

Regione Basilicata



Comune di Rapolla



Comune di Venosa



## PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN CLUSTER DI N. 2 IMPIANTI AGRIVOLTAICI DENOMINATI "RAPOLLA" E "VENOSA" DELLA POTENZA COMPLESSIVA DI PICCO PARI A 29.353,68 kWp DA REALIZZARSI IN AGRO DI RAPOLLA E VENOSA (PZ) E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE UBICATE ANCHE NEL COMUNE DI MELFI (PZ)

TITOLO

## Stima di Produzione dell'impianto FV Rapolla

PROGETTAZIONE	CONSULENZA	PROPONENTE
 SR International S.r.l. Via di Monserrato 152 - 00186 Roma Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106 C.F e P.IVA 13457211004   Ing. Andrea Bartolazzi		 ATON 36 S.r.l. Via Ezio Maccani, 54 - 38121 Trento aton36.srl@pec.it C.F e P.IVA 02729140224

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	26/02/2024	Ing. Lauretti	Ing. Bartolazzi	ATON 36 S.r.l.	RP

Codice Elaborato	Scala	Formato
PSR-GRM-SP-R	-	A4

**INDICE**

INDICE DELLE FIGURE.....	1
1. LOCALIZZAZIONE DEL SITO .....	2
2. POTENZA DELL'IMPIANTO ED ENERGIA PRODUCIBILE .....	2
2.1 Criterio progettuale .....	2
2.2 Irraggiamento solare .....	3
2.3 Perdite nell'impianto FV .....	3
2.4 Software di simulazione PVSYST .....	4
2.5 Energia prodotta dall'impianto .....	5

**INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1 - Radiazione incidente e dati meteo nell'area d'impianto.....	3
--	---

## 1. LOCALIZZAZIONE DEL SITO

Il sito, ove si prevede di realizzare l'impianto agrivoltaico denominato "Rapolla", è localizzato nella regione Basilicata, in provincia di Potenza, all'interno del territorio comunale di Rapolla. L'area prevista per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico e di tutte le opere necessarie alla connessione alla rete e delle infrastrutture per la produzione di energia elettrica, sono situate a circa 5 km in linea d'aria a Nord-Est rispetto al Comune di Rapolla.

## 2. POTENZA DELL'IMPIANTO ED ENERGIA PRODUCIBILE

### 2.1 Criterio progettuale

Il principio progettuale normalmente utilizzato per un impianto agrivoltaico è quello di massimizzare la captazione della radiazione solare annua disponibile, adottando soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione. Nella generalità dei casi, il generatore agrivoltaico deve essere esposto alla luce solare in modo ottimale, scegliendo prioritariamente l'orientamento a Sud per moduli posizionati su strutture fisse al suolo, oppure con l'asse di rotazione in direzione Nord-Sud nel caso di tracker, ed evitando fenomeni di ombreggiamento. In funzione degli eventuali vincoli architettonici della struttura che ospita il generatore stesso, possono comunque essere adottati orientamenti diversi e sono ammessi fenomeni di ombreggiamento, purché adeguatamente valutati. Perdite d'energia dovute a tali fenomeni incidono sul costo del kWh prodotto e sul tempo di ritorno dell'investimento, quanto più il fenomeno è amplificato.

Il generatore agrivoltaico in progetto sarà costituito da un totale di 25.104 moduli fotovoltaici monocristallini bifacciali di potenza nominale pari a 590 Wp, installati su strutture metalliche ad inseguimento solare monoassiale, con asse di rotazione in direzione Nord-Sud. La potenza nominale in dc sarà pari a circa 14.811,36 kWp.

Le caratteristiche tecniche e realizzative dell'impianto sono riportate in forma tabellare come di seguito:

Impianto Agrivoltaico	Numero Inverter	N. Stringhe per Inverter	Numero stringhe	Numero moduli	Moduli per stringa	Potenza Sottocampo [kWp]	Potenza Totale [kWp]	Cabine quadri in AT	Cabina di raccolta	Potenza trafo BT/AT 0,8/36 kV
Sottocampo 1	11	24 str x 8 inv 23 str x 3 inv	261	6264	24	3695,8	14811,36	CT1	CDR	4000
Sottocampo 2	11	24 str x 8 inv 23 str x 3 inv	261	6264	24	3695,8		CT2		4000
Sottocampo 3	11	24 str x 9 inv 23 str x 2 inv	262	6288	24	3709,9		CT3		4000
Sottocampo 4	12	22 str x 10 inv 21 str x 2 inv	262	6288	24	3709,9		CT4		4000
<b>TOTALE</b>	<b>45</b>		<b>TOTALE</b>	<b>TOTALE</b>		<b>MW</b>		<b>TOTALE</b>	<b>TOTALE</b>	
			<b>1046</b>	<b>25104</b>		<b>14811,36</b>		<b>4</b>	<b>1</b>	

