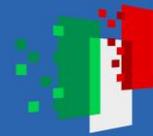




Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



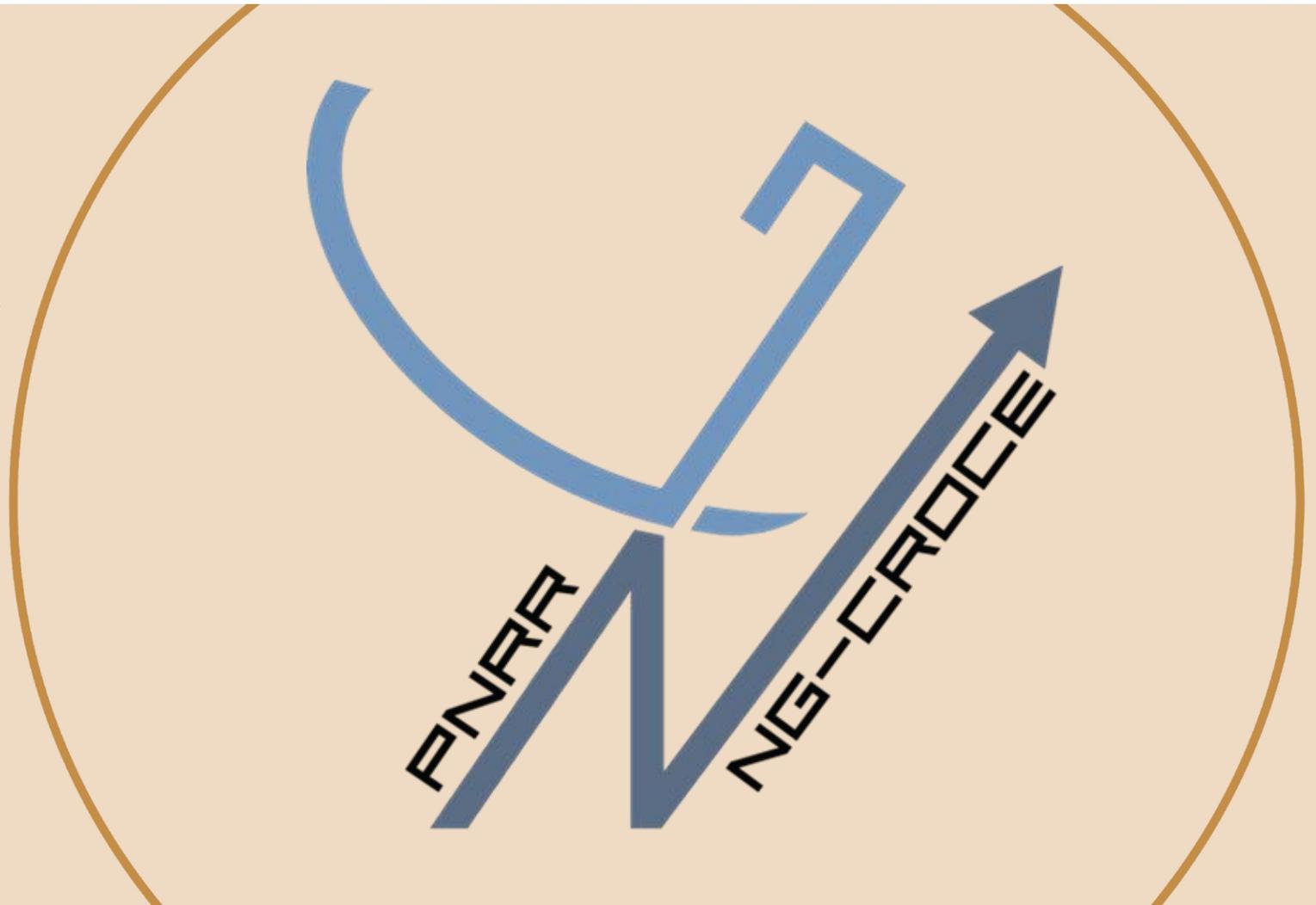
INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

Energia dal Sole Per Esplorare l'Universo

Training Meeting NG-Croce

Lunedì 12 Maggio - Giovedì 15 Maggio

*Radiotelescopi di Medicina
IRA - Bologna*



STUDIO TECNICO ALTIERI FABIO



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

DATI GENERALI

Ubicazione impianto

Identificativo:	Radiotelescopi di Medicina FV
Indirizzo:	Via Fiorentina, n.3513
CAP-Comune:	40059 - Medicina (BO)

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 Medicina 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.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

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 274.207 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

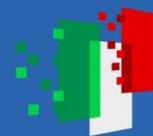
Un indicatore fondamentale per valutare il risparmio di combustibile derivante dall'impiego di fonti energetiche rinnovabili è il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria (espresso in TEP/MWh). Questo coefficiente quantifica le T.E.P. (Tonnellate Equivalenti di Petrolio) necessarie 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	51,3 TEP
TEP risparmiate in 20 anni	941 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	NO _x	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]	137.100 kg	411,31 kg	411,31 kg	109,68 kg
Emissioni evitate in 20 anni [kg]	2.517.000 kg	7.551 kg	7.551 kg	2.014 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: 44°31'22.596"; longitudine: 11°37'19.365"

