



REGIONE
BASILICATA



PROVINCIA DI
MATERA



COMUNE DI
STIGLIANO

OGGETTO:

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO
A TERRA "STIGLIANO" DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW
LOCALITA' "STANZALAURO" NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)

ELABORATO:

CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO



PROPONENTE:

COMPAGNIA DEL SOLE DUE S.R.L.
P.IVA IT04320530985
VIA ALDO MORO, 28
25043- BRENO (BS)

PROGETTAZIONE:

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



Geol. Raffaele Nardone
Iscr. 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	A.12.b.5a	R				
REV.	DATA	DESCRIZIONE			ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	GENNAIO 2023	Emissione				Geol. Raffaele Nardone EGM Project	Ing. Carmen Martone EGM Project



	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: GENNAIO 2023 Pag. 1 di 24</p>
---	---	---

1	PREMESSA	2
2	SITO D’INSTALLAZIONE	3
3	NORME TECNICHE di riferimento	5
4	Metodologie di calcolo della producibilità	9
4.1	Potenza di picco, o potenza nominale del sistema.....	9
4.2	Stima delle perdite di sistema	10
4.3	Tipologia di montaggio.....	10
4.4	Calcolo delle prestazioni di moduli FV di vari tipi.....	10
4.5	Il metodo PVGIS per il calcolo del rendimento energetico.	11
4.6	Come sono stati determinati i coefficienti per le varie tecnologie FV	11
4.7	Incertezze nei dati e nei calcoli.....	12
4.8	Misure fatte a terra.....	12
4.9	Incertezze di interpolazione	12
4.10	Problemi con dati di irraggiamento diffuso	12
4.11	Problemi causati dall' uso di valori medi	13
5	PRINCIPALI COMPONENTI IMPIANTO	13
5.1	Pannelli fotovoltaici	14
5.2	Cabine di campo – inverter - trasformatore	16
6	STIMA PRODUCIBILITA’	20
6.1	Database irraggiamento PVGIS-5	20
6.2	Output del calcolo	22

 <p>EGM PROJECT SRL</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO A TERRA "STIGLIANO" DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA' "STANZALAURO" NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p>CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p>DATA: GENNAIO 2023 Pag. 2 di 24</p>
--	--	---

PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la realizzazione di un impianto agri-voltaico ubicato nel territorio Comunale di Stigliano in provincia di Matera, sulle particelle 25,27,28,29,30,32,33,34,35,36,37,38,119,161,163 del foglio 81. L'impianto oggetto di progettazione, ha una potenza complessiva di picco di 20 MW

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p align="right">DATA: GENNAIO 2023</p> <p align="right">Pag. 3 di 24</p>
---	---	---

1 SITO D'INSTALLAZIONE

L'impianto in oggetto, sarà ubicato in località “Stanzalauro” nel Comune di Stigliano (MT) circa 4Km in linea d'aria in direzione sud rispetto al nucleo urbano. La scelta del sito è stata dettata dai buoni livelli di irraggiamento e non incidenza su aree protette, in particolare, i terreni individuati per la realizzazione del campo agrivoltaico non ricadono nelle zone non idonee individuate dal PIEAR della Regionale Basilicata.

Nello specifico il Parco Fotovoltaico sarà ubicato a sud dell'abitato di Stigliano, ad una quota compreso tra circa 430 e 530 m s.l.m. ed è situata tra i corsi fluviali, Fosso S. Giuseppe e fosso dell'Eremita che si inseriscono all'interno della fiumara di Gorgoglione.

La caratteristica della tipologia di impianto è quella di adottare soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione.

Dati geografici del sito:

- Latitudine: 40,360634
- Longitudine: 16,215328

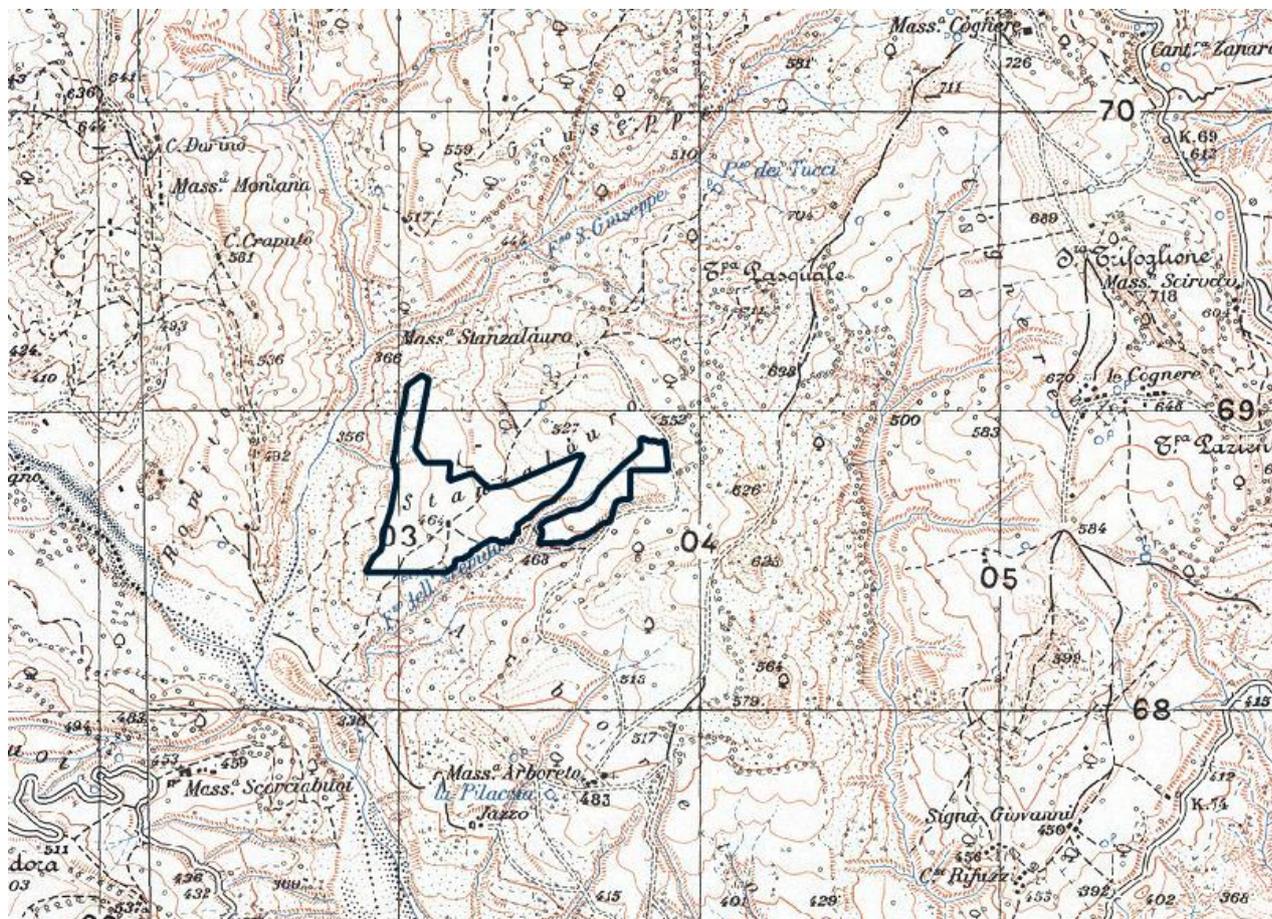


Figura 1-Inquadramento territoriale su base IGM 1:50000 con indicazione dell'area di intervento

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p>DATA: GENNAIO 2023</p> <p>Pag. 5 di 24</p>
---	---	---

2 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.
- **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;

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p align="center">DATA: GENNAIO 2023</p> <p align="right">Pag. 6 di 24</p>
---	---	--

- **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;
- **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

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: GENNAIO 2023</p> <p style="text-align: center;">Pag. 7 di 24</p>
---	---	---

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)
- **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.

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: GENNAIO 2023</p> <p style="text-align: center;">Pag. 8 di 24</p>
---	---	---

- **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
- **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

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: GENNAIO 2023</p> <p style="text-align: right;">Pag. 9 di 24</p>
---	---	--

- 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.

3 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:

3.1 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.

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: right;">DATA: GENNAIO 2023</p> <p style="text-align: right;">Pag. 10 di 24</p>
---	---	--

3.2 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.

3.3 Tipologia di montaggio

Come sistema di montaggio è stato ipotizzato l'utilizzo di strutture fisse.

3.4 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.
- 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.

