo, a vantaggio del paesaggio circostante.*

Operatività silente e compatibilità elettromagnetica: *Grazie alla natura completamente silenziosa della tecnologia solare, l'impianto non genera interferenze elettromagnetiche, assicurando così un funzionamento ottimale delle antenne dei radiotelescopi.*

Riduzione della dipendenza dai combustibili fossili: *Utilizzando una fonte energetica inesauribile e pulita, il sistema diminuisce la necessità di ricorrere a combustibili fossili, contribuendo a contenere le emissioni di gas serra e a promuovere la sostenibilità.*

Normativa di riferimento

Gli impianti devono essere realizzati a regola d'arte, nel pieno rispetto delle normative vigenti, in particolare secondo quanto stabilito dal D.M. 22 gennaio 2008, n. 37. Tale decreto, emanato dal Ministero dello Sviluppo Economico, definisce i requisiti minimi e le disposizioni tecniche per l'installazione degli impianti all'interno degli edifici, in linea con le esigenze di sicurezza e qualità. In pratica, le caratteristiche costruttive e funzionali degli impianti, così come dei relativi componenti, devono essere conformi a:

- Le prescrizioni delle autorità locali, inclusi i requisiti imposti dai Vigili del Fuoco;
- Le indicazioni tecniche e operative fornite dalla Società Distributrice di energia elettrica;
- Le direttive specifiche del gestore della rete;
- Le norme tecniche del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), che fissano standard elevati in termini di sicurezza e prestazioni.

ATTENZIONE PER L'AMBIENTE

Attenzione per l'ambiente

Attualmente, quasi tutta l'energia elettrica viene prodotta da impianti termoelettrici che utilizzano combustibili fossili. Considerando una produzione stimata al primo anno pari a 110.595 kWh e una perdita di efficienza annuale dello 0,90%, le seguenti valutazioni si riferiscono a un ciclo operativo dell'impianto di 20 anni.

Risparmio sul combustibile

Un indicatore fondamentale per valutare il risparmio di combustibile derivante dall'impiego di fonti energetiche rinnovabili è il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria (espresso in TEP/MWh). Questo coefficiente quantifica le T.E.P. (Tonnellate Equivalenti di Petrolio) necessarie per produrre 1 MWh di energia elettrica con metodi tradizionali, evidenziando così le TEP risparmiate grazie all'adozione di tecnologie fotovoltaiche.

Risparmio di combustibile in	TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio)
Fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria [TEP/MWh]	*0.187 TEP*
TEP risparmiate in un anno	*20.60 TEP*
TEP risparmiate in 20 anni	*413.5 TEP*

Emissioni evitate in atmosfera

Inoltre, l'impianto fotovoltaico consente la riduzione di emissioni in atmosfera delle sostanze che hanno effetto inquinante e di quelle che contribuiscono all'effetto serra.

Emissioni evitate in atmosfera	*CO_2*	*SO_2*	*NOx*	*Polveri*
Emissioni specifiche in atmosfera [g/kWh]	*400–500 g/kWh*	*1–2 g/kWh*	*1–2 g/kWh*	*0,3–0,5 g/kWh*
Emissioni evitate in un anno [kg]	*55.297,5 kg*	*165,9 kg*	*165,9 kg*	*44,24 kg*
Emissioni evitate in 20 anni [kg]	*1.105.950 kg*	*3.318 kg*	*3.318 kg*	*884,8 kg*

SITO DI INSTALLAZIONE

Installazione

Il dimensionamento energetico dell'impianto fotovoltaico connesso alla rete del distributore è stato eseguito tenendo in debita considerazione, oltre alla disponibilità economica, anche i seguenti aspetti:

Disponibilità degli spazi: *La scelta dei siti di installazione è stata valutata attentamente per garantire un'adeguata area di posa, indispensabile per massimizzare la superficie fotovoltaica installabile.*

Disponibilità della fonte solare: *L'analisi della radiazione solare sul sito ha permesso di stimare il potenziale energetico, assicurando che l'impianto possa sfruttare al meglio l'energia disponibile.*

