



REGIONE
SICILIA



PROVINCIA
PALERMO



COMUNE DI
CASTELLANASICULA

OGGETTO:

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRI-VOLTAICO
DI POTENZA NOMINALE 31.047,8 kWp E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE
ALLA RTN IN LOC. TUDIA, COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)

ELABORATO:

CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO



PROPONENTE:



SPK Sole S.r.l.
VIALE ABRUZZI 94
20131 - MILANO (MI)
P.IVA - 12327840968
REA - MI - 2654565

PROGETTAZIONE:




Ing. Carmen Martone
Ischr. n. 1872
Ordine Ingegneri Potenza
C.F. MRTCMN73D56H703E



Geol. Raffaele Nardone
Ischr. n. 243
Ordine Geologi Basilicata
C.F. NRDRFL71H04A509H

EGM PROJECT S.R.L.
VIA VERRASTRO 15/A
85100- POTENZA (PZ)
P.IVA 02094310766
REA PZ-206983

Livello prog.	Cat. opera	N°. prog.elaborato	Tipo elaborato	N° foglio	Tot. fogli	Nome file	Scala
PD	I.IF	11	R			RS06REL0050A0	
REV.	DATA	DESCRIZIONE			ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	NOVEMBRE 2022	Emissione				Ing. Carmen Martone EGM Project	Ing. Carmen Martone EGM Project

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p align="right">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="right">Pag. 1 di 20</p>
---	--	---

1	PREMESSA	3
2	SITO D'INSTALLAZIONE	3
3	NORME TECNICHE di riferimento	4
4	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	9
5	Metodologie di calcolo della producibilità	9
5.1	Potenza di picco, o potenza nominale del sistema	10
5.2	Stima delle perdite di sistema	10
5.3	Tipologia di montaggio	10
5.4	Calcolo delle prestazioni di moduli FV di vari tipi	10
5.5	Il metodo PVGIS per il calcolo del rendimento energetico.	11
5.6	Come sono stati determinati i coefficienti per le varie tecnologie FV	12
5.7	Incertezze nei dati e nei calcoli.	12
5.8	Misure fatte a terra	12
5.9	Incertezze di interpolazione	12
5.10	Problemi con dati di irraggiamento diffuso.....	13
5.11	Problemi causati dall' uso di valori medi.....	13
6	PRINCIPALI COMPONENTI IMPIANTO	13
6.1	Pannelli fotovoltaici.....	14
6.1	Inverter	16
7	STIMA PRODUCIBILITA'	16
7.1	Database irraggiamento PVGIS-5.....	17
7.2	Output del calcolo	18



**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO
AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA
PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL
COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)**

**CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO
FOTOVOLTAICO**


**DATA:
DICEMBRE
2022
Pag. 2 di 20**



EGM PROJECT SRL - Via Vincenzo Verrastro - 15/A- 85100 Potenza

info@egmproject.it - egmproject@pec.it



	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTVOLTAICO</p>	<p align="center">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="center">Pag. 3 di 20</p>
---	---	---

1 PREMESSA

Il progetto prevede la costruzione e l'esercizio di un impianto agrivoltaico a terra di taglia pari a 31,0478 MWP ubicato in località Tudia nel comune di Castellana Sicula (PA) che si estende a nord rispetto alla strada provinciale SP 121 dalla quale è possibile giungere alla frazione in oggetto.

Il parco fotovoltaico, mediante un cavidotto interrato della lunghezza di circa 20 km uscente dalla cabina di impianto alla tensione di 36kV, sarà collegato in antenna a 36 kV con la sezione 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN “Chiaramonte Gulfi - Ciminna”, previsto nel Piano di Sviluppo Terna, cui raccordare la rete AT afferente alla SE RTN di Caltanissetta.

Il Gestore di Rete competente territorialmente è TERNA S.p.A.


In particolare, nel presente documento viene stimata la producibilità dell'impianto.

2 SITO D'INSTALLAZIONE

La zona dove verranno alloggiati i pannelli è compresa fra 650 m e 850 m sul livello del mare e ricade completamente all'interno del comune di Castellana Sicula nella provincia di Palermo. L'area in questione confina a nord e ad ovest con il comune di Polizzi Generosa, a sud e ad est con Petralia Sottana. Per quel che concerne la distanza con i centri abitati dei suddetti comuni confinanti, vi sono rispettivamente 12 km, 14 km. Inoltre, anche se non confinanti, ci sono altri centri abitati che risultano ubicati in prossimità dell'area di intervento in questione (Blufi, Bompietro e Resuttano rispettivamente 9, 10 e 4 km).