	<p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p style="text-align: center;">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p style="text-align: center;">DATA: GENNAIO 2023</p> <p style="text-align: right;">Pag. 11 di 24</p>
---	---	---

3.5 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:

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

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

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

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

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA "STIGLIANO" DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA' "STANZALAURO" NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p align="center">DATA: GENNAIO 2023</p> <p align="right">Pag. 12 di 24</p>
---	---	---

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.

3.7 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.

3.8 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".

3.9 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.

3.10 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

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p align="center">DATA: GENNAIO 2023</p> <p align="right">Pag. 13 di 24</p>
---	---	---

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%.

3.11 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.

4 PRINCIPALI COMPONENTI IMPIANTO

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

- Strutture di supporto dei moduli con altezza indicativa da terra di 2,1 m;
- 30268 moduli monocristallini di tipo EGing PV EG-680NT66-HU/BF-DG o similare da 685 Wp per una potenza complessiva di 20000 kWp;
- N. 2 stazioni di trasformazione di elevazione BT/AT della potenza di 10000 kVA. Sarà a singolo secondario con tensione di 690V ed avrà una tensione al primario di 36kV;
- N. 4 inverter da 4700 kVA (potenza nominale a 40°C), realizzato su skid e idoneo al posizionamento esterno.;
- 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;

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p align="center">DATA: GENNAIO 2023</p> <p align="right">Pag. 14 di 24</p>
---	---	---

- Collegamento in entra-esci con cavidotti AT delle cabine di trasformazione e cavidotto di collegamento dell'impianto alla cabina di consegna in prossimità della RTN;
- Rete telematica di monitoraggio interna per il controllo dell'impianto mediante trasmissione dati via modem o tramite comune linea telefonica.

4.1 Pannelli fotovoltaici

Il modulo fotovoltaico selezionato è il modello Bifacciale EG-680NT66-HU/BF-DG, prodotto da EGing PV. Ha una potenza picco di 685.0 W, e la tecnologia delle celle è Si-mono.

Le caratteristiche dei moduli fotovoltaici scelti sono mostrate in figura 2.

Il modulo ha un fattore di bifaccialità di 80.00 %.

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p align="center">DATA: GENNAIO 2023</p> <p align="right">Pag. 16 di 24</p>
---	---	---



Esempio di un modulo fotovoltaico Bifacciale Si-mono

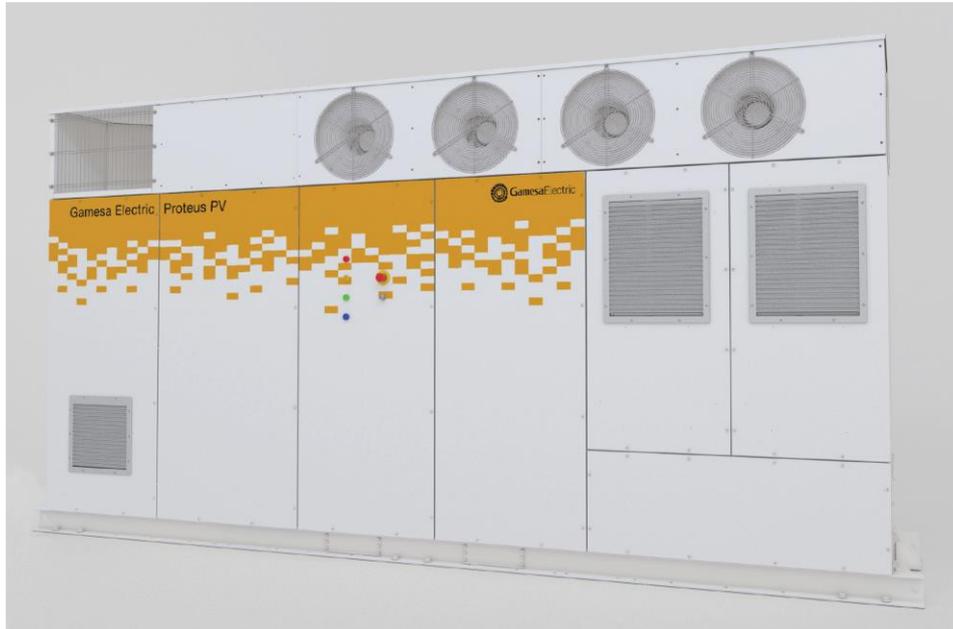
Il dimensionamento di massima è stato realizzato con un modulo fotovoltaico composto da celle fotovoltaiche in silicio monocristallino, ad alta efficienza e connesse elettricamente in serie, per una potenza complessiva di 685Wp. L'impianto sarà costituito da un totale di 30268 moduli per una conseguente potenza di picco pari a 20 MWp.