- 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	4.68	MJ/m ²
Febbraio	assente	7.76	MJ/m ²
Marzo	assente	12.50	MJ/m ²
Aprile	assente	17.37	MJ/m ²
Maggio	assente	21.13	MJ/m ²
Giugno	assente	24.04	MJ/m ²
Luglio	assente	24.64	MJ/m ²
Agosto	assente	21.29	MJ/m ²
Settembre	assente	15.41	MJ/m ²
Ottobre	assente	9.53	MJ/m ²
Novembre	assente	5.26	MJ/m ²
Dicembre	assente	4.03	MJ/m ²

Radiazione globale annua sulla superficie orizzontale: 5114 MJ/m²
(anno convenzionale di 365.25 giorni)

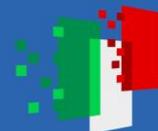




Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



PROCEDURE DI CALCOLO

Critério 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.

Critério 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.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

PROCEDURE DI CALCOLO

Critero 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 (V_m):

A 70 °C (temperatura massima di esercizio): La tensione V_m deve essere maggiore o uguale al valore minimo richiesto per il funzionamento del MPPT, ossia: $V_m(70\text{ °C}) \geq V_{mppt\ min}$

A -10 °C (temperatura minima di esercizio): La tensione V_m deve essere minore o uguale al valore massimo ammissibile dal sistema MPPT, ovvero: $V_m(-10\text{ °C}) \leq V_{mppt\ max}$

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 (V_{oc}) dei moduli varia al variare della temperatura. Poiché il V_{oc} aumenta quando la temperatura diminuisce, è fondamentale verificare che:

A -10 °C: Il V_{oc} misurato a questa temperatura debba essere minore o uguale alla tensione massima di ingresso prevista per l'inverter. In altre parole: $V_{oc}(-10\text{ °C}) \leq V_{inverter\ max}$

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 V_{oc} misurato sui moduli non superi la tensione massima di sistema specificata per il modulo stesso, ossia: $V_{oc}(-10\text{ °C}) \leq V_{modulo\ max}$

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 (I_{sc}) generata dai moduli sia minore o uguale alla corrente massima di ingresso ammessa dall'inverter: $I_{sc} \leq I_{inverter\ max}$

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 corretta sia con l'inverter sia con i moduli.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



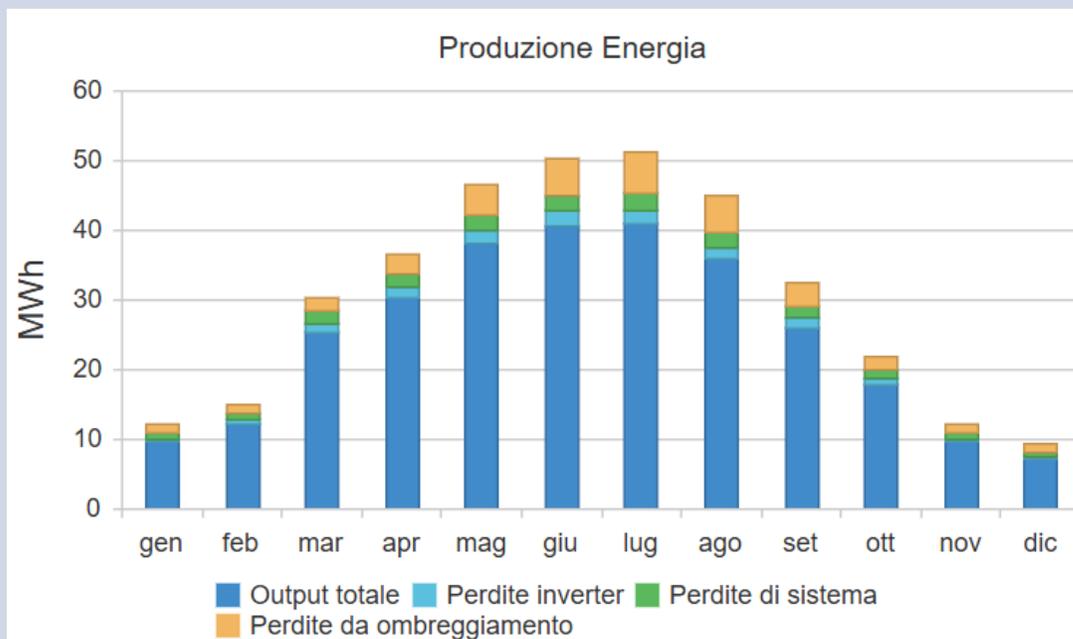
INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO

Impianto Radiotelescopi di Medicina FV

L'impianto, denominato "Radiotelescopi di Medicina FV" (CODICE CUP C53C22000880006), è di tipo grid-connected, la tipologia di allaccio è: trifase in media tensione. Ha una potenza totale pari a 254.52 kW e una produzione di energia annua pari a 274.207 kWh, derivante da 504 moduli che occupano una superficie di 1.204,18 m².