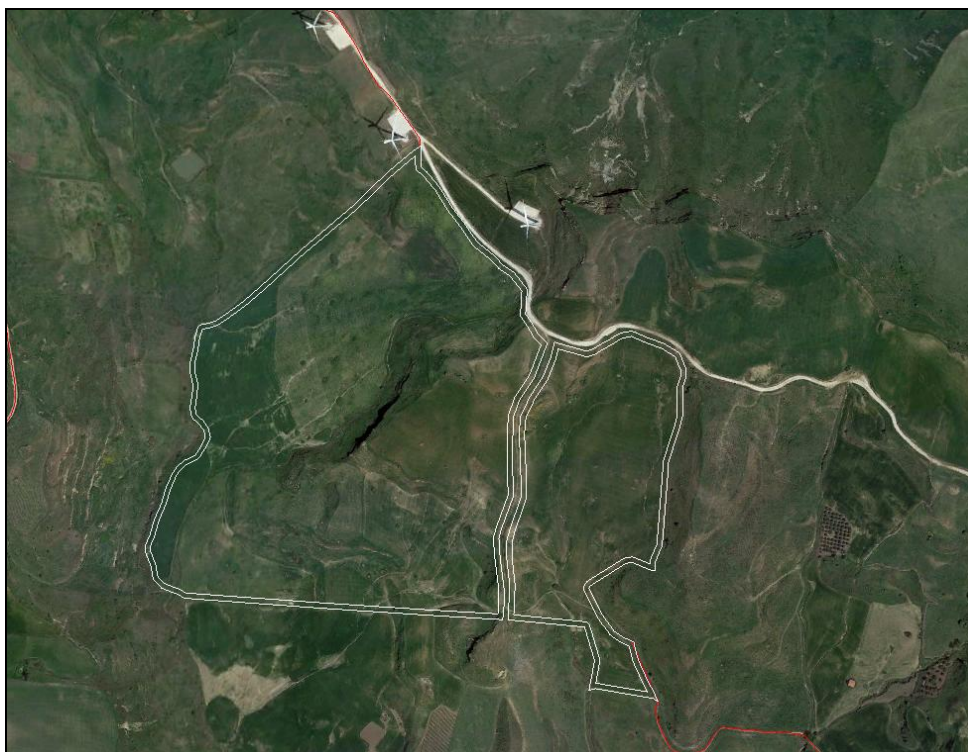
Le aree delle particelle interessate dal progetto sono libere da vegetazione d'alto fusto in grado, quindi, di accogliere il tipo di intervento descritto. Non verranno realizzati volumi tecnici sotto la quota del piano di campagna.

La morfologia dell'area su cui sarà installato l'impianto fotovoltaico è di tipo con leggere pendenze variamente inclinate.

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p>DATA: DICEMBRE 2022</p> <p>Pag. 4 di 20</p>
---	--	---

Dati geografici del sito:


- Latitudine: 37°42'02.05" N
- Longitudine: 13°59'44.16"E




3 **NORME TECNICHE di riferimento**

La normativa e le leggi di riferimento da rispettare per la progettazione e realizzazione degli impianti fotovoltaici sono:


- **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;
- **EN 61936-1 (CEI 99-2):** Impianti elettrici a tensione > 1 kV c.a.

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p style="text-align: center;">Pag. 5 di 20</p>
---	--	---


- **EN 50522 (CEI 99-3):** Messa a terra degli impianti elettrici a tensione > 1 kV c.a.
- **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 11');
- **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 **CEI 81-10/1/2/3/4:** Protezione contro i fulmini;

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTVOLTAICO</p>	<p align="center">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="center">Pag. 6 di 20</p>
---	---	---


- **CEI 0-2:** Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici;
- **CEI EN 60904-6:** Dispositivi fotovoltaici- Requisiti dei moduli solari di riferimento
- **CEI EN 61725:** Espressione analitica dell'andamento giornaliero dell'irraggiamento solare
- **CEI EN 61829:** Schiere di moduli FV in silicio cristallino-Misura sul campo della caratteristica I-V
- **CEI EN 50081-1-2:** Compatibilità elettromagnetica. Norma generica sull'emissione.
- **CEI 23-25:** Tubi per installazioni elettriche.
- **CEI 17-5:** Norme per interruttori automatici per c.a. a tensione nominale 1000V.
- **CEI EN 6100-6-3:** Compatibilità elettromagnetica. Parte 6: Norme generiche. Sezione 3. Emissioni per gli ambienti residenziali, commerciale e dell'industria leggera
- **CEI EN 6100-3-2:** Compatibilità elettromagnetica. Parte 3: Limiti Sezione 2: Limiti per le emissioni di corrente armonica (corrente di ingresso ≤ 16 A per fase)
- **CEI EN 6100-3-3:** Compatibilità elettromagnetica. Parte 3: tecniche di prova e di misura. Sezione 3. Limitazione delle fluttuazioni di tensione e dei flicker in sistemi di alimentazione in bassa tensione. (apparecchiature con corrente di ingresso ≤ 16 A per fase)
- **CEI EN 6100-3-11:** Compatibilità elettromagnetica. Parte 3: tecniche di prova e di misura.
- Sezione 3. Limitazione delle fluttuazioni di tensione e dei flicker in sistemi di alimentazione in bassa tensione. (apparecchiature con corrente di ingresso ≤ 75 A per fase)

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p style="text-align: center;">Pag. 7 di 20</p>
---	--	---

- **CEI EN 6100-3-4:** Compatibilità elettromagnetica. Parte 3-4. Limiti per le emissioni di corrente armonica prodotte da apparecchi connesse alla rete pubblica di bassa tensione con corrente di ingresso >16 A
- **CEI EN 6100-3-12:** Compatibilità elettromagnetica. Parte 3-12 Limiti per le emissioni di corrente armonica prodotte da apparecchi connessi alla rete pubblica di bassa tensione con corrente di ingresso >16 A e ≤ 75 A per fase
- **CEI EN 5502 + A1(2001) + A2(2003) (CISPR22) :** Emissione di disturbi irradiati e condotti. Campo di applicazione 0.15 MHz-30 MHz
- **CEI EN 6100-2-2:** Compatibilità elettromagnetica. Parte 2-2: Ambiente: Livelli di compatibilità per i disturbi condotti in bassa frequenza e la trasmissione di segnali sulle reti pubbliche di alimentazione a bassa tensione
- **CEI EN 55011:** Apparecchi a radiofrequenza industriali, scientifici e medicali. Caratteristiche di radio disturbo. Limiti e metodi di misura.
- **CEI EN 55014-1:** Compatibilità elettromagnetica – Prescrizioni per gli elettrodomestici, gli utensili elettrici e gli apparecchi similari.
- **UNI 10349:** Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.;
- **CEI EN 61724:** Rilievo 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.
- **DM 22/1/08 n. 37:** Regolamento concernente l'attuazione dell'art. 11 della Legge 2/12/05 (Riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti ex legge n° 46 del 5/3/1990 e relativo regolamento di attuazione.
- **Legge n° 186 del 1/3/1968:** Impianti elettrici.
- **DL 9/4/2008 n. 81 :** Tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro.
- **DM 30852 1994:** Normative antisismiche per le strutture di sostegno