Il calcolo dell'energia prodotta dall'impianto è stato effettuato mediante l'utilizzo del software PVSYST. Le variabili da considerare per ottenere un risultato affidabile e rispondente alla realtà, sono sia i valori climatici relativi all'area d'impianto (irraggiamento, umidità, temperatura, ecc..) l'efficienza dei moduli fotovoltaici, il

rendimento di tutti i componenti elettrici facenti parte del sistema e l'ombreggiamento.

## 2.2 Irraggiamento solare

Come già specificato, ai fini del calcolo della produzione di energia elettrica attesa sarà essenziale definire le condizioni di irraggiamento del sito di installazione. Secondo quanto previsto dalla normativa si calcolerà dunque l'entità della radiazione annua nella nell'area dell'impianto agrivoltaico.

Si riportano di seguito i valori medi mensili dell'irraggiamento solare sull'area d'impianto nel Comune di Rapolla (PZ) nei diversi mesi dell'anno.

Balances and main results								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	ratio
January	55.4	27.52	4.39	70.9	67.3	1031255	994080	0.947
February	59.0	35.20	4.39	72.1	69.2	1067487	1028353	0.963
March	105.1	52.31	6.57	132.7	128.6	1942937	1869295	0.951
April	149.4	58.49	11.02	192.4	187.7	2755068	2644236	0.928
May	215.2	71.66	17.31	276.2	270.4	3855902	3579478	0.875
June	202.0	75.20	21.13	258.1	252.3	3577488	3433525	0.898
July	225.4	66.42	24.02	294.6	288.5	4031909	3867174	0.886
August	169.7	70.64	21.50	214.4	209.3	2993350	2876834	0.906
September	136.3	54.05	18.95	176.9	172.2	2484723	2389095	0.912
October	79.4	42.23	14.39	100.6	97.0	1440067	1387363	0.931
November	60.1	29.31	8.33	77.7	74.0	1117165	1076680	0.936
December	54.2	27.15	5.04	69.5	65.6	1008706	915830	0.890
Year	1511.3	610.19	13.14	1936.2	1882.1	27306059	26061943	0.909

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Figura 1 - Radiazione incidente e dati meteo nell'area d'impianto

Come si può evincere dall'osservazione della Figura 1, considerando dunque i dati mensili riportati, l'irraggiamento annuale nell'area di progetto risulta essere pari a circa  $1.5411,3 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$ .

## 2.3 Perdite nell'impianto FV

Come già accennato, nel calcolo dell'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico bisogna tenere in considerazione, oltre all'irraggiamento annuo dell'area, anche del rendimento dei componenti elettrici del sistema, l'efficienza dei moduli fotovoltaici e l'ombreggiamento.

L'energia generata dipende:

- dal sito di installazione (latitudine, radiazione solare disponibile, temperatura, riflettanza della superficie antistante i moduli);
- dall'esposizione dei moduli: angolo di inclinazione e angolo di orientazione;
- da eventuali ombreggiamenti o insudiciamenti del generatore agrivoltaico;

- dalle caratteristiche dei moduli: potenza nominale, coefficiente di temperatura, perdite per disaccoppiamento o mismatch;
- dalle caratteristiche del BOS (Balance Of System).

Il valore del BOS può essere stimato direttamente oppure come complemento all'unità del totale delle perdite, calcolate mediante la seguente formula:

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

per i seguenti valori:

- Perdite per riflessione.
- Perdite per ombreggiamento.
- Perdite per mismatching.
- Perdite per effetto della temperatura.
- Perdite nei circuiti in continua.
- Perdite negli inverter.
- Perdite nei circuiti in alternata.

