



COMUNE DI
LOREO



REGIONE DEL VENETO



PROVINCIA DI
ROVIGO



IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO COMPOSTO DA DUE SEZIONI DI PRODUZIONE E SISTEMA DI ACCUMULO (STORAGE SYSTEM)

ALLEGATO		TITOLO			SCALA
REL. M		CALCOLO PRODUZIONE SOLARE FOTOVOLTAICA			---
Data	Rev.	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione
30/09/2022	00	EMISSIONE	E.C.	E.C.	E.C.

IL COMMITTENTE



Eridano S.r.l. - Via Vittorio Veneto n° 137
45100 ROVIGO p.lva 01620970291

PROGETTAZIONE
ed integrazione attività tecniche specialistiche

Arch. Enrico CAVALLARO



CALCOLO DELLA PRODUZIONE SOLARE FOTOVOLTAICA

Sommario

1. Strumento Utilizzato	2
2. Dati Meteo Utilizzati	2
3. Stima di Produttività ad impianto nuovo	2
3.1 Produzione unitaria.....	2
3.2 Incremento di produzione per l'utilizzo di moduli bifacciali.....	5
3.3 Perdite di efficienza nel tempo dei pannelli solari	6
4. Stima di Produttività dell'impianto nel periodo di vita operativa	6

1. Strumento Utilizzato

Il calcolo della produzione fotovoltaica è stato realizzato con riferimento alla posizione geografica del sito utilizzando come strumento PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), software reso disponibile dal *Joint Research Centre* della Commissione Europea.

PVGIS è universalmente riconosciuto essere uno strumento attendibile e affidabile nella stima della produzione di energia da fonte fotovoltaica.

2. Dati Meteo Utilizzati

PVGIS simula la produzione di energia utilizzando dati meteo rielaborati su base statistica.

Come Base Dati Meteo si è utilizzato il Database CMSAF, reso disponibile da EUMETSAT che fornisce i dati medi di radiazione solare diretta e indiretta ottenuti da rilevazioni satellitari, umidità, temperatura e velocità del vento, rielaborati su dati statistici, parametrizzandoli con misure reali al suolo.

3. Stima di Produttività ad impianto nuovo

3.1 Produzione unitaria

Al fine di una immediata leggibilità e confronto, la producibilità fotovoltaica a Loreo (RO) è stata stimata per un impianto di potenza installata unitaria di 1 kW_p.

Tra i dati input (Tab. 1) inseriti al fine della stima di produttività dell'impianto, oltre alla localizzazione e al materiale dei moduli fotovoltaici, ci sono da considerare le perdite del sistema.

Nel caso in analisi, le perdite di sistema considerate sono la somma dei seguenti contributi: Mismatching tra stringhe, cavi BT in CC, inverter, trasformatori BT/MT, cavi MT e trasformazione MT/AT, che per i grandi impianti *Utility Scale* sono mediamente stimabili nel 14% dell'energia prodotta.

Provided inputs	
Latitude/Longitude:	45.044, 12,171
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-CMSAF
PV tecnologia:	Crystalline silicon
	Inclined axis
PV installed:	1 kWp
System loss:	10%

Tab. 1 - Valori inseriti per la simulazione PVGIS

Successivamente lo strumento PVGIS fornisce tra gli output (Tab. 2), oltre al valore di producibilità fotovoltaica, la stima delle perdite di cavi e inverter, causate da temperatura esterna locale e irradianza bassa, dagli effetti di riflessione e dall'angolo di incidenza.

L'applicazione di PVGIS con i dati CMSAF fornisce per il Nord-Est di Italia stime attendibili di produttività, che trovano puntuale riscontro negli impianti realizzati a partire dal 2006 fino ad oggi. Per quanto riguarda l'impianto oggetto della presente relazione l'analisi ha fornito come output una produzione annuale unitaria pari a 1632 kWh/kW_p.

Simulation outputs	
Slope angle [°]	0
Yearly PV energy production [kwh]:	1632
Yearly in-plane irradiation[kwh/m2]:	1.982,66
Year to year variability [kWh]:	75,2
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-1,86
Spectral effects [%]	0,97
Temp. And low irradiance [%]:	-7,71
Total loss [%]:	-17,69

Tab. 2 - Output calcolo simulazione PVGIS

PVGIS fornisce anche l'output delle medie mensili (Tab. 3) della produzione elettrica per un impianto fotovoltaico di potenza installata unitaria di 1 kW_p (Fig. 1) e di irradiazione globale per metro quadrato del piano dei moduli fotovoltaici (Fig. 2).