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p style="text-align: center;">Pag. 8 di 20</p>
---	--	---

- **DM MLP 12/2/82:** Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e norme tecniche per i carichi ed i sovraccarichi per le strutture di sostegno
- **CNR-UNI 10011:** Costruzioni in acciaio Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione delle strutture di sostegno
- **CNR-UNI 10012:** Istruzioni per la valutazione delle "Azioni sulle costruzioni"
- **CNR-UNI 10022:** Profili in acciaio formati a freddo per l'impiego nelle costruzioni
- **DPR 462/01:** Verifica periodica impianti di terra.
- Allegato A alla **delibera ARG/elt** – Versione Integrata e modificata dalle deliberazioni ARG/elt 179/08, 205/08, 130/09, 125/10 Testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti con obbligo di connessioni di terzi degli impianti di produzione (testo integrato delle connessioni attive – **TICA**)
- **Delibera 18 ottobre 2021 39/2021/R/eel** - Verifica delle proposte di modifica dell'Allegato A.2 al Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete di Terna.
- **CEI 0-16:** Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT e MT delle imprese distributrici di energia elettrica
- **CEI 82-25:** Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica e collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione
- Norme UNI/ISO per le strutture meccaniche di supporto e di ancoraggio dei moduli fotovoltaici;
- Delibere ARERA di pertinenza
- **Codice di trasmissione dispacciamento**, sviluppo e sicurezza della rete ex art. 1, comma 4, DPCM 11 maggio 2004.
- Quanto altro previsto dalla vigente normativa di legge, ove applicabile.

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p align="center">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="center">Pag. 9 di 20</p>
---	--	---

4 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

La centrale di produzione fotovoltaica verrà realizzata su di un terreno, attualmente a destinazione agricola, e sarà costituito mediante moduli fotovoltaici in silicio cristallino, suddivisi in stringhe, ciascuna delle quali formata da moduli fotovoltaici collegati in serie.

I moduli fotovoltaici saranno installati su delle strutture di supporto, ancorate al terreno del tipo ad inseguimento monoassiale.

La configurazione individuata che prevede l'installazione di strutture di supporto dei pannelli in silicio cristallino tramite strutture fisse.


L'impianto nel suo complesso sarà suddiviso in sezioni indipendenti; ogni sezione sarà costituita da inverter di campo, cabine di trasformazione BT/MT, dispositivi generali di Media Tensione, dispositivo di interfaccia, protezione di interfaccia, contatori per la misura dell'energia prodotta.

Da ogni sezione partirà una linea in cavo MT che si attesterà presso Cabina di consegna ed elevazione a 36 kV da cui partirà poi la linea che si attesterà alla sezione 36 kV di una nuova stazione elettrica di trasformazione (SE) 380/150/36 kV della RTN, da inserire in entra – esce sul futuro elettrodotto RTN a 380 kV della RTN “Chiamonte Gulfi - Ciminna”

5 Metodologie di calcolo della producibilità

Le stime di producibilità sono state effettuate utilizzando l'applicativo PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) che nasce su richiesta della Commissione Europea (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>), ed ha come obiettivo quello di fornire una banca dati su temperature ed irraggiamenti per tutto il territorio europeo e di fornire un modello di simulazione e stima della producibilità di impianti fotovoltaici.

Il PVGIS è quindi un sistema d'informazione interattiva, tramite il quale inserendo i dati relativi alla propria posizione geografica e al tipo d'impianto che si desidera simulare (potenza, esposizione etc.) è possibile avere una stima di quanta energia produrrà l'impianto. Il tutto tenendo conto:

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p align="center">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="center">Pag. 10 di 20</p>
---	--	--

5.1 Potenza di picco, o potenza nominale del sistema

Questa è la potenza che il costruttore dei moduli dichiara come potenza prodotta sotto le "Condizioni Standard di Test", cioè un' irraggiamento di 1000W al metro quadro e una temperatura dei moduli di 25°C.

5.2 Stima delle perdite di sistema

Le perdite di sistema stimate sono tutte le perdite di energia nel sistema FV che riducono l'energia che effettivamente sarà mandata nella rete elettrica, rispetto a quella prodotta dai pannelli FV. Ci sono vari tipi di perdite come per esempio perdite nei cavi (resistenza elettrica), perdite nell' inverter, polvere o neve sui moduli, et cetera. Tali stime vengono ipotizzate in funzione delle caratteristiche specifiche dell'installazione.

5.3 Tipologia di montaggio


Come sistema di montaggio è stato ipotizzato l'utilizzo di inseguitori di tipo monoassiale..

5.4 Calcolo delle prestazioni di moduli FV di vari tipi

La stima dell'energia che un generico sistema FV può produrre dipende da una serie di fattori.

La potenza erogata da un modulo FV non dipende solo da quando energia arriva dal sole alla superficie del modulo.

- L'efficienza del modulo FV dipende dalla temperatura del modulo. Normalmente questo effetto riduce la potenza ad alta temperatura. L'importanza dell'effetto dipende dal tipo di tecnologia FV.
- Quasi tutti i tipi di moduli hanno un' efficienza più bassa a bassa irradianza. La grandezza dell' effetto dipende dal tipo di tecnologia FV.
- Una parte della luce dal sole sarà riflessa dalla superficie dei moduli e non raggiunge il materiale fotovoltaico e perciò non contribuisce alla produzione di energia. Quanta luce sarà riflessa dipende dall' angolo con cui la luce incontra la superficie. Questo effetto varia tra i vari tipi di moduli.