4.2 Cabine di campo – inverter - trasformatore

Nel presente progetto è prevista la divisione dell'impianto in 2 sottocampi, ognuno gestito da una power station Gamesa Electrics PV Proteus 2x4700, con doppio inverter da 4700 kVA (potenza nominale a 40°C), e trasformatore a doppio secondario della potenza di 10000kVA realizzato su skid e idoneo al posizionamento esterno. Le Power Station fungono da cabine di conversione da corrente continua (1500V DC) in corrente alternata (690V AC) e di trasformazione in grado di incrementare il voltaggio fino all'alta tensione (AT 36kV).

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p>DATA: GENNAIO 2023</p> <p>Pag. 17 di 24</p>
---	---	--

Ogni Power Station è in grado di garantire una potenza nominale AC in uscita a 40° di 9418 kVA gestita dalla coppia di inverter Proteus 4700 aventi le seguenti caratteristiche:



Inverter Gamesa Electric Proteus PV

MARCA	Gamesa Electric	
Modello	Proteus PV 4700	
Tensione minima avvio inverter	V_{min_inv}	955 V
Tensione massima in ingresso	V_{max_inv}	1500 V
Numero MPPT	MPPT	1
Numero ingressi per MPPT		2
Corrente massima per ingresso		2500 A
Corrente massima Inverter (40°)	I_{MPP}	5000 A
Corrente corto circuito	I_{sc}	9000 A
Potenza nominale	P_n	4700 W
Numero totale ingressi	N_{IN}	24
Rapporto DC/AC ammesso		2
Numero stringhe	N_{st}	1
Potenza massima in ingresso	P_{IN}	5491,2 W

Dati Inverter

	Gameca Electric Proteus PV 4100	Gameca Electric Proteus PV 4300	Gameca Electric Proteus PV 4500	Gameca Electric Proteus PV 4700
DC Input				
DC Voltage Range ⁽¹⁾	835 - 1500 V	875 - 1500 V	915 - 1500 V	955 - 1500 V
DC Voltage Range MPPT ⁽¹⁾	835 - 1300 V	875 - 1300 V	915 - 1300 V	955 - 1300 V
Number of Power Modules	2, not galvanically isolated, 1 MPPT			
Max. DC Current @40°C [104°F]	2 x 2500 A			
Max. DC Current @50°C [122°F]	2 x 2313 A			
Max. DC Current @55°C [131°F]	2 x 2220 A			
Max. DC Current @60°C [140°F]	2 x 1110 A			
Maximum Short-circuit Current, I _{sc} PV	Up to 9000 A			
Nr of DC Ports ⁽¹⁾	max 24 fuse +/- monitored max 36 fuse + monitored			
Fuse Dimensions	125 A to 500 A			
Max. Wire Cross Section per DC Input	2 x 400 mm ² - 800 AWG			
Energy Production from	0.5% P _n approx.			
AC Output				
Number of phases	Three-phase			
Nominal AC Power Total @40°C [104°F]	4095 kVA	4299 kVA	4504 kVA	4709 kVA
Nominal AC Power Total @50°C [122°F]	3790 kVA	3979 kVA	4169 kVA	4358 kVA
Nominal AC Power Total @55°C [131°F]	3637 kVA	3819 kVA	4001 kVA	4183 kVA
Nominal AC Power Total @60°C [140°F]	1819 kVA	1910 kVA	2001 kVA	2091 kVA
Maximum AC Current @40°C [104°F]	3940 Arms			
Nominal AC Voltage ⁽¹⁾	600 Vrms	630 Vrms	660 Vrms	690 Vrms
Nominal Voltage Allowance Range ⁽¹⁾	+/-10%			
Frequency Range ⁽¹⁾	47.5 - 53/57 - 63 Hz			
THD of AC Current	< 1% @5n			
Power Factor Range	0 (reactive) - 1 - 0 (capacitive)			
Maximum Wire Cross Section per AC Output Phase	6 x 400 mm ²			
Performance				
Max. Efficiency	99.45%			
Euro Efficiency	99.24%			
CEC Efficiency	99.02%	99.07%	99.11%	99.14%
Stand-by Power Consumption	< 200 W			
General Data				
Temperature Range - Operation ⁽²⁾	-20°C / +60°C [-4°F / +140°F]			
Maximum Altitude ⁽³⁾	< 2,000 m [6,561 ft] (w/o derating)			
Cooling System	Liquid & forced air			
Relative Humidity	4% - 100% (w/o condensation)			
Seismic ⁽⁴⁾	Zone 4 IBC 2012			
Max. wind speed ⁽¹⁾	288 km/h (179 mph)			
Snow load ⁽¹⁾	2.5 kN/m ²			
Protection Class	IP55 class 1, NEMA3R			
Dimensions (W/H/D)	4,325 x 2,250 x 1,022 mm [170.3" x 88.5" x 40.2"]			
Weight	4,535 kg [10,000 lb]			

