



REGIONE LAZIO

Comune di Paliano



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO A TERRA DELLA POTENZA DI PICCO PARI A 37.807,2 kWp INTEGRATO CON UN SISTEMA DI ACCUMULO DELLA POTENZA DI 12.000 kW E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 48.000 kW UBICATO NEL COMUNE DI PALIANO (FR) E DELLE OPERE CONNESSE NEL COMUNE DI ANAGNI (FR)

TITOLO

Stima di produzione dell' impianto agrivoltaico

PROGETTAZIONE

PROPONENTE

 **STUDIO
RINNOVABILI**

SR International S.r.l.
C.so Vittorio Emanuele II, 282-284 - 00186 Roma
Tel. 06 8079555 - Fax 06 80693106
C.F e P.IVA 13457211004



ATON 27 S.r.l.

ATON 27 S.r.l.
VIA EZIO MACCANI 54 - 38121 Trento (TN)
C.F e P.IVA 02708670225
PEC: aton27.srl@pec.it

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	15/07/2023	Ing. Lauretti	Ing. Bartolazzi	Ing. Bartolazzi	Stima di produzione

Codice Elaborato

TCN-PLN-RP

Scala

-

Formato

A4

INDICE

INDICE DELLE FIGURE.....	2
INDICE DELLE TABELLE	2
1. LOCALIZZAZIONE DEL SITO	3
2. POTENZA DELL'IMPIANTO ED ENERGIA PRODUCIBILE	3
2.1 Criterio progettuale	3
2.2 Irraggiamento solare	4
2.3 Perdite nell'impianto FV	5
2.4 Software di simulazione PVSYST	6
2.5 Energia prodotta dall'impianto	7
3. RISPARMIO DI COMBUSTIBILE ED EMISSIONI EVITATE IN ATMOSFERA	13
3.1 Risparmio di combustibile	14
3.2 Emissioni evitate in atmosfera	14

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Radiazione incidente e dati meteo nell'area d'impianto..... 5

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Riepilogo dei dati di impianto.....14

Tabella 2 - Risparmio di combustibile in TEP.....14

Tabella 3 - Emissioni evitate in atmosfera15

1. LOCALIZZAZIONE DEL SITO

Il sito, ove si prevede di realizzare l'impianto agrivoltaico denominato "Paliano", è localizzato nella regione Lazio, in provincia di Frosinone, all'interno del territorio comunale di Paliano. 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 Sud rispetto al Comune di Paliano.

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 sul sito di installazione. Nel nostro caso il generatore agrivoltaico è esposto alla luce solare in modo ottimale, scegliendo prioritariamente l'orientamento dei tracker il cui asse di rotazione è parallelo alla direzione Nord-Sud. La distanza di pitch orizzontale tra gli inseguitori solari, pari a 9 m assieme al sistema back-tracking, consente di minimizzare i fenomeni di ombreggiamento e garantire la coltivazione del terreno tra le strutture dei moduli. 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 64.080 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 37,81 MWp.

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]	Potenza Inverter [kW]	Cabine quadri in AT	Cabina di raccolta	Potenza trafo BT/MT 0,8/30 kV
Area 1	Sottocampo 1	11	23 str x 6 inv 22 str x 5 inv	248	5952	24	3511,7	7023,36	3300	CT1	CDR	4000
	Sottocampo 2	11	23 str x 6 inv 22 str x 5 inv	248	5952	24	3511,7		3300			4000
Area 2	Sottocampo 3	14	23 str x 12 inv 22 str x 2 inv	320	7680	24	4531,2	4531,20	4200	CT2		5000
Area 3	Sottocampo 4	9	22 str x 5 inv 21 str x 4 inv	194	4656	24	2747,0	5805,60	2700	CT3		3150
	Sottocampo 5	10	22 str x 6 inv 21 str x 4 inv	216	5184	24	3058,6		3000			3150
Area 4	Sottocampo 6	12	23 str x 10 inv 22 str x 2 inv	274	6576	24	3879,8	3879,84	3600	CT4		4000
Area 5	Sottocampo 7	7	24 str x 5 inv 23 str x 2 inv	166	3984	24	2350,6	2350,56	2100	CT5		2500
Area 6	Sottocampo 8	9	22 str x 7 inv 21 str x 2 inv	196	4704	24	2775,4	5239,20	2700	CT6		3150
	Sottocampo 9	8	22 str x 6 inv 21 str x 2 inv	174	4176	24	2463,8		2400			3150
Area 7	Sottocampo 10	9	22 str x 6 inv 21 str x 3 inv	195	4680	24	2761,2	5210,88	2700	CT7		3150
	Sottocampo 11	8	22 str x 5 inv 21 str x 3 inv	173	4152	24	2449,7		2400			3150
Area 8	Sottocampo 12	12	23 str x 2 inv 22 str x 10 inv	266	6384	24	3766,6	3766,56	3600	CT8		4000
TOTALE		120		TOTALE	TOTALE		TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	
					2670	64080		37807,20	36000,00	8	1	