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p style="text-align: center;">Pag. 11 di 20</p>
---	--	--

- L'efficienza di conversione di energia dipende dallo spettro della radiazione solare. Mentre quasi tutte le tecnologie FV hanno una buona resa nella parte visibile dello spettro, ci sono grandi differenze nell'efficienza per la radiazione infrarossa.

5.5 Il metodo PVGIS per il calcolo del rendimento energetico.

Il metodo usato nel PVGIS per fare la stima del rendimento di produzione partendo da un certo tipo di moduli si basa su una formula matematica che prende in considerazione i primi tre degli effetti sopraelencati.

La formula per fare la stima dell'efficienza relativa, ha la forma seguente:

$$eff_{rel}(G', T'_m) = 1 + k_1 \ln(G') + k_2 \ln(G')^2 + k_3 T'_m + k_4 T'_m \ln(G') + k_5 T'_m \ln(G')^2 + k_6 T'_m{}^2 \quad (1)$$

dove $G' = G/1000$ e $T'_m = T_m - 25$.


I coefficienti k_1 a k_6 dipendono dal tipo di tecnologia FV. I valori dei coefficienti sono stati trovati in un confronto con valori misurati per ogni tecnologia.

La temperatura dei moduli T_m si calcola dalla temperatura esterna con la formula seguente:

$$T_m = T_{amb} + k_T G \quad (6)$$

Questa formula mostra come i moduli sono riscaldati dalla radiazione solare. È una relazione molto semplice che non tiene conto degli effetti raffreddanti come per esempio il vento. Se i moduli sono installati in un luogo molto ventoso la temperatura dei moduli sarà generalmente più bassa e l'efficienza sarà un po' più alta. Il coefficiente k_T dipende dal tipo di montaggio. Normalmente i moduli montati come parte di un edificio diventano più caldi di quelli montati su un telaio a terra perchè l'aria non può circolare liberamente sul retro dei moduli. Nel PVGIS si usano i valori seguenti:

- $k_T = 0.035^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{m}^2)$ per un sistema montato a terra, basato su misure fatte nel nostro laboratorio
- $k_T = 0.05^\circ\text{C}/(\text{W}/\text{m}^2)$ per moduli integrati in edifici, basato su valori dalla letteratura scientifica

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p align="center">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="center">Pag. 12 di 20</p>
---	--	---

5.6 Come sono stati determinati i coefficienti per le varie tecnologie FV

I coefficienti nella Eq. 1 sono determinati dai dati sperimentali.

Questi dati possono essere misurati con simulatori solari o mettendo i moduli all'esterno per un periodo.

Per le stime per silicio cristallino sono stati fatti i calcoli in base ai dati tratti da moduli diversi misurati con un simulatore solare. I dati di tutti i moduli sono stati usati per fare un modello per un modulo "generico" di silicio cristallino.

5.7 Incertezze nei dati e nei calcoli.

Tutte le misure e tutti i modelli matematici hanno delle incertezze. Per PVGIS la catena di misure e calcoli matematici è abbastanza lunga, e ogni passaggio ha la sua incertezza. Di seguito discutiamo le incertezze di ogni parte della catena.


5.8 Misure fatte a terra

Il database europeo di PVGIS si basa su misure di radiazione solare fatte da stazioni meteorologiche. La maggioranza delle misure sono fatte con vari tipi di piranometri che misurano direttamente l'energia nella radiazione. Tipicamente coprono la parte spettrale della radiazione dal UV (ca. 300nm) fino a ca. 2500nm nell' infrarosso. Però, in alcuni casi l'irraggiamento è stato stimato dal numero di ore con sole e dalle osservazioni (ad occhio nudo) della copertura nuvolosa.

I dati usati da PVGIS derivano da molte organizzazioni in diversi paesi. Perciò è molto difficile fare una stima degli errori per ogni stazione di misura. I dati sono stati controllati e puliti dal progetto "European Solar Radiation Atlas".

5.9 Incertezze di interpolazione

Il modello effettua una stima delle incertezze dovute all'interpolazione spaziale dei dati misurati a terra. Nelle regioni con una densità alta di stazioni l'incertezza è più bassa mentre è più alta quando ci sono poche stazioni di misura nell' area.

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTVOLTAICO</p>	<p align="center">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="center">Pag. 13 di 20</p>
---	---	--

5.10 Problemi con dati di irraggiamento diffuso

I dati usati da PVGIS contengono valori sia per l'irraggiamento globale che per l'irraggiamento diffuso. Entrambi sono necessari per fare la stima dell'irraggiamento su piani inclinati. In genere, l'incertezza è più elevata per la parte diffusa, sia per problemi di misura che per il fatto che in molti casi la parte diffusa è stata calcolata dall'irraggiamento globale perché non ci sono valori misurati per la parte diffusa. Non conosciamo l'incertezza dei valori di irraggiamento diffuso usati nel PVGIS. Però, è stata fatta un'analisi dell'effetto delle incertezze sui calcoli di rendimento fotovoltaico. Da questa indagine risulta che l'incertezza nel calcolo del rendimento FV è circa un quinto dell'incertezza nei valori dell'irraggiamento diffuso. Cioè, se il valore dell'irraggiamento diffuso ha un incertezza di 10%, risulterebbe che l'incertezza addizionale sulla stima del rendimento FV sarebbe di ca. 2%.


5.11 Problemi causati dall' uso di valori medi

Il modello matematico per il rendimento FV richiede valori istantanei di irradianza e temperatura. Questo significa che se si usano valori medi di lungo termine è probabile che ci sarà qualche errore nella stima. Lo studio di questo effetto ha determinato che l'uso di valori medi di irradianza e temperatura porta ad una stima di rendimento che è ca. 1% troppo alta rispetto alla stima fatta con valori istantanei. Questo è dovuto al fatto che l'irradianza e la temperatura non sono indipendenti. Spesso, quando c'è sole (irradianza alta) la temperatura dell'aria sarà anche più alta.