Monthly energy output from tracking PV system:

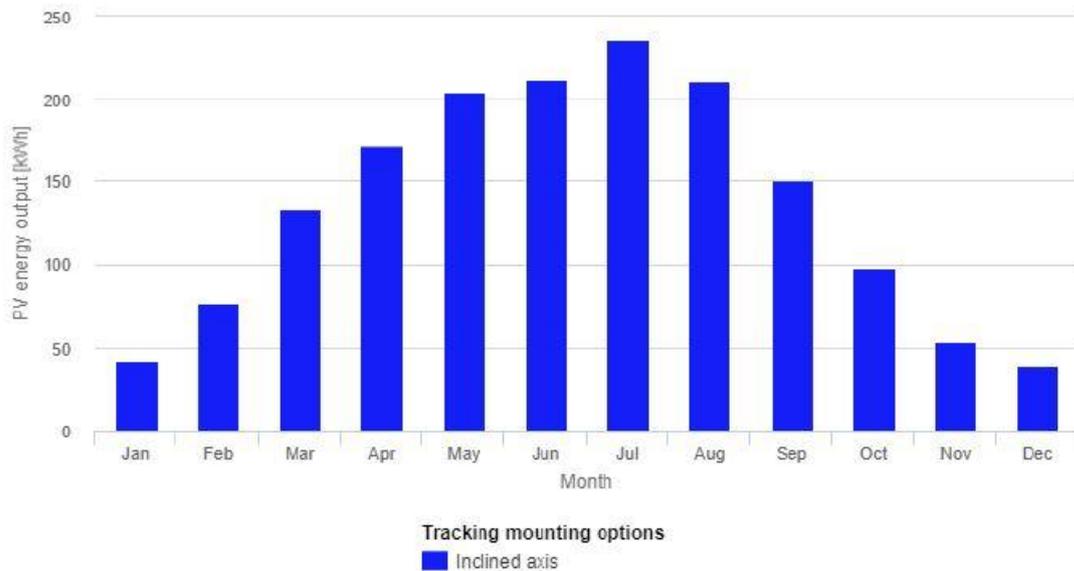


Fig. 1 – Media mensile di produzione elettrica del sistema fotovoltaico

Monthly in-plane irradiation for tracking PV system:

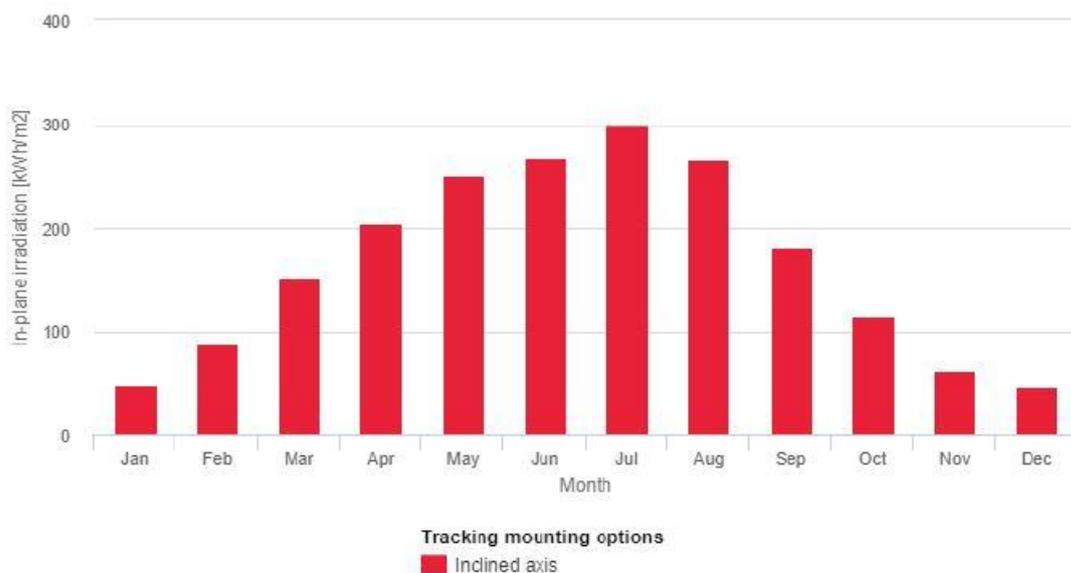


Fig. 2 - Media mensile di Irradiazione globale per metro *quadrato* sul piano dei pannelli fotovoltaici

Month	Inclined Axis		
	E_m	H(i)_m	SD_m
January	42,60	48,80	9,30
February	77,00	87,00	12,30
March	133,70	153,90	18,50
April	171,60	204,20	21,20
May	205,10	251,30	20,40
June	212,80	267,50	13,40
July	236,10	299,40	16,90
August	211,20	265,80	16,20
September	150,40	182,40	10,30
October	98,20	114,50	13,00
November	53,60	62,00	11,90
December	39,80	46,00	6,20

E_m: average monthly electricity production from the given system [kWh]

H(i)_m: average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²]

SD_m: standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh]

Tab. 3 – Tabella di riepilogo delle medie mensili di produzione elettrica e di irradiazione globale sul piano dei pannelli fotovoltaici

L'effetto dell'ombreggiamento reciproco nelle prime ore dopo l'alba e nelle ultime prima del tramonto, e gli effetti di mismatching tra i pannelli portano ad una riduzione di producibilità stimata del 5%.