Fattori morfologici e ambientali: *Sono stati considerati elementi quali l'ombreggiamento e l'albedo, per valutare e mitigare eventuali perdite di rendimento causate da ostacoli o riflessi, ottimizzando così la produzione energetica.*

Disponibilità di spazi

Il sito di installazione dell'impianto fotovoltaico è descritto in dettaglio nei paragrafi seguenti. Il progetto prevede la realizzazione di un impianto a terra, orientato verso sud-ovest, finalizzato alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. In questo contesto, si fa riferimento all'investimento denominato « rafforzamento e creazione di infrastrutture di ricerca », « del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) »

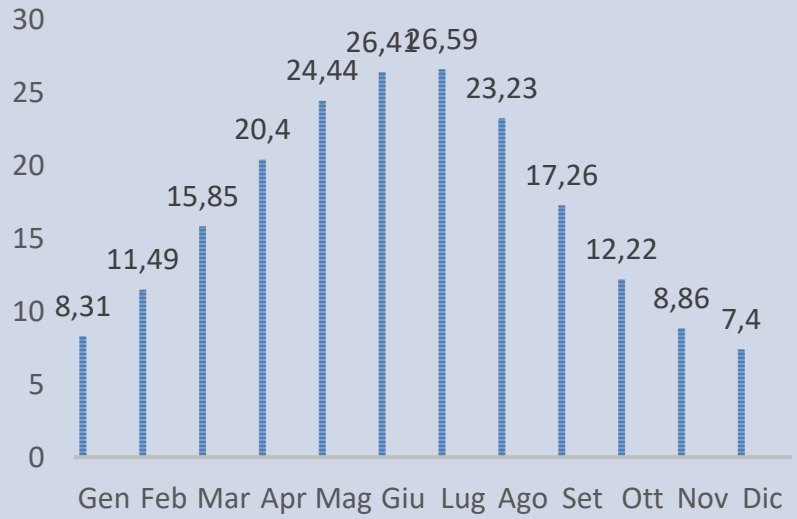
DISPONIBILITÀ DELLA FONTE SOLARE

Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale

- Latitudine: 36°52'51.267"; longitudine: 14°58'31.302"
- Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale: UNI 8477/1
- Unità di misura: MJ/m2
- Calcolo per tutti i mesi

Mese	Ostacolo	Rggmm su sup.orizz.		Errore
Gennaio	assente	8.31	MJ/m^2	
Febbraio	assente	11.49	MJ/m^2	
Marzo	assente	15.85	MJ/m^2	
Aprile	assente	20.40	MJ/m^2	
Maggio	assente	24.44	MJ/m^2	
Giugno	assente	26.41	MJ/m^2	
Luglio	assente	26.59	MJ/m^2	
Agosto	assente	23.23	MJ/m^2	
Settembre	assente	17.26	MJ/m^2	
Ottobre	assente	12.22	MJ/m^2	
Novembre	assente	8.86	MJ/m^2	
Dicembre	assente	7.40	MJ/m^2	

Radiazione globale annua sulla superficie orizzontale: 6172 MJ/m^2 (anno convenzionale di 365.25 giorni)



PROCEDURE DI CALCOLO

Criterio generale di progetto

Il principio progettuale fondamentale per un impianto fotovoltaico è massimizzare la captazione della radiazione solare annua. Ideale sarebbe esporre il generatore in modo ottimale, privilegiando l'orientamento a Sud ed eliminando ogni possibile ombreggiamento che potrebbe ridurre l'efficienza. Tuttavia, in presenza di vincoli architettonici derivanti dalla struttura ospitante, possono essere adottati orientamenti alternativi e tollerati alcuni fenomeni di ombreggiamento, purché questi siano valutati con attenzione. In tali casi, le perdite d'energia incidono direttamente sul costo del kWh prodotto e sul tempo di ritorno dell'investimento. Per quanto riguarda le installazioni su tetti piani o a terra, la scelta dell'orientamento e dell'inclinazione dei moduli è di particolare importanza. Si preferisce mantenere il piano dei moduli il più possibile vicino all'inclinazione ottimale di 30°, al fine di massimizzare la produzione energetica.