L'efficienza nominale del modulo agrivoltaico ( $\eta$ ) è data dal rapporto tra la potenza nominale (espressa in kW) e la superficie del modulo (espressa in mq). Nel caso in questione, per il modulo ipotizzato si ottiene:

$$\eta = P_{nom} / S_{mod} = 100 \times (0,59 \text{ kW} / (2,278 \text{ m} \times 1,134 \text{ m})) = 22,8\%$$

Per valutare l'energia producibile e la potenza disponibile in corrente alternata occorre tener conto delle perdite che si possono generare nel sistema e che nel dettaglio sono rappresentate da:

In termini di rendimenti di sistema il Decreto del Ministero delle Attività Produttive n. 181 del 05/08/2005 impone che un impianto di produzione di energia posseda i seguenti requisiti di efficienza energetica:

- Una potenza lato CC superiore all'85% ( $\eta_{cc}$ ) della potenza nominale del generatore agrivoltaico, riferita alle specifiche condizioni di irraggiamento.
- Una potenza attiva lato AC superiore al 90% ( $\eta_{ac}$ ) della potenza lato CC (efficienza del gruppo di conversione).

Secondo quanto esposto si avrà pertanto una potenza attiva lato AC superiore al 76.5% (85% x 90%) della potenza nominale dell'impianto agrivoltaico, riferita alle condizioni standard di irraggiamento pari a 1000 W/m<sup>2</sup> a 25°C. Si riportano di seguito i risultati di produzione dell'energia elettrica annua dell'impianto agrivoltaico ed il numero di ore equivalenti di funzionamento, per i vari sottocampi, ottenuti dalle simulazioni con il software PVSYST.

#### **2.4 Software di simulazione PVSYST**

Come accennato in precedenza, PVSyst è tra i più potenti strumenti software per la simulazione di sistemi FV connessi direttamente in rete e stand-alone. È stato sviluppato dal Center of Energy dell'Università di Ginevra, in Svizzera. Nella modalità di ingegneria (progettazione dell'impianto FV), PVSyst consente una definizione molto dettagliata dell'impianto agrivoltaico, comprese geometrie speciali, come oggetti ombreggiati o sistemi di tracciamento. PVSyst contiene un enorme database di proprietà tecniche ed elettriche dei componenti FV più comuni (moduli, inverter) disponibili sul mercato.

In sintesi, il software mostra le seguenti principali caratteristiche e prestazioni:

- Calcoli basati su dati orari;
- Database di moduli fotovoltaici, inverter e meteo;
- Possibilità di definire nuovi modelli di modulo, inverter e dati meteo;
- Possibilità di scelta di ogni tipologia di modulo (mono, multi, film sottile) con le sue proprietà specifiche;
- Calcolo delle proprietà delle celle (RShum, RS. <sup>TM</sup> ») e del loro impatto sulla produzione dell'impianto FV;
- Calcolo di impianti con moduli multistringa;
- Monitoraggio delle prestazioni a di moduli fotovoltaici e inverter;
- Perdite di ombreggiamento dovute all'orizzonte e di altri oggetti vicini (edifici, alberi, ecc.);
- Calcolo delle perdite nel cablaggio dell'array (fino al trasformatore);
- Modellizzazione dinamica della temperatura e dati meteo, calcolo delle perdite di temperatura;
- Studio dei sistemi ad inseguimento solare (2 assi, 1 asse).

## **2.5 Energia prodotta dall'impianto**

Si riportano di seguito le tabelle riepilogative dell'analisi della producibilità relative all'impianto agrivoltaico nel suo complesso che utilizza moduli bifacciali da 590 Wp, montati su strutture fisse al suolo, mediante il software PVSYST.



# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

Project: Rapolla-Grimolizzi

Variant: Nuova variante di simulazione

Tracking system with backtracking

System power: 14.81 MWp

Rapolla - Italia

**Author**  
SR international (Italy)



**PVsyst V7.4.4**  
VC0, Simulation date:  
09/01/24 08:40  
with v7.4.4

**Project: Rapolla-Grimolizzi**  
Variant: Nuova variante di simulazione

SR international (Italy)

**Project summary**

<b>Geographical Site</b> Rapolla Italia	<b>Situation</b> Latitude 41.00 °N Longitude 15.74 °E Altitude 333 m Time zone UTC+1	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> Rapolla PVGIS api TMY		