6 PRINCIPALI COMPONENTI IMPIANTO

L'impianto fotovoltaico verrà realizzato per lotti e prevede i seguenti elementi:

- strutture per il supporto dei moduli tracker monoassiale con altezza indicativa da terra 2,1 m;
- 46340 pannelli in silicio cristallino della tipologia Trina Solar da 670 Wp per una potenza complessiva di 31,0478 MWp;
- n.1 Cabina MT di impianto;
- n. 6 stazioni di trasformazione da ubicare all'interno della proprietà secondo le

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO</p>	<p align="center">DATA: DICEMBRE 2022</p> <p align="center">Pag. 14 di 20</p>
---	--	--

posizioni indicate nell'elaborato planimetria impianto oltre ad una cabina di consegna che svolge anche le funzioni di cabina ausiliari;

- n.20 Stringbox per la raccolta delle stringhe da collegare agli inverter centralizzati;
- n.79 Inverter di stringa con potenza in uscita massima di 250kW;
- viabilità interna al parco per le operazioni di costruzione e manutenzione dell'impianto e per il passaggio dei cavidotti interrati in MT;
- aree di stoccaggio materiali posizionate in diversi punti del parco, le cui caratteristiche (dimensioni, localizzazione, accessi, etc) verranno decise in fase di progettazione esecutiva;
- cavidotto interrato in MT (30kV) di collegamento tra le cabine di campo e la cabina di consegna;
- cavidotto interrato in AT (36kV) di collegamento tra le cabine di consegna e la stazione di rete;
- rete telematica di monitoraggio interna per il controllo dell'impianto mediante trasmissione dati via modem o tramite comune linea telefonica.

6.1 Pannelli fotovoltaici

Il dimensionamento di massima è stato realizzato con un modulo fotovoltaico composto da 132 celle fotovoltaiche in silicio monocristallino, ad alta efficienza e connesse elettricamente in serie, per una potenza complessiva di 670 Wp. L'impianto sarà costituito da un totale di 46340 moduli per una conseguente potenza di picco pari a 31,0478 MWp.

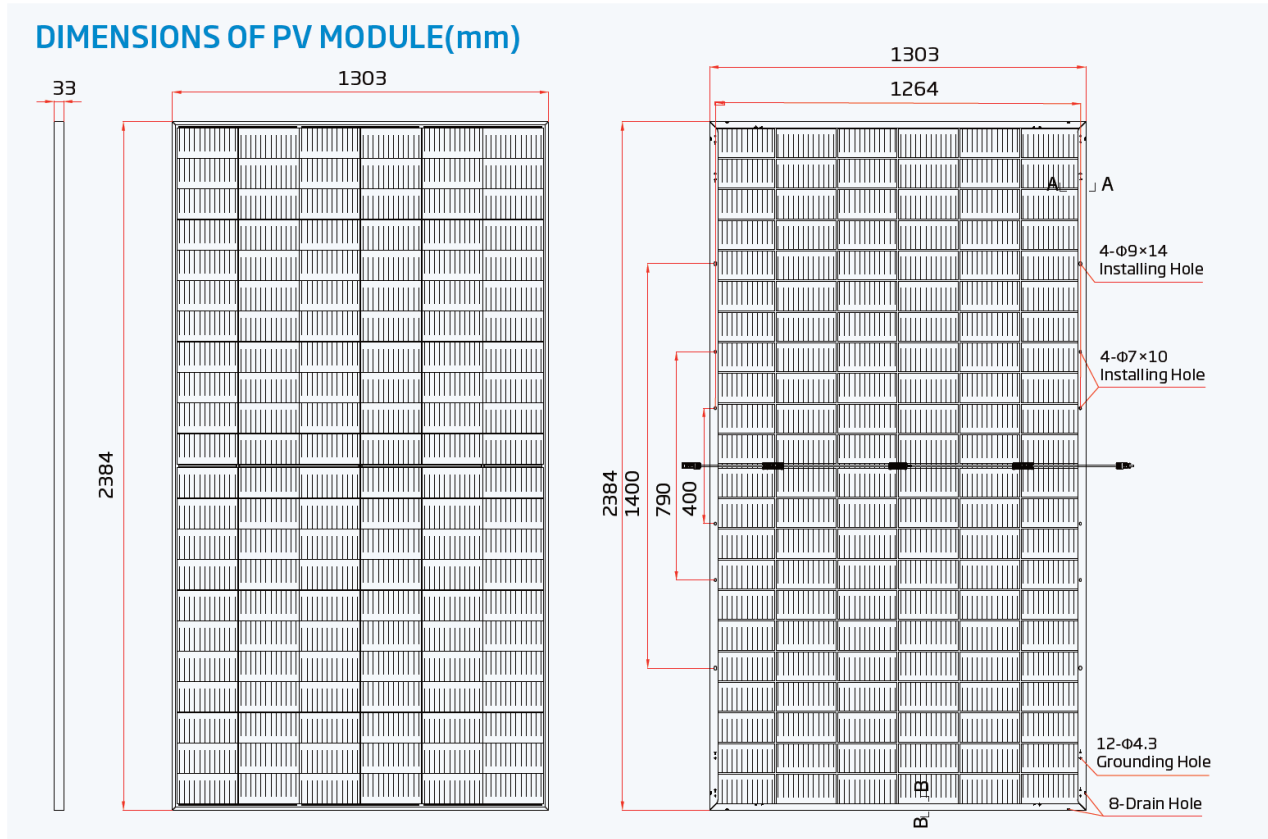



Figura 1 – Dimensioni Modulo fotovoltaico

	PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA AGRIVOLTAICO A TERRA DI TAGLIA PARI A 31,0478 MWP UBICATO IN LOCALITÀ TUDIA NEL COMUNE DI CASTELLANA SICULA (PA) CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	DATA: DICEMBRE 2022 Pag. 16 di 20
---	---	--