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 Paliano (FR) nei diversi mesi dell'anno.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Gennaio	56.9	24.50	5.60	74.0	70.9	2772	2679	0.958
Febbraio	73.0	34.40	6.50	91.3	87.7	3429	3310	0.959
Marzo	116.9	51.40	9.70	146.7	140.8	5405	5197	0.937
Aprile	144.1	69.50	13.10	177.6	170.1	6472	6214	0.925
Maggio	184.8	78.70	17.80	229.9	221.2	8191	7846	0.903
Giugno	201.5	79.00	21.90	254.2	243.7	8914	8540	0.888
Luglio	221.5	68.10	25.00	283.4	272.8	9799	9373	0.875
Agosto	190.4	64.10	25.00	244.7	234.9	8502	8151	0.881
Settembre	135.1	56.90	20.10	171.1	164.3	6069	5828	0.901
Ottobre	98.0	39.50	15.80	125.7	120.9	4551	4387	0.923
Novembre	60.2	27.80	10.80	78.0	74.5	2882	2785	0.944
Dicembre	49.0	23.00	6.70	63.1	60.1	2357	2283	0.957
Anno	1531.4	616.90	14.88	1939.7	1861.7	69342	66592	0.908

Legenda: GlobHor	Irraggiamento orizz. globale	GlobEff	Globale "effettivo", corr. per IAM e ombre
DiffHor	Irraggiamento diffuso orizz.	EArray	Energia effettiva in uscita campo
T_Amb	T amb.	E_Grid	Energia iniettata nella rete
GlobInc	Globale incidente piano coll.	PR	Indice di rendimento

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 **1.531,4 kWh/m² 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 (η) 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% (η_{cc}) della potenza nominale del generatore agrivoltaico, riferita alle specifiche condizioni di irraggiamento.
- Una potenza attiva lato AC superiore al 90% (η_{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/m² 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. TM ») 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.

- a pagina 8 e 9 sono riportati i dati tecnici dell'impianto e l'ubicazione del sito d'installazione;
- a pagina 10 sono riportati i risultati della produzione annua di energia elettrica e i valori ambientali del sito in esame;
- a pagina 11 sono riportati i grafici dell'energia elettrica immessa in rete;
- a pagina 12 è raffigurato il diagramma delle perdite annue dell'impianto FV.

PVSYST V6.86	SR international (Italy)	04/07/23	Pagina 1/5
Sistema connesso in rete: Parametri di simulazione			
Progetto : Paliano_TCN			
Luogo geografico	Paliano-(FR)	Paese	Italia
Ubicazione	Latitudine 41.75° N	Longitudine	13.06° E
Ora definita come	Ora legale Fuso orario TU	Altitudine	220 m
	Albedo 0.20		
Dati meteo:	Paliano-(FR)	Meteonorm/PVGIS-Sarah2 - Sintetico	
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione			
	Data di simulazione	04/07/23 10h15	
Parametri di simulazione	Tipo di sistema	Eliostati illimitati con indetreggiamento	
Asi inseguimento orizzontali	Modelli semplificati, illimitati	30 Riche inseguitori	Azimut asse 0°
Limitazioni di rotazione	Phi min. -55°		Phi max. 55°
	Tracking algorithm	Irradiance optimization	
Strategia Backtracking	N. di eliostati	30	Eliostati illimitati
	Distanza eliostati	9.00 m	Larghezza collettori 4.65 m
Banda inattiva	Sinistra	0.02 m	Destra 0.02 m
Angolo limite indetreggiamento	Limiti phi	+/- 55°	Fattore di occupazione (GCR) 51.7 %
Modelli utilizzati	Trasposizione	Perez	Diffuso Perez, Meteonorm
Orizzonte	Orizzonte libero		
Ombre vicine	Senza ombre		
Sistema a moduli bifacciali	Modello	Unlimited trackers, 2D calculation	
	Distanza eliostati	9.00 m	ampiezza eliostati 4.69 m
	Tracking limit angle	55°	GCR 52.1 %
	Albedo dal suolo	30.0 %	Axis height above ground 2.10 m
Fattore di ripartizione delle faccie associato al modulo FV	Fattore di ombreggiamento posteriore	50 %	5.0 %
Trasparenza del modul FV	Perdite per Mismatch posteriori	0.0 %	10.0 %
Bisogni dell'utente :