**System summary**

<b>Grid-Connected System</b>	<b>Tracking system with backtracking</b>	
<b>PV Field Orientation</b> Orientation Tracking plane, horizontal N-S axis Axis azimuth 0 °	<b>Tracking algorithm</b> Irradiance optimization Backtracking activated	<b>Near Shadings</b> Linear shadings : Fast (table) Diffuse shading Automatic
<b>System information</b>		
<b>PV Array</b> Nb. of modules 25104 units Pnom total 14.81 MWp	<b>Inverters</b> Nb. of units 45 units Pnom total 13.50 MWac Pnom ratio 1.097	
<b>User's needs</b> Unlimited load (grid)		

**Results summary**

Produced Energy	26061943 kWh/year	Specific production	1760 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	90.88 %
-----------------	-------------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

**Table of contents**

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Near shading definition - Iso-shadings diagram	5
Main results	6
Loss diagram	7
Predef. graphs	8
Single-line diagram	9



**PVsyst V7.4.4**  
VC0, Simulation date:  
09/01/24 08:40  
with v7.4.4

Project: Rapolla-Grimolizzi

Variant: Nuova variante di simulazione

SR international (Italy)

**General parameters**

Grid-Connected System		Tracking system with backtracking	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Tracking algorithm</b>	
<b>Orientation</b>		Irradiance optimization	
Tracking plane, horizontal N-S axis		Backtracking activated	
Axis azimuth 0 °			
		<b>Backtracking array</b>	
		Nb. of trackers 1094 units	
		<b>Sizes</b>	
		Tracker Spacing 5.00 m	
		Collector width 2.28 m	
		Ground Cov. Ratio (GCR) 45.6 %	
		Phi min / max. -/+ 60.0 °	
		<b>Backtracking strategy</b>	
		Phi limits for BT -/+ 62.7 °	
		Backtracking pitch 5.00 m	
		Backtracking width 2.28 m	
		Mode Automatic	
<b>Models used</b>		<b>Near Shadings</b>	
Transposition Perez		Linear shadings : Fast (table)	
Diffuse Imported		Diffuse shading Automatic	
Circumsolar separate			
<b>Horizon</b>		<b>User's needs</b>	
Free Horizon		Unlimited load (grid)	
<b>Bifacial system</b>			
Model 2D Calculation			
unlimited trackers			
<b>Bifacial model geometry</b>		<b>Bifacial model definitions</b>	
Tracker Spacing 5.00 m		Ground albedo 0.30	
Tracker width 2.28 m		Bifaciality factor 80 %	
GCR 45.6 %		Rear shading factor 5.0 %	
Axis height above ground 2.10 m		Rear mismatch loss 10.0 %	
		Shed transparent fraction 0.0 %	

**PV Array Characteristics**

PV module		Inverter	
Manufacturer Longi Solar		Manufacturer Huawei Technologies	
Model LR5-72HGD-590M Bifacial		Model SUN2000-330KTL-H3	
(Original PVsyst database)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power 590 Wp		Unit Nom. Power 300 kWac	
Number of PV modules 25104 units		Number of inverters 45 units	
Nominal (STC) 14.81 MWp		Total power 13500 kWac	
Modules 1046 string x 24 In series		Operating voltage 500-1500 V	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Max. power (=>25°C) 300 kWac	
Pmpp 13.79 MWp		Pnom ratio (DC:AC) 1.10	
U mpp 960 V		Power sharing within this inverter	
I mpp 14366 A			
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC) 14811 kWp		Total power 13500 kWac	
Total 25104 modules		Number of inverters 45 units	
Module area 64850 m²		Pnom ratio 1.10	
Cell area 59871 m²			



**PVsyst V7.4.4**  
VC0, Simulation date:  
09/01/24 08:40  
with v7.4.4

**Project: Rapolla-Grimolizzi**  
**Variant: Nuova variante di simulazione**

SR international (Italy)

**Array losses**

<b>Array Soiling Losses</b>		<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>				
Loss Fraction	1.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	0.72 mΩ			
<b>LID - Light Induced Degradation</b>		<b>Module Quality Loss</b>		Loss Fraction	1.0 % at STC			
Loss Fraction	1.0 %	Loss Fraction		<b>Module mismatch losses</b>				
<b>Strings Mismatch loss</b>		0.0 %		Loss Fraction				
Loss Fraction	0.2 %			2.0 % at MPP				
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

**System losses**

<b>Unavailability of the system</b>		<b>Auxiliaries loss</b>	
Time fraction	0.8 %	Proportional to Power 5.0 W/kW	
	3.0 days, 3 periods	0.0 kW from Power thresh.	