Criterio di stima dell'energia prodotta

L'energia generata da un impianto fotovoltaico dipende da molteplici fattori. In primis, il sito di installazione influisce notevolmente sulla produzione: elementi quali la latitudine, la radiazione solare disponibile, la temperatura ambiente e la riflettanza della superficie posizionata dietro i moduli determinano il potenziale energetico del sito. Inoltre, l'esposizione dei moduli è fondamentale e viene definita dagli angoli di inclinazione (Tilt) e di orientamento (Azimut), mentre eventuali fenomeni di ombreggiamento o insudiciamenti possono ridurre l'efficienza del generatore.

Altri aspetti rilevanti sono le caratteristiche tecniche intrinseche dei moduli fotovoltaici, come la potenza nominale, il coefficiente di temperatura e le perdite dovute a disaccoppiamento o mismatching. Infine, le performance dell'impianto sono influenzate anche dal Balance Of System (BOS), ovvero l'insieme delle componenti ausiliarie. Il contributo del BOS alle perdite totali può essere stimato direttamente oppure valutato come complemento all'unità, utilizzando la seguente formula per il totale delle perdite espresse in percentuale:

$$\text{Totale perdite [\%]} = [1 - (1 - a - b) \times (1 - c - d) \times (1 - e) \times (1 - f)] + g$$

dove: • ***a*** *rappresenta le perdite per riflessione,* • ***b*** *quelle per ombreggiamento,* • ***c*** *le perdite per mismatching,* • ***d*** *quelle dovute all'effetto della temperatura,* • ***e*** *le perdite nei circuiti in corrente continua,* • ***f*** *le perdite negli inverter,* • ***g*** *le perdite nei circuiti in corrente alternata.*

PROCEDURE DI CALCOLO

Criterio di verifica elettrica

Tensione MPPT:
Per garantire il corretto funzionamento del Maximum Power Point Tracker (MPPT) dell'inverter, è necessario rispettare i seguenti vincoli relativi alla tensione nel punto di massima potenza (Vm):
A 70 °C (temperatura massima di esercizio): *La tensione Vm deve essere maggiore o uguale al valore minimo richiesto per il funzionamento del MPPT, ossia: Vm (70 °C) ≥ $V_{mppt\,min}$*
A -10 °C (temperatura minima di esercizio): *La tensione Vm deve essere minore o uguale al valore massimo ammissibile dal sistema MPPT, ovvero: Vm (−10 °C) ≤ $V_{mppt\,max}$*
Questi due vincoli definiscono l'intervallo di tensione (la "finestra MPPT") utile per la ricerca del punto di massima potenza e garantiscono che il sistema lavori sempre all'interno della banda di tensione ottimale, anche ai limiti estremi delle temperature operative.

Tensione Massima di Ingresso all'Inverter:
La tensione di circuito aperto (Voc) dei moduli varia al variare della temperatura. Poiché il Voc aumenta quando la temperatura diminuisce, è fondamentale verificare che:
A -10 °C: *Il Voc misurato a questa temperatura debba essere minore o uguale alla tensione massima di ingresso prevista per l'inverter. In altre parole: Voc (−10 °C) ≤ $V_{inverter\,max}$*
Questo vincolo evita che, in condizioni di bassa temperatura, il sistema produca tensioni superiori a quelle che l'inverter è in grado di gestire, salvaguardandone l'integrità e le prestazioni.

Tensione Massima del Modulo:
Analogamente ai vincoli relativi all'inverter, deve essere verificato che:
A -10 °C: *Il Voc misurato sui moduli non superi la tensione massima di sistema specificata per il modulo stesso, ossia: Voc (−10 °C) ≤ $V_{modulo\,max}$*
Questo parametro assicura la sicurezza operativa e la conformità dei moduli agli standard di tensione del sistema.

Corrente Massima:
Per quanto riguarda la corrente, è essenziale che:
La corrente di corto circuito (Isc) generata dai moduli sia minore o uguale alla corrente massima di ingresso ammessa dall'inverter: Isc ≤ $I_{inverter\,max}$
Ciò garantisce che, anche nelle condizioni di corrente massima, l'inverter operi in modo sicuro e senza rischi di sovraccarico.