Caratteristiche inverter

In ogni sottocampo è prevista una power station con doppio inverter in cui verrà installato il trasformatore di elevazione BT/AT della potenza di 10000 kVA. Sarà a doppio secondario con tensione di 690V ed avrà una tensione al primario di 36kV.

5 STIMA PRODUCIBILITA'

Utilizzando l'applicativo PVGIS si procede alla simulazione della producibilità

5.1 Database irraggiamento PVGIS-5

Relativamente al sito sono stati inseriti i seguenti dati:

Latitudine/Longitudine 40.360634 , 16.215328

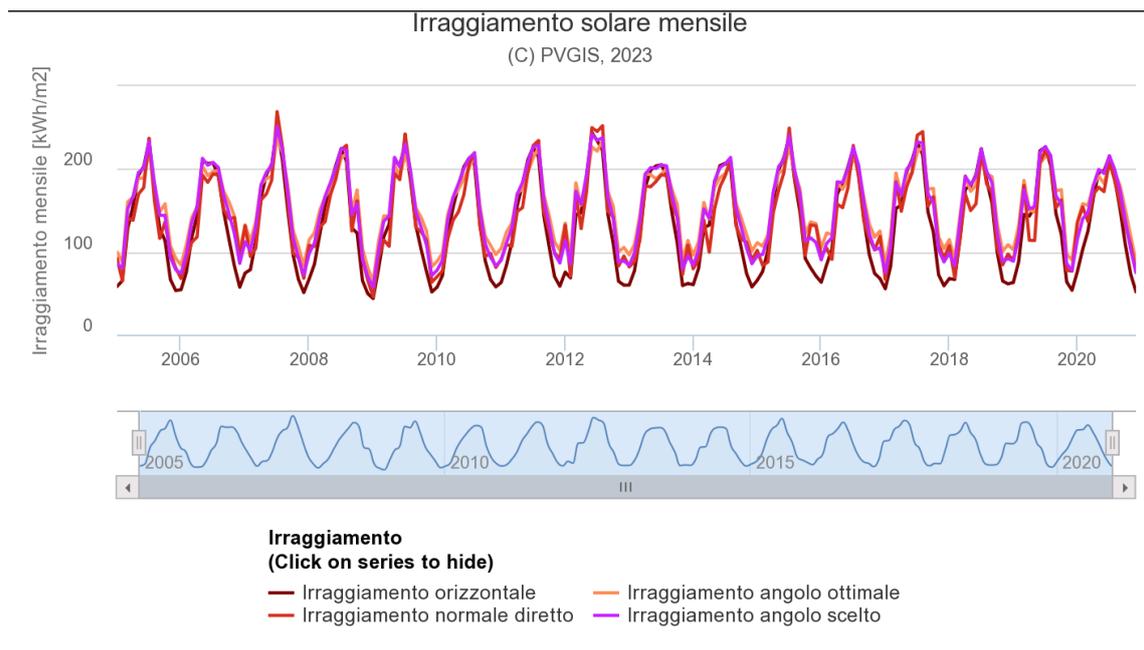
Orizzonte: Calcolato

Database solare PVGIS-SARAH2

Primo anno: 2005

Ultimo anno: 2020

L'irraggiamento solare mensile è riportato nello schema seguente:



Irraggiamento global orizzontale

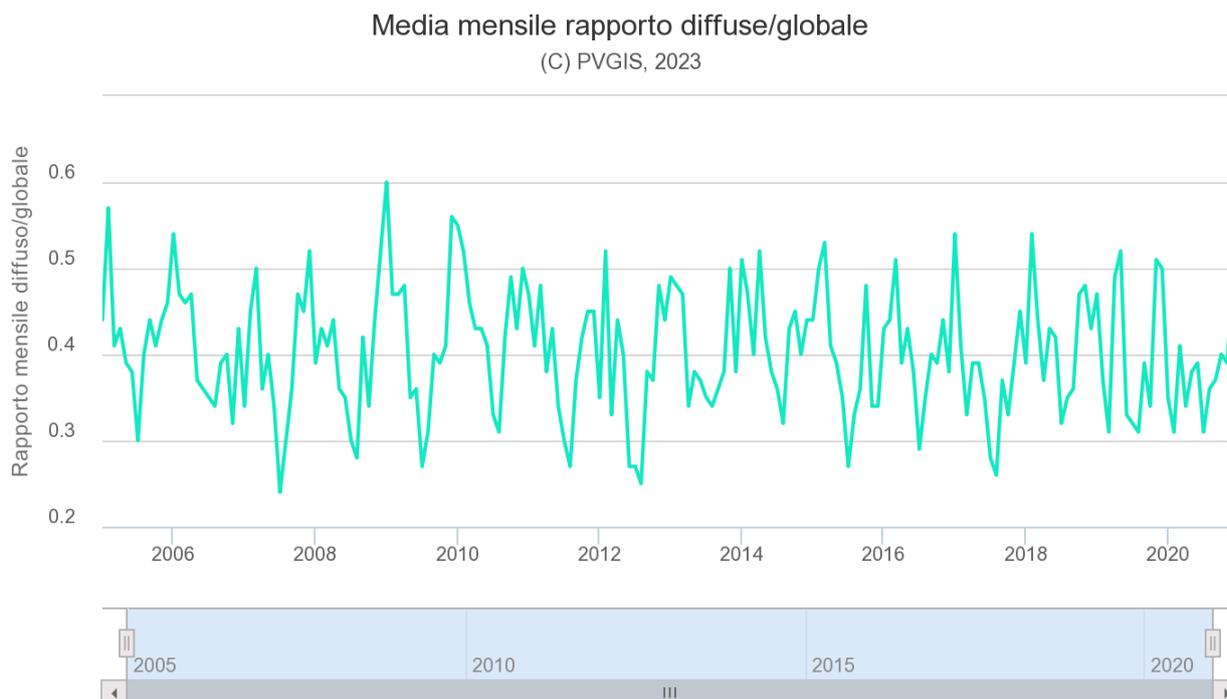
Mese	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gennaio	58.18	54.33	74.41	67.13	43.63	57.39	63.01	75.5	59.84	60.34	65.57	63.27	55.44	67.72	62.92	76.08
Febbraio	65.23	75.65	78.52	85.24	79.25	71.49	84.03	68.61	77.36	79.97	76.14	84.35	82.78	66.59	88.01	103.03
Marzo	128.43	117.15	112.88	121.1	118.19	119.83	111.49	145.1	119.05	129.38	102	103.06	152.51	116.8	144.98	125.33
Aprile	155.77	143.51	166.26	155.84	133.41	154.14	155.33	147.31	177.85	132.16	159.44	170	156.44	176.02	143.15	165.6
Maggio	192.52	210.08	193.51	181.06	209.76	179.68	181.98	191.04	198.58	183.37	198.87	182.37	197.11	179.19	154.2	196.16
Giugno	203	206.6	205.73	204.28	205.08	202.61	211.22	243.99	203.7	204.07	213.82	202.39	210.57	193.28	222.06	197.72
Luglio	233.53	207.58	250.36	224.32	229.68	213.33	226.38	234.15	205.09	207.01	239.71	225.41	232.3	224.49	226.55	214.99
Agosto	175.45	191.12	210.48	209.7	187.14	206.86	214.9	223.01	193.23	201.95	187.11	193.39	217.52	186.09	203.99	188.47
Settembre	128.3	148.36	150.67	128.95	132.12	134.04	143.18	145.63	147.64	134.97	148.74	139.47	148.18	159.04	145.98	151.72
Ottobre	113.34	114.78	96.3	122.65	103	89.55	105.91	110.05	110.91	104.62	91.98	96.79	124.29	98.89	121.31	108.44
Novembre	66.62	82.95	66.76	65.35	76.44	66.58	70.24	64.46	59.28	73.67	80.63	73.9	72.15	64.74	63.73	72.93
Dicembre	53.23	57.29	50.81	49.48	51.6	57.73	58.49	59.75	61.8	57.63	70.94	67.84	59.02	61.34	53.62	51.67