**AC wiring losses**

<b>Inv. output line up to MV transfo</b>	
Inverter voltage	800 Vac tri
Loss Fraction	2.00 % at STC
<b>Inverter: SUN2000-330KTL-H3</b>	
Wire section (45 Inv.)	Alu 45 x 3 x 300 mm <sup>2</sup>
Average wires length	374 m

**AC losses in transformers**

<b>MV transfo</b>		<b>Operating losses at STC (full system)</b>	
Medium voltage	36 kV	Nb. identical MV transfos	4
<b>Transformer from Datasheets</b>		Nominal power at STC	14.66 MVA
Nominal power	4000 kVA	Iron loss	9.60 kVA
Iron Loss	2.40 kVA	Iron loss fraction	0.07 % at STC
Iron loss fraction	0.06 % of PNom	Copper loss	154.54 kVA
Copper loss	46.00 kVA	Copper loss fraction	1.05 % at STC
Copper loss fraction	1.15 % at PNom		
Coils equivalent resistance	3 x 1.84 mΩ		



**PVsyst V7.4.4**  
 VC0, Simulation date:  
 09/01/24 08:40  
 with v7.4.4

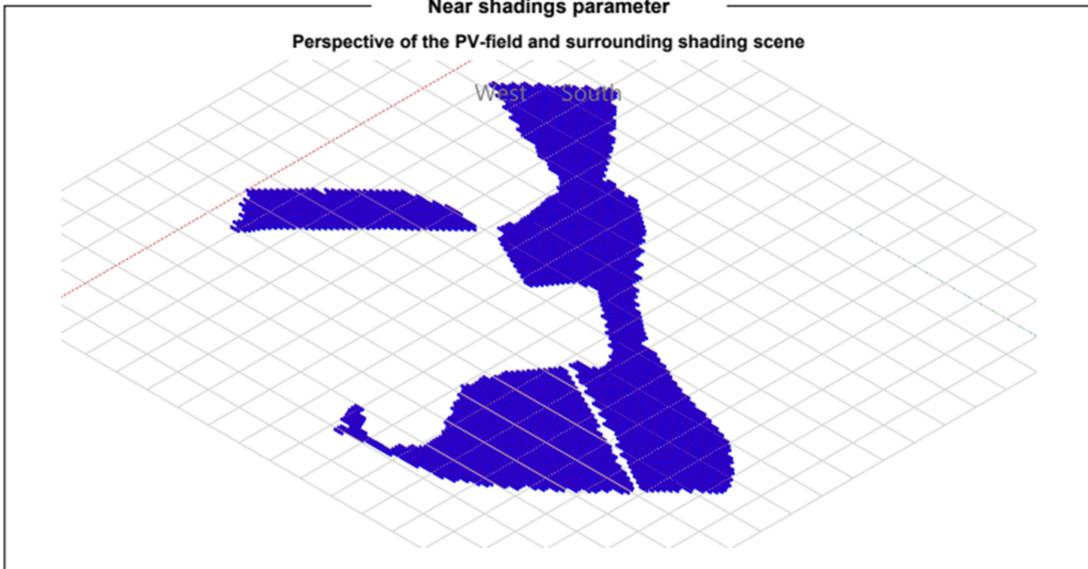
Project: Rapolla-Grimolizzi

Variant: Nuova variante di simulazione

SR international (Italy)