Dimensionamento dell'Impianto:
Il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico, in relazione all'inverter, si esprime come il rapporto percentuale tra la potenza nominale dell'inverter e la potenza del generatore fotovoltaico ad esso collegato. Il valore di questo rapporto deve essere compreso tra il 70% e il 120%. In caso di sottoimpianti con MPPT multipli, il dimensionamento va verificato per ciascun sottoimpianto complessivamente.

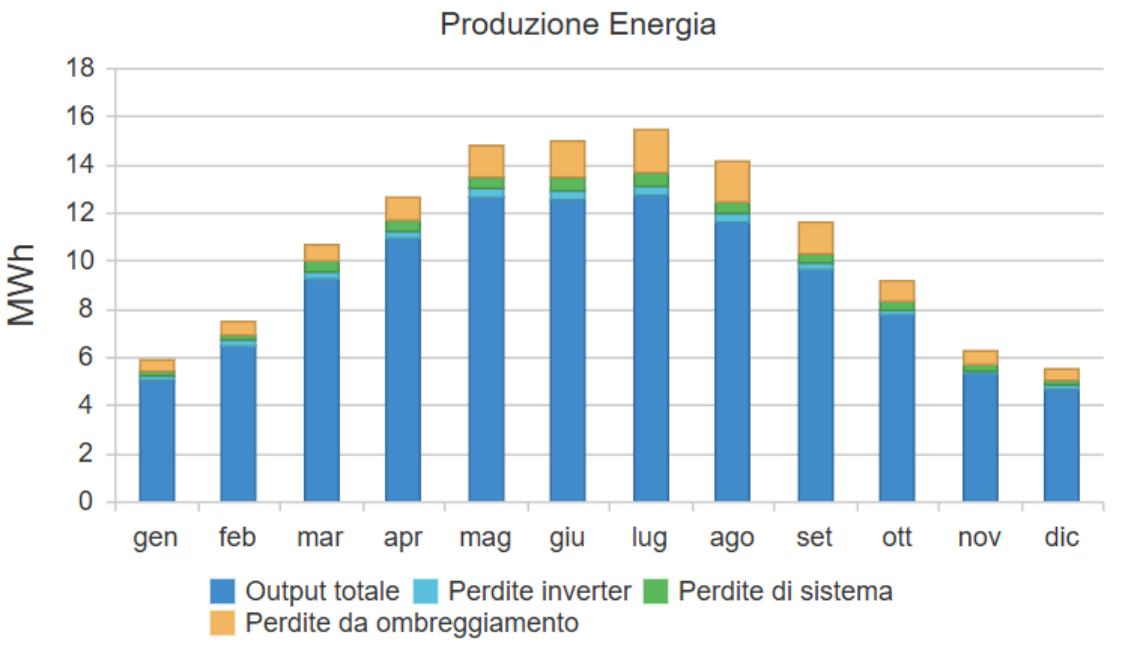
Questi vincoli e parametri operativi sono fondamentali per garantire che l'impianto fotovoltaico operi in maniera sicura ed efficiente, sfruttando al meglio la radiazione solare in tutti i range di temperatura e assicurando l'integrazione corrette sia con l'inverter sia con i moduli.

DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO

Impianto Radiotelescopi di Noto FV

L'impianto, denominato "Radiotelescopi di Noto FV" (CODICE CUP C53C22000880006), è di tipo grid-connected, la tipologia di allaccio è: trifase in media tensione. Ha una potenza totale pari a 73.73 kW e una produzione di energia annua pari a 110.595 kWh, derivante da 146 moduli che occupano una superficie di 348,83 m².