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	650	655	660	665	670
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	37.4	37.6	37.8	38.0	38.2
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.39	17.43	17.47	17.51	17.55
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	18.44	18.48	18.53	18.57	18.62
Module Efficiency η_m (%)	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass A.M1.5. *Measuring tolerance: ±3%

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	492	496	500	504	508
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	34.9	35.1	35.3	35.4	35.6
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	14.09	14.13	14.17	14.22	14.26
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	42.7	42.9	43.0	43.2	43.4
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	14.86	14.89	14.93	14.96	15.01

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1303×35 mm (93.86×51.30×1.38 inches)
Weight	33.3 kg (73.4 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	EVA
Backsheet	White
Frame	35mm(1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EV02 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	- 0.34%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	- 0.25%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.04%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
	1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	30A

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 31 pieces
Modules per 40' container: 558 pieces

Figura 2 – Dati tecnici Modulo fotovoltaico

6.1 Inverter

Il campo fotovoltaico sarà collegato utilizzando 2 modalità diverse in quanto per la complessità del terreno e la difficoltà di transito della viabilità all'interno dell'area di cantiere, non è possibile utilizzare un'unica configurazione. Pertanto, la conversione da corrente continua a corrente alternata sarà realizzata mediante l'utilizzo di inverter centralizzati nelle aree più accessibili a mezzi pesanti mentre nelle aree più complesse saranno installati degli inverter di stringa in prossimità dei relativi sotto-campi.

7 STIMA PRODUCIBILITA'

Utilizzando l'applicativo PVGIS si procede alla simulazione della producibilità

7.1 Database irraggiamento PVGIS-5

Relativamente al sito sono stati inseriti i seguenti dati:

Latitudine/Longitudine: 37.699,13.977

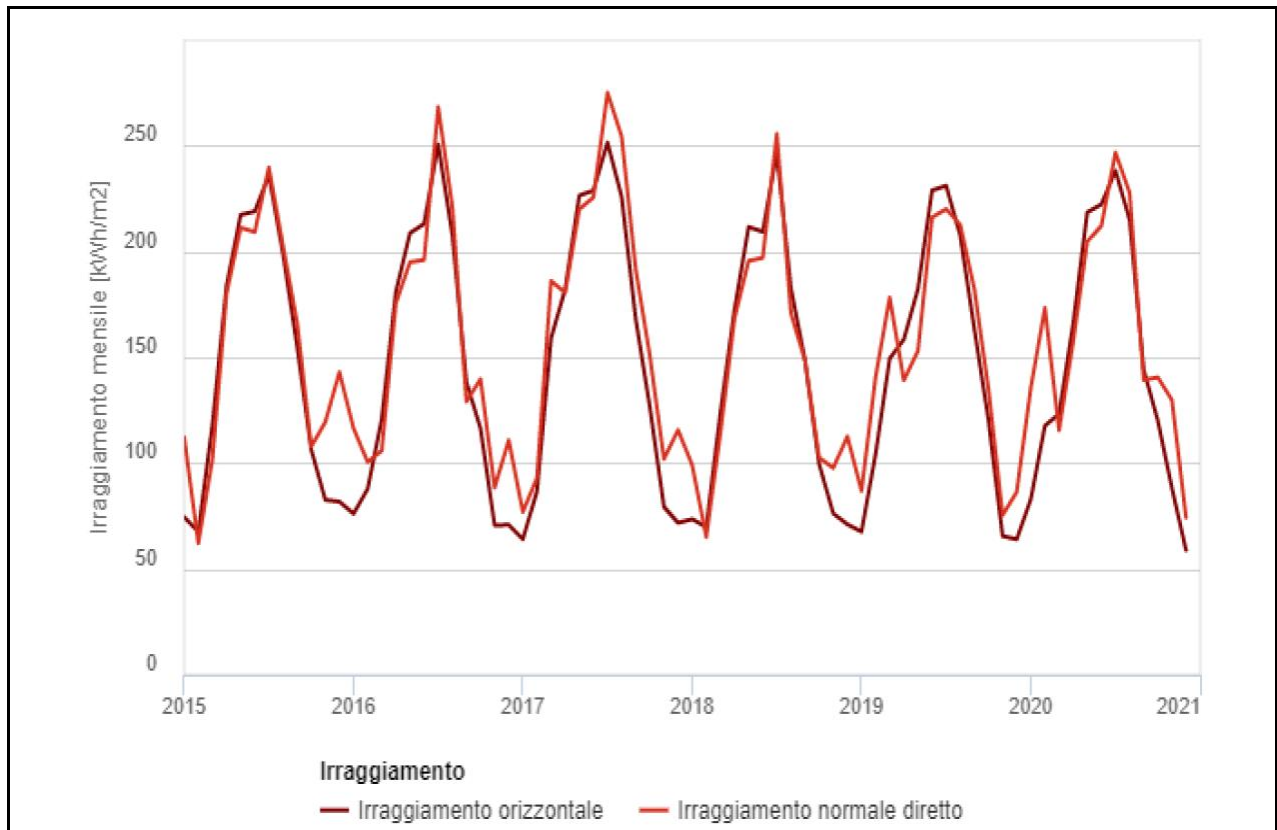
Orizzonte: Calcolato

Database solare PVGIS-SARAH2

Primo anno: 2015

Ultimo anno: 2020

L'irraggiamento solare mensile è riportato nello schema seguente:



CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO FOTVOLTAICO

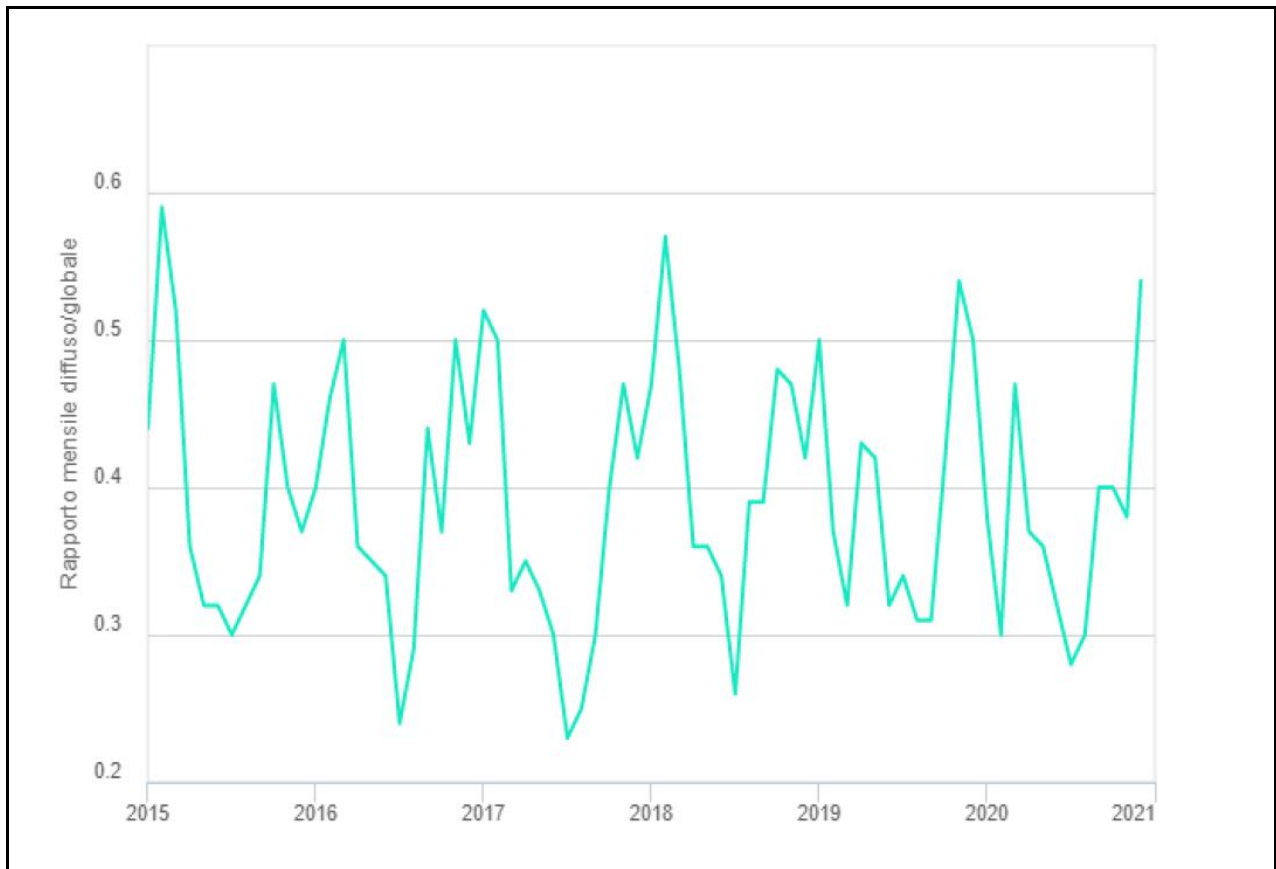
Irraggiamento global orizzontale

Mese	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gennaio	74.47	76.07	64.04	73.49	67.58	82.98
Febbraio	67.56	87.79	86.65	69.7	104.29	117.66
Marzo	118.09	120.83	159.01	123.72	149.44	123.23
Aprile	183.77	180.92	182.21	172.5	158.44	165.68
Maggio	217.33	208.7	226.47	211.6	182.31	218.5
Giugno	218.95	213.06	228.78	209.34	228.86	222.3
Luglio	236.06	250.61	251.48	246.66	231.06	238.16
Agosto	199.07	207.96	225.88	182.54	207.5	215.02
Settembre	155.35	138.34	168.09	148.4	163.34	144.07
Ottobre	106.46	116.32	126.51	99.48	120.32	120.11
Novembre	82.61	70.63	79.35	76.2	65.51	88.2
Dicembre	81.78	70.8	71.76	71.04	64.02	58.88

Irraggiamento normale diretto

Mese	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gennaio	112.16	116.42	76.95	99.06	86.89	135.56
Febbraio	62.14	100.51	93	65.11	140.76	173.35
Marzo	101.81	105.88	186.05	114.2	178.25	115.51
Aprile	180.11	175.52	180.55	168.36	139.14	157.29
Maggio	211.26	194.95	220.01	195.57	153.03	204.67
Giugno	209.22	196.01	225.56	196.99	216.12	212.12
Luglio	239.72	268.32	275.08	255.61	220.03	246.77
Agosto	202.7	221.43	254.34	170.76	212.63	227.77
Settembre	166.43	129.12	191.57	148.43	182.22	139.33
Ottobre	107.78	139.68	150.71	102.54	135.02	140.52
Novembre	119.4	88.44	101.97	97.71	75.42	129.81
Dicembre	143	110.82	115.63	112.59	86.33	74.24

Il grafico successivo riporta invece il grafico della media mensile del rapporto diffuso/globale



7.2 Output del calcolo

Produzione annuale FV [kWh]: 58585850.5

Irraggiamento annuale [kWh/m²]: 2422.02

Variazione interannuale [kWh]: 1900996.6

Variazione di produzione a causa di:

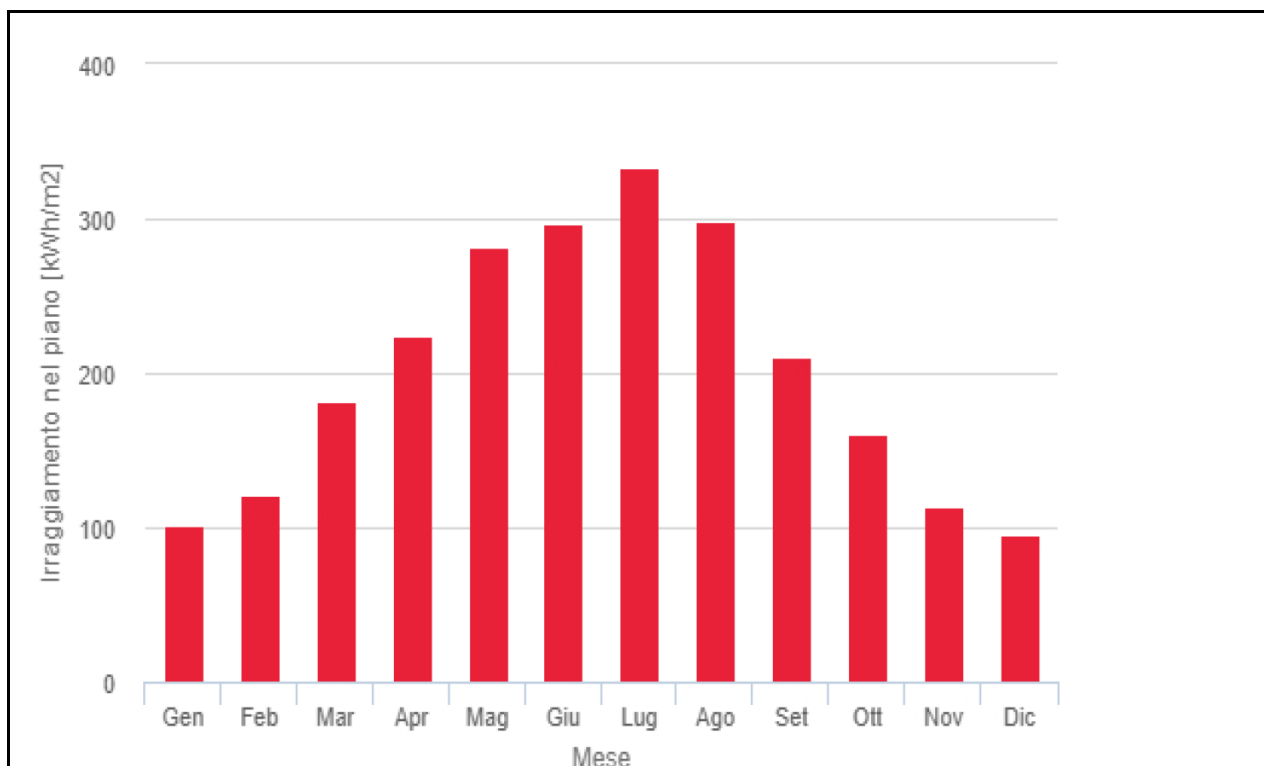
Angolo d'incidenza [%]: -1.68

Effetti spettrali [%]: 0.68

Perdite temp. ed irr. bassa [%]: -8.48

Perdite totali [%]: -22.09

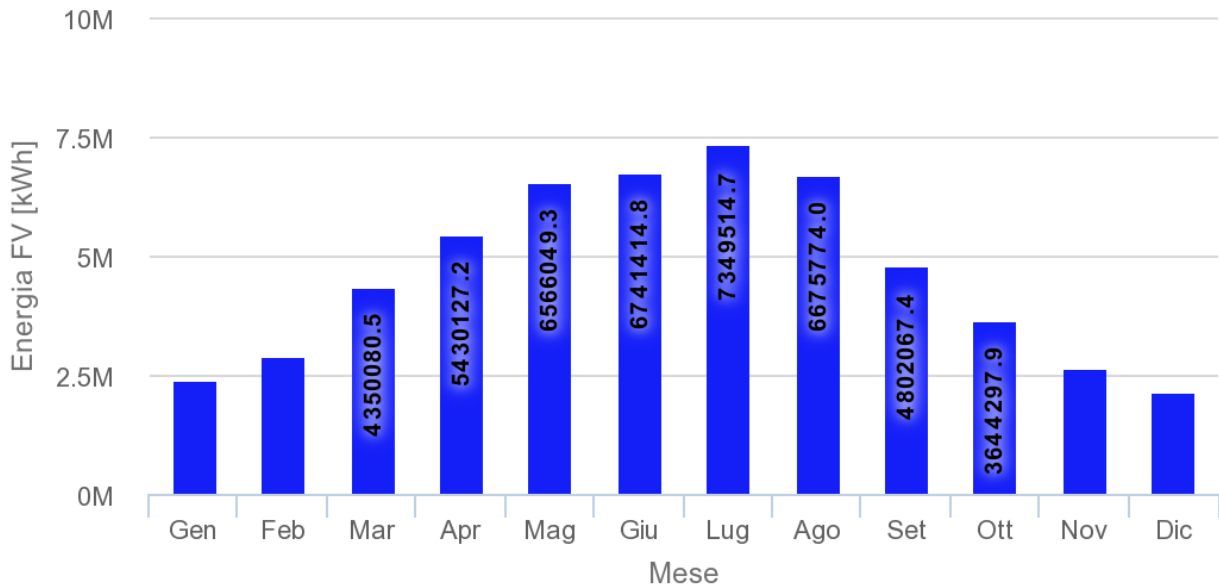
L'irraggiamento mensile risulta



Mentre il grafico della producibilità è il seguente:

Energia mensile da sistemi FV ad inseguimento

(C) PVGIS, 2022



**Opzioni inseguimento
(Click on series to hide)**

● Asse inclinata

In conclusione la Produzione annuale stimata è [kWh]: 58.585.850.5