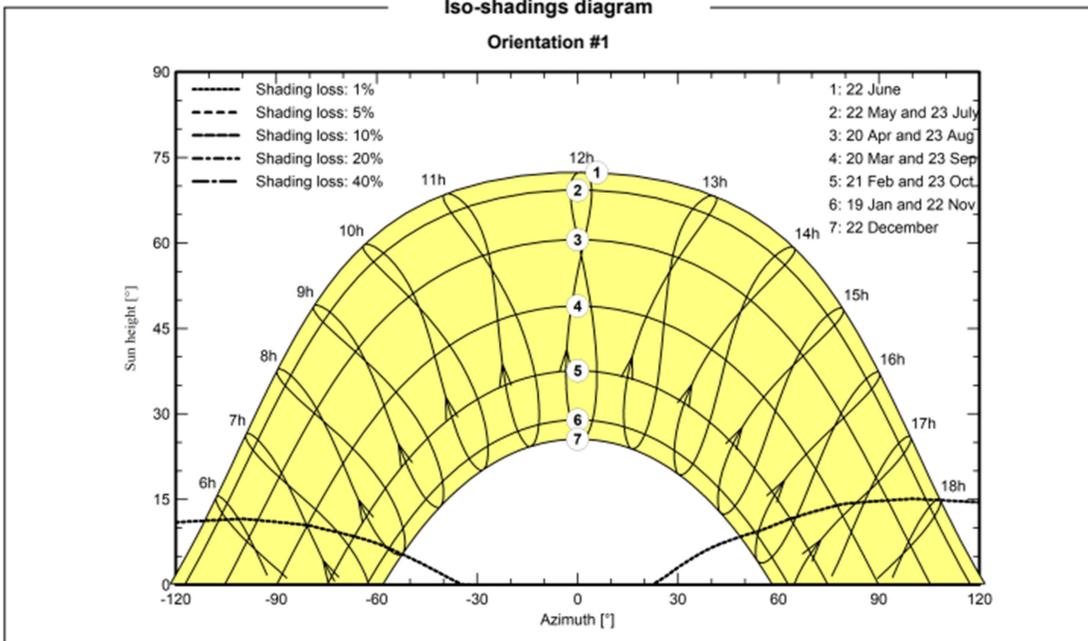
**Near shadings parameter**

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



**Iso-shadings diagram**

Orientation #1





**PVsyst V7.4.4**  
 VC0, Simulation date:  
 09/01/24 08:40  
 with v7.4.4

**Project: Rapolla-Grimolizzi**  
 Variant: Nuova variante di simulazione

SR international (Italy)

**Main results**

**System Production**

Produced Energy

26061943 kWh/year

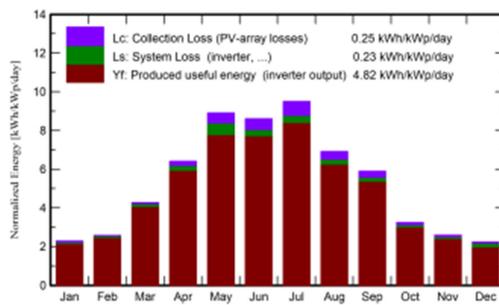
Specific production

1760 kWh/kWp/year

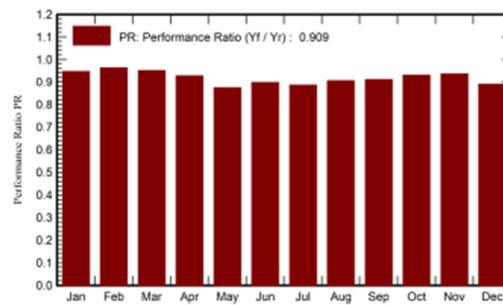
Perf. Ratio PR

90.88 %

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**



**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
<b>January</b>	55.4	27.52	4.39	70.9	67.3	1031255	994080	0.947
<b>February</b>	59.0	35.20	4.39	72.1	69.2	1067487	1028353	0.963
<b>March</b>	105.1	52.31	6.57	132.7	128.6	1942937	1869295	0.951
<b>April</b>	149.4	58.49	11.02	192.4	187.7	2755068	2644236	0.928
<b>May</b>	215.2	71.66	17.31	276.2	270.4	3855902	3579478	0.875
<b>June</b>	202.0	75.20	21.13	258.1	252.3	3577488	3433525	0.898
<b>July</b>	225.4	66.42	24.02	294.6	288.5	4031909	3867174	0.886
<b>August</b>	169.7	70.64	21.50	214.4	209.3	2993350	2876834	0.906
<b>September</b>	136.3	54.05	18.95	176.9	172.2	2484723	2389095	0.912
<b>October</b>	79.4	42.23	14.39	100.6	97.0	1440067	1387363	0.931
<b>November</b>	60.1	29.31	8.33	77.7	74.0	1117165	1076680	0.936
<b>December</b>	54.2	27.15	5.04	69.5	65.6	1008706	915830	0.890
<b>Year</b>	1511.3	610.19	13.14	1936.2	1882.1	27306059	26061943	0.909