ENERGIA PRODOTTA



Dati principali della simulazione

Mese	Ta °C	EPOA MWh	EShading MWh	EEff MWh	EGrid MWh
Gennaio	11,80	5,93	5,47	5,26	5,09
Febbraio	11,67	7,45	6,98	6,71	6,50
Marzo	13,48	10,70	10,00	9,61	9,31
Aprile	15,74	12,61	11,73	11,27	10,93
Maggio	19,41	14,77	13,54	13,01	12,62
Giugno	23,58	15,02	13,48	12,96	12,58
Luglio	27,67	15,51	13,68	13,15	12,76
Agosto	27,96	14,18	12,51	12,03	11,67
Settembre	24,37	11,59	10,34	9,94	9,64
Ottobre	21,01	9,14	8,32	8,00	7,75
Novembre	16,89	6,25	5,70	5,48	5,30
Dicembre	13,62	5,52	5,06	4,87	4,71
Produzione annuale	18,98	128,67	116,80	112,26	108,86

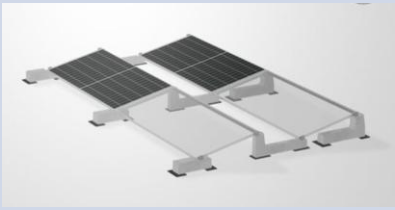
Ta: Temperatura media EPOA: Produzione globale piano inclinato
EShading: Produzione piano inclinato con perdite ombre EGrid: Energia globale immessa in rete
EEff: Produzione globale con perdite di sistema

SPECIFICHE DEGLI ALTRI COMPONENTI DELL'IMPIANTO

Tipologia di struttura (STRUTTURE IN CEMENTO SUN BALLAST):

Nel presente progetto, i moduli fotovoltaici saranno installati su sistema Connect Sun Ballast® un sistema brevettato di fissaggio a zavorre per moduli fotovoltaici estremamente semplice perché è costituito unicamente da zavorre in cemento concatenate tra di loro: una anteriore, una centrale e una terminale che chiude le file di pannelli. E' facile e veloce da installare, la resistenza al vento è certificata e i carichi sulla copertura molto limitati (max 20-25 Kg/mq compreso il peso dei pannelli).

Le inclinazioni disponibili vanno da 5° a 30° con posa orizzontale dei pannelli, mentre per la posa verticale e quindi i pannelli inclinati sui lati lunghi è possibile utilizzare un'inclinazione di 10°.



Tipologia di Inverter fotovoltaico (SUN2000-100KTL-M1):

Il Huawei SUN2000-100KTL-M1 è un inverter fotovoltaico trifase di alta potenza, progettato per impianti solari commerciali e industriali. Huawei è una delle aziende leader nel settore delle soluzioni energetiche, e questo modello in particolare offre diverse caratteristiche avanzate per ottimizzare la produzione di energia e garantire prestazioni elevate e affidabili.

Potenza nominale: 100 kW
Potenza massima di ingresso: 110 kW
Tensione di ingresso DC: 600-1100 V
Numero di MPPT (Maximum Power Point Tracker): 4 MPPT indipendenti, che permettono di ottimizzare la produzione energetica anche in caso di ombreggiamento parziale o orientamenti diversi delle stringhe fotovoltaiche.
Corrente massima di ingresso per stringa: 25 A per stringa (per ogni MPPT)

Tensione di uscita AC (rendimento di rete): 380 V trifase
Corrente nominale in uscita: 145.6 A
Frequenza di uscita: 50/60 Hz (automatico)
Rendimento massimo: Fino al 98.6%, uno dei valori più alti per inverter di questa fascia di potenza.