ENERGIA PRODOTTA



Dati principali della simulazione

Mese	Ta °C	EPOA MWh	EShading MWh	EEff MWh	EGrid MWh
Gennaio	2,94	12,13	10,99	10,10	9,63
Febbraio	5,04	14,91	13,85	12,93	12,33
Marzo	9,88	30,45	28,34	26,67	25,42
Aprile	13,89	36,56	33,83	31,94	30,43
Maggio	18,94	46,47	42,31	40,00	38,11
Giugno	23,36	50,46	45,15	42,74	40,69
Luglio	25,97	51,24	45,30	42,86	40,82
Agosto	25,47	45,04	39,83	37,64	35,86
Settembre	19,95	32,35	29,02	27,36	26,08
Ottobre	15,31	21,99	19,93	18,67	17,81
Novembre	9,45	12,08	10,81	10,00	9,53
Dicembre	4,10	9,30	8,27	7,52	7,16
Produzione annuale	14,58	362,96	327,63	308,43	293,88

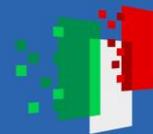
Ta: Temperatura media EPOA: Produzione globale piano inclinato
 EShading: Produzione piano inclinato con perdite ombre EGrid: Energia globale immessa in rete
 EEff: Produzione globale con perdite di sistema



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

SPECIFICHE DEGLI ALTRI COMPONENTI DELL'IMPIANTO

Tipologia di struttura (STRUTTURE IN CEMENTO WELL-COMM):

Nel presente progetto, i moduli fotovoltaici saranno installati su zavorre Well-Comm in calcestruzzo armato, dotate di boccole filettate in acciaio inox A2 e di un sistema brevettato di variazione dell'inclinazione. Queste basi di supporto, progettate per appoggio diretto, consentono una posa rapida e sicura, riducendo i tempi di installazione fino al 50% e garantendo la preservazione del lastrico solare. La loro solida struttura offre elevata resistenza anche a eventi atmosferici estremi, assicurando stabilità e affidabilità nel tempo. Grazie alla loro versatilità, le zavorre selezionate risultano ideali per impianti su superfici piane o leggermente inclinate, comprese coperture pavimentate e terreni erbosi o battuti. Questo sistema di ancoraggio è stato scelto per il progetto al fine di garantire efficienza operativa, sicurezza strutturale e ottimizzazione delle prestazioni dell'impianto fotovoltaico.

Inclinazioni: 0° / 5° / 10° / 15° / 20° / 25° / 30° **Peso Zavorra:** 68 kg (zavorra inferiore 50 kg - zavorra superiore 18 kg) (ca. 25 kg/m²)

Orientamento modulo: Orizzontale, verticale o est/ovest **Sottofondo:** terra, ghiaia, piastrelle, cemento ecc.



Tipologia di Inverter fotovoltaico (HUAWEI SUN2000-115KTL-M2):

Huawei SUN2000-115KTL-M2 è un potente inverter trifase collegato alla rete progettato per installazioni fotovoltaiche commerciali e industriali su larga scala. Le sue specifiche:

Efficienza:

Efficienza massima: 98,6% @400 V, 98,8% @480 V
Efficienza europea: 98,4% @400 V, 98,6% @480 V

Protezione:

Potenza attiva AC nominale: 115.000 W
Potenza apparente CA massima: 125.000 VA
Potenza attiva CA massima (cosφ=1): 125.000 W
Tensione di uscita nominale: 400 V / 480 V, 3W+(N)+PE
Corrente di uscita nominale: 166,0 A @400 V, 138,4 A @480 V
Max. Corrente di uscita: 182,3 A @400 V, 151,9 A @480 V

Ingresso:

Tensione di ingresso massima: 1.100 V
Corrente massima per MPPT: 30 A
Corrente massima per ingresso: 20 A
Max. Corrente di cortocircuito per MPPT: 40 A
Tensione di avviamento: 200 V
Intervallo di tensione di funzionamento MPPT: 200 V ~ 1.000 V
Tensione di ingresso nominale: 600 V @400 Vac, 720 V @480 Vac
Numero di inseguitori MPP: 10
Numero massimo di ingressi per inseguitore MPP: 2

Produzione:

Potenza attiva AC nominale: 115.000 W
Potenza apparente CA massima: 125.000 VA
Potenza attiva CA massima (cosφ=1): 125.000 W
Tensione di uscita nominale: 400 V / 480 V, 3W+(N)+PE
Frequenza nominale di rete CA: 50 Hz / 60 Hz
Corrente di uscita nominale: 166,0 A @400 V, 138,4 A @480 V
Max. Corrente di uscita: 182,3 A @400 V, 151,9 A @480 V
Intervallo di fattore di potenza regolabile: 0,8 che porta a 0,8 in ritardo
Max. Distorsione armonica totale: < 3%



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





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTROFISICA

VISTA IMPIANTO – RENDERING 3D