La produzione fotovoltaica annuale unitaria è pertanto pari a 1550 kWh/kWp.

3.2 Incremento di produzione per l'utilizzo di moduli bifacciali

Nell'impianto in analisi, si utilizzeranno moduli fotovoltaici bifacciali. Significa che anche il retro del modulo, colpito dalla radiazione riflessa dal terreno e dall'atmosfera, contribuisce alla produzione fotovoltaica.

La stima è difficile, essendo questo contributo estremamente variabile in dipendenza della radiazione diretta che arriva al suolo e dall'albedo dello stesso. Dalla letteratura tecnica, riguardante questo argomento, si riscontra un aumento di produzione compreso nel range 5%-20% della produzione della componente "Front".

L'albedo risulta estremamente variabile, anche a parità di superficie. Ad esempio, l'albedo assume un valore tipico di 0,20 per erba secca, mentre l'erba fresca ha un valore caratteristico di circa 0,26.

Nel caso analizzato, nel periodo di maggior produzione, considerata le specie agricole coltivate, si può ragionevolmente assumere il valore di albedo dell'erba secca pari a colture agricole, ovvero sia un valore di **albedo 0,20**.

L'applicazione di questo coefficiente di albedo comporta, per impianti fotovoltaici monoassiali, un incremento di produzione del 10%. **Cautelativamente, nelle tabelle che seguono ci si riferisce ad un incremento dato dalla facciata "back" dei moduli fotovoltaici biassiali del 5%.**

La Producibilità Fotovoltaica Unitaria Annuale incrementata per l'utilizzo dei moduli bifacciali è pertanto pari a 1.627,5 kWh/kWp.

3.3 Perdite di efficienza nel tempo dei pannelli solari

I dati forniti dagli stessi produttori di moduli indicano nello 0,5% la perdita di efficienza annua dei moduli solari. Questo valore coincide con il dato di letteratura e con i riscontri sperimentali degli impianti in esercizio ormai da numerosi anni.

4. Stima di Produttività dell'impianto nel periodo di vita operativa

La produzione effettiva del nuovo impianto (anno 1) si calcola moltiplicando la produzione unitaria emersa dall'analisi di PVGIS (punto 3.1), incrementata del contributo dovuto dall'impiego di moduli bifacciali (punto 3.2), per la Potenza Installata dell'impianto.

Per l'impianto di **20.452 kW_p** la produzione all'anno 1 è quindi pari a:

$$1.550 \text{ kWh} \times (1 + 5\%) \times 20.452 \text{ kW}_p = 33'285'630 \text{ kWh/anno}$$

La tabella che segue (Tab. 4) riporta la stima di produzione per ciascun anno di vita operativa (per un totale di 30 anni) dell'impianto fotovoltaico, riducendola delle perdite per vetustà (punto 3.3):

Anno	Produzione FRONT [KWh/y]	Contributo BACK [KWh/y]	Producibilità Annuale [KWh/y]
1	31.700.600	1.585.030	33.285.630
2	31.542.097	1.577.105	33.119.202
3	31.384.387	1.569.219	32.953.606
4	31.227.465	1.561.373	32.788.838
5	31.071.327	1.553.566	32.624.894
6	30.915.971	1.545.799	32.461.769
7	30.761.391	1.538.070	32.299.460
8	30.607.584	1.530.379	32.137.963
9	30.454.546	1.522.727	31.977.273
10	30.302.273	1.515.114	31.817.387
11	30.150.762	1.507.538	31.658.300
12	30.000.008	1.500.000	31.500.008
13	29.850.008	1.492.500	31.342.508
14	29.700.758	1.485.038	31.185.796
15	29.552.254	1.477.613	31.029.867
16	29.404.493	1.470.225	30.874.717
17	29.257.470	1.462.874	30.720.344
18	29.111.183	1.455.559	30.566.742
19	28.965.627	1.448.281	30.413.908
20	28.820.799	1.441.040	30.261.839
21	28.676.695	1.433.835	30.110.530
22	28.533.312	1.426.666	29.959.977
23	28.390.645	1.419.532	29.810.177
24	28.248.692	1.412.435	29.661.126
25	28.107.448	1.405.372	29.512.821
26	27.966.911	1.398.346	29.365.257
27	27.827.076	1.391.354	29.218.430
28	27.687.941	1.384.397	29.072.338
29	27.549.501	1.377.475	28.926.976
30	27.411.754	1.370.588	28.782.342

Tab. 4 – Stima di produzione per 30 anni di vita operativa dell’impianto fotovoltaico