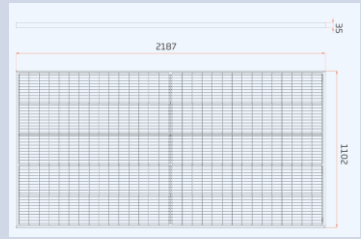
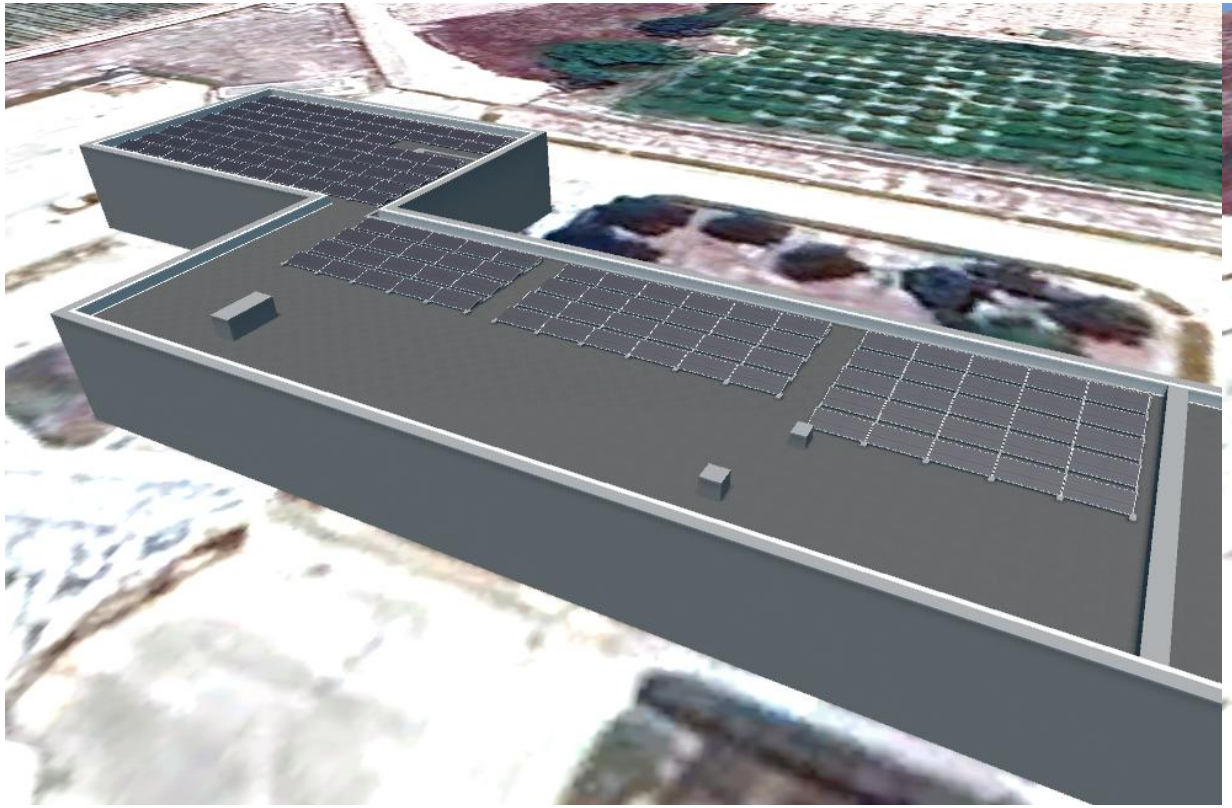
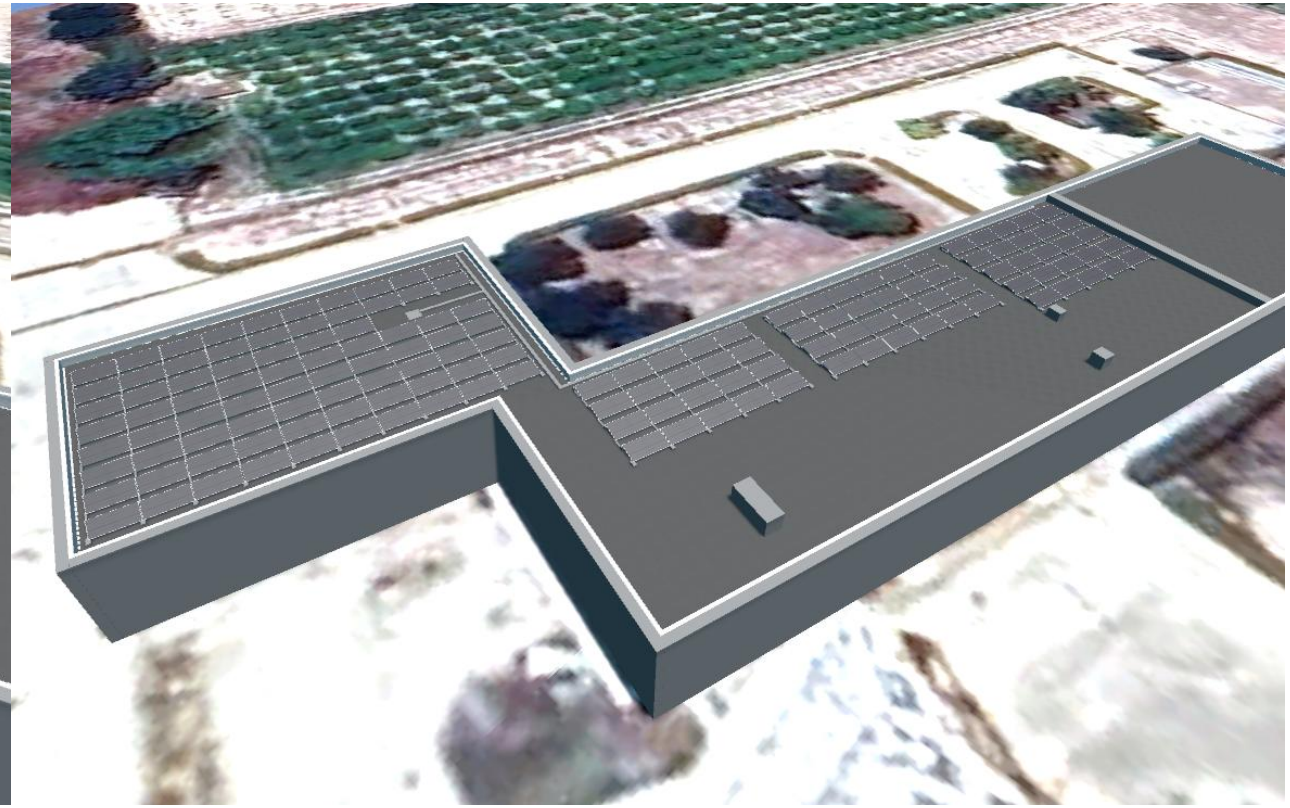
Protezione contro sovratensioni (DC e AC), sovracorrenti, cortocircuiti, surriscaldamento e inversione di polarità.
Protezione IP65: Certificato per resistere a polvere e umidità, ideale per installazioni in ambienti esterni.
Certificazioni: CE, UL, IEC 62109, IEC 61683, UL1741, IEEE 1547, EN50549, tra gli altri.