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

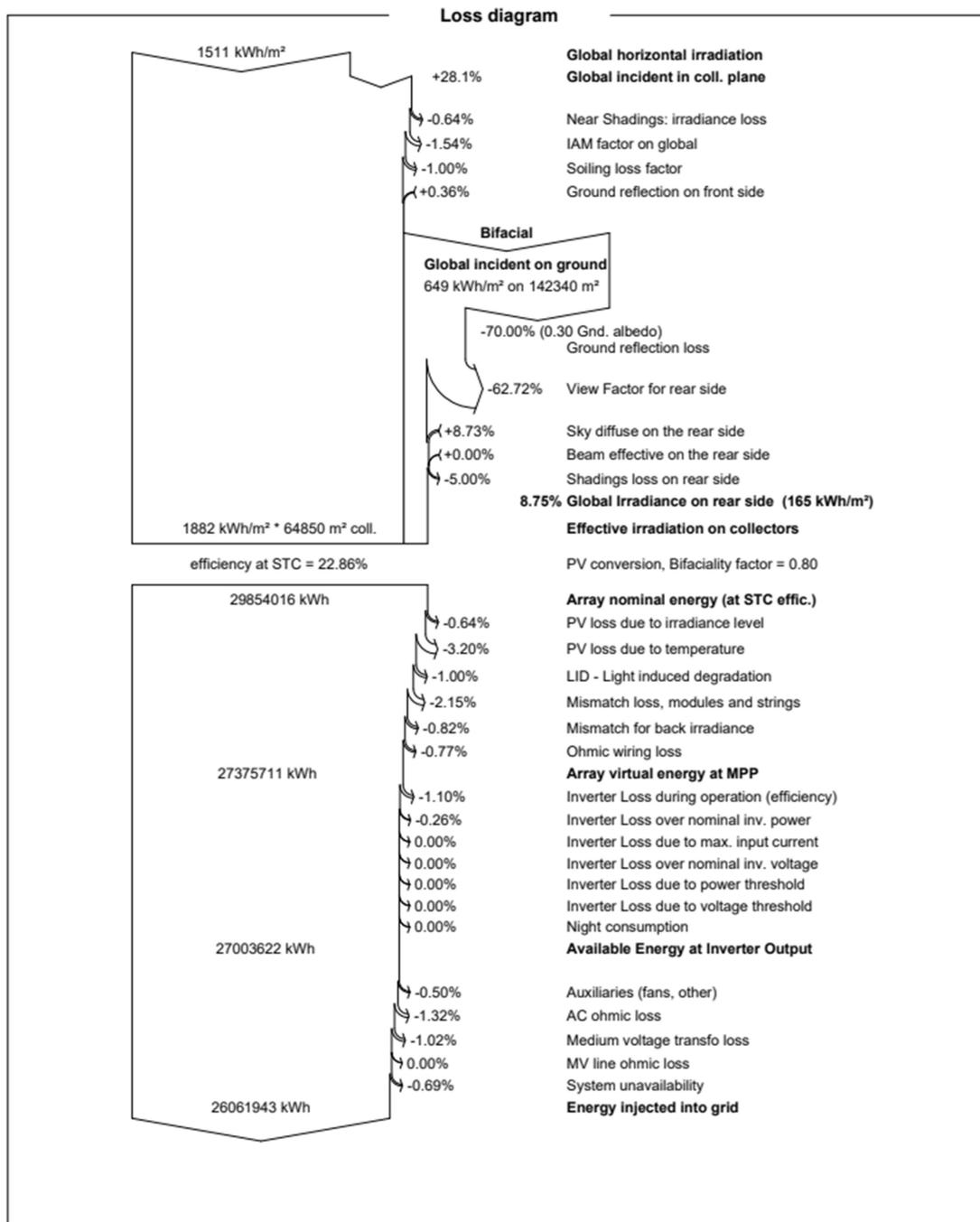


**PVsyst V7.4.4**  
 VC0, Simulation date:  
 09/01/24 08:40  
 with v7.4.4

Project: Rapolla-Grimolizzi

Variant: Nuova variante di simulazione

SR international (Italy)