Irraggiamento normale diretto

Mese	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gennaio	92.14	67.7	131.51	107.71	46.06	70.15	90.97	132.1	81.81	79.55	101.78	94.86	66.8	107.48	89.67	134.73
Febbraio	64.89	89.65	94.43	106.51	92.96	76.89	109.04	70.59	88.32	90.81	83.63	104.39	104.63	69.17	121.37	154.23
Marzo	140.36	111.59	104.28	129.9	114.21	116.21	106.52	169.73	114.19	138.2	87.65	90.93	184.46	114.81	179.94	136.65
Aprile	138.17	117.88	162.82	136.47	106.74	138.4	148.76	128.08	179.6	99.62	147.31	157.5	149.03	169.75	113.92	169.53
Maggio	169.61	192.71	170.06	168.86	194.62	148.36	153.31	172.5	178.49	152	174.37	153.33	178.57	149.87	113.65	177.94
Giugno	177.59	183.98	186.74	187.86	187.17	168.8	196.29	249.93	184.75	178.43	195.74	177.22	195.19	157.97	208.17	172.67
Luglio	237.11	194.07	269.25	223.35	242.31	206.52	228.39	245.38	192.81	192.03	249.43	228.45	240.81	221.78	222.33	209.24
Agosto	162.23	192.49	226.64	228.62	194.96	219.74	234.45	252.27	192.29	209.98	189.7	190.75	245.13	181.95	208.73	185.97
Settembre	116.24	150.85	162.61	125.25	129.61	132.11	149.2	148.59	158.61	132.04	159.56	136.73	155.13	171.31	153.25	158.11
Ottobre	136.05	140	98.3	161.52	124.09	94.5	123.76	142.29	141.19	115.49	96.15	115.68	166.49	105.24	162.57	131.69
Novembre	98.29	141.39	93.29	92.21	113.85	97.92	99	82.86	72.86	111.49	132.36	102.45	108.45	84.27	77.66	108.38
Dicembre	80.46	93.03	68.07	65.63	63.34	81.18	91.17	94.82	108.03	90.08	131.55	118.54	92.76	97.29	76.7	75.2

	<p align="center">PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A TERRA “STIGLIANO” DELLA POTENZA NOMINALE DI 20 MW IN LOCALITA’ “STANZALAURO” NEL COMUNE DI STIGLIANO (MT)</p> <p align="center">CALCOLO DI PRODUCIBILITÀ DELL'IMPIANTO</p>	<p align="right">DATA: GENNAIO 2023</p> <p align="right">Pag. 22 di 24</p>
---	---	--

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



5.2 Output del calcolo

Produzione annuale FV [kWh]: 28114.62

Irraggiamento annuale [kWh/m²]: 1819.82

Variazione interannuale [kWh]: 839.07

Variazione di produzione a causa di:

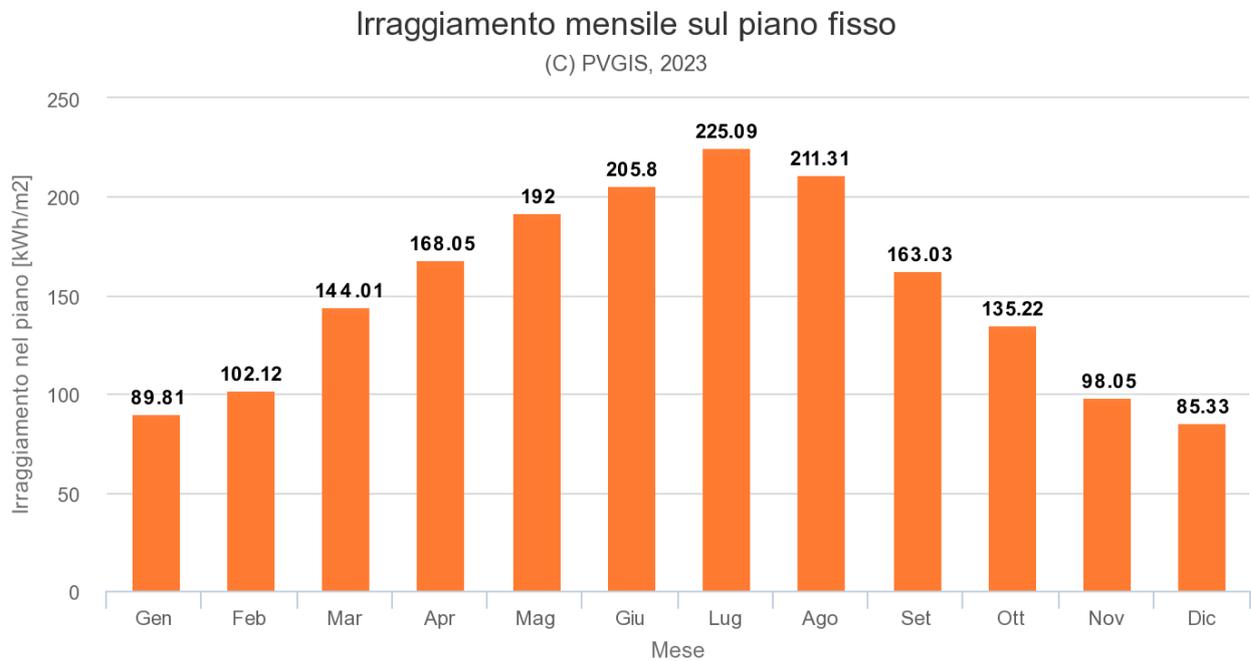
Angolo d'incidenza [%]: -2.91

Effetti spettrali [%]: 0.84

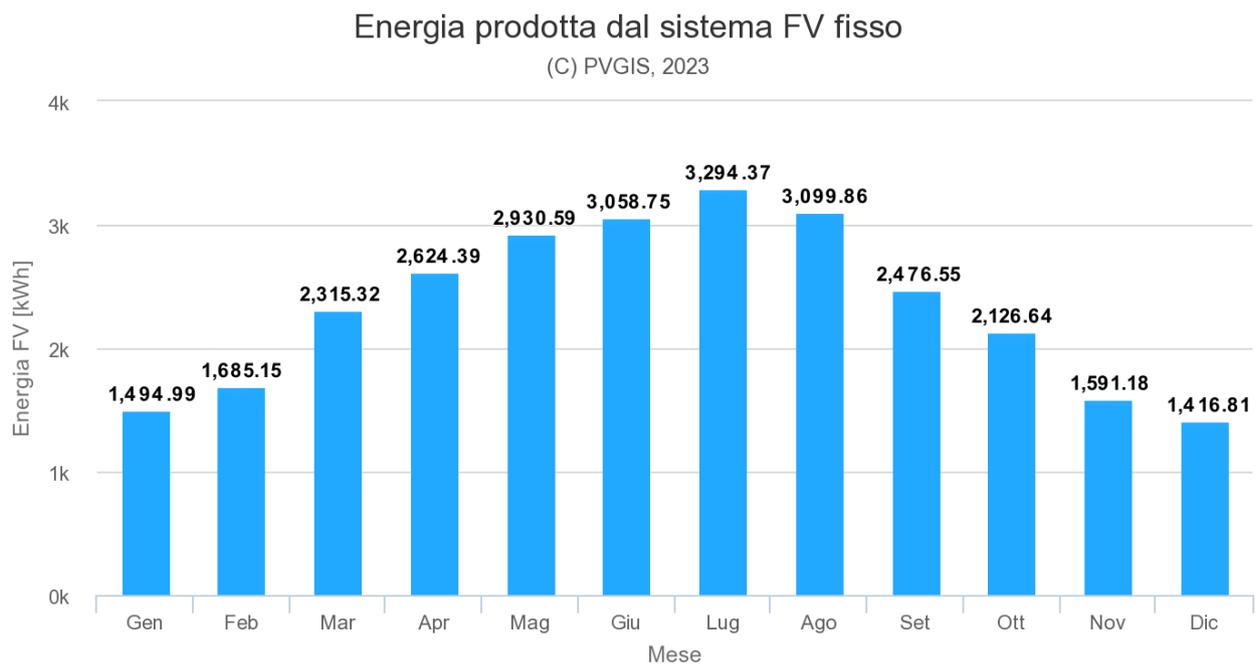
Perdite temp. ed irr. bassa [%]: -8.26

Perdite totali [%]: -22.75

L'irraggiamento mensile risulta:



Mentre il grafico della producibilità è il seguente:



In conclusione la Produzione annuale stimata è [kWh]: 28114.62 kWh