Classe di protezione: IP65 (adatto per uso esterno, resistente a polvere e acqua), che garantisce la protezione contro intemperie, umidità e polvere, ideale per installazioni all'aperto.
Funzionamento a temperature elevate: Funzionamento da -25°C a 60°C, con un ampio range di temperatura di esercizio che lo rende adatto a vari climi, dalle zone più calde a quelle più fredde.
Dimensioni e peso:
Dimensioni: circa 650 mm x 860 mm x 310 mm (L x A x P)
Peso: circa 48 kg, che è abbastanza leggero per un inverter di questa potenza, facilitando l'installazione e la manutenzione.

Tipologia di Moduli fotovoltaici (Trina Solar Vertex TSM-505DE18M.08):

Nel presente progetto, i moduli fotovoltaici adottati sfruttano la tecnologia avanzata multi-busbar, che combina taglio non distruttivo in tre parti e incapsulamento ad alta densità per migliorare l'efficienza e ridurre le perdite di potenza rispetto alle tradizionali celle half-cut. La tecnologia 1/3-cut, rispetto alla half-cut, consente di ottimizzare l'assorbimento della luce e mitigare l'impatto dell'elevata corrente di sistema, aumentando la produzione di energia per watt e migliorando la generazione complessiva. Inoltre, la resistenza ai punti caldi e alle alte temperature garantisce maggiore affidabilità e durata nel tempo. Grazie alle celle multi-busbar, la distribuzione del carico elettrico è più uniforme, riducendo le sollecitazioni meccaniche e migliorando la performance anche in caso di microfessurazioni.

- Tensione max. del sistema - 1500 V - Materiale della cella - Monocristallino - Rendimento del modulo - 21 % - Potenza nominale MPP - 505 Wp - Corrente MPP - 11.75 A



VISTA IMPIANTO – RENDERING 3D