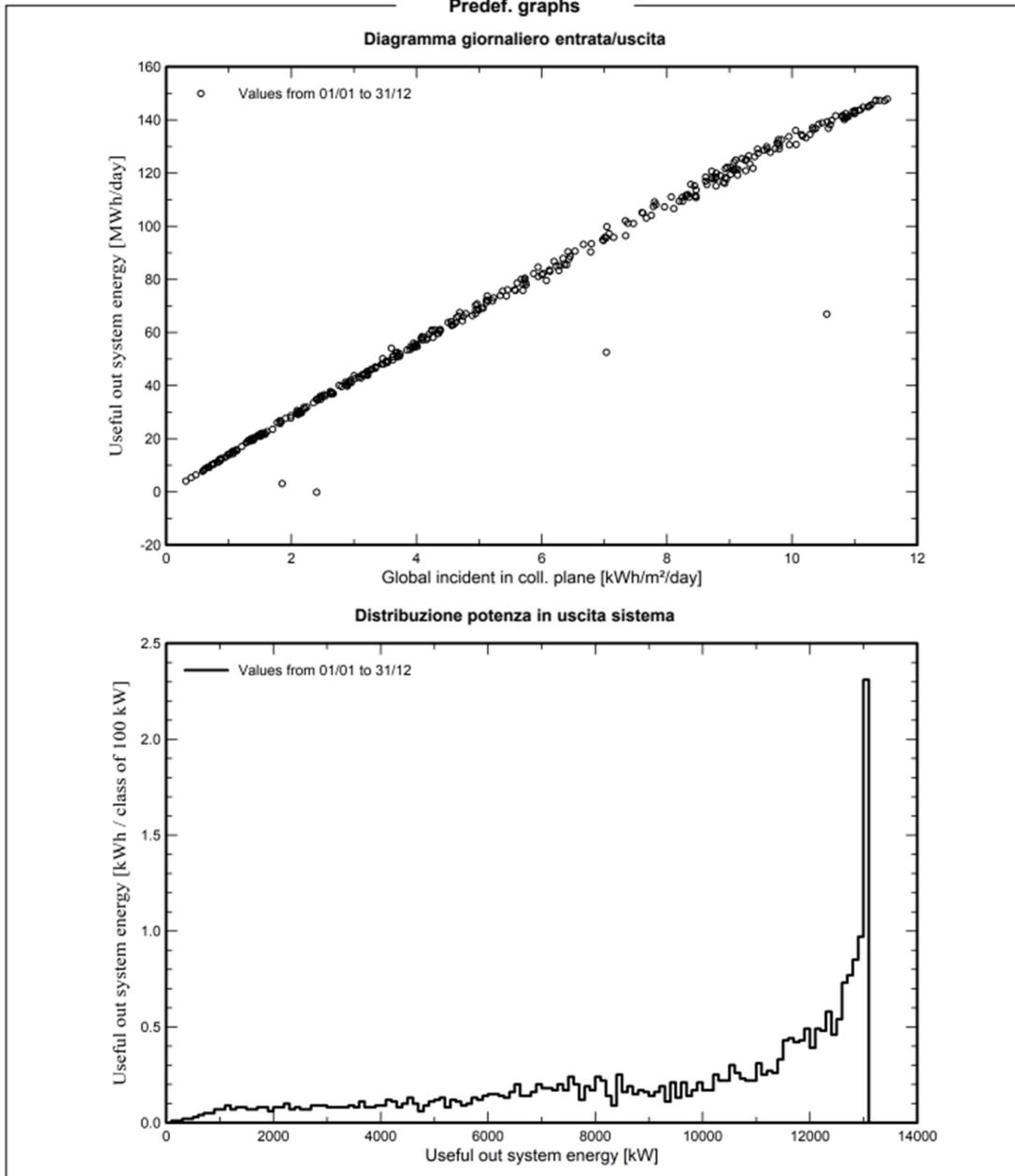


**PVsyst V7.4.4**  
 VC0, Simulation date:  
 09/01/24 08:40  
 with v7.4.4

**Project: Rapolla-Grimolizzi**  
 Variant: Nuova variante di simulazione

SR international (Italy)

**Predef. graphs**



La produzione di energia elettrica annua dell'impianto agrivoltaico, risultato della simulazione, risulta essere pari a circa 26,06 [GWh/a] mentre le ore di funzionamento equivalenti sono circa 1.760 [kWh/kWp/anno].

Per valutare il più possibile in modo realistico la produzione attesa, nel rispetto del funzionamento effettivo dell'impianto, è stato considerato un fermo per manutenzione, stimato in tre giorni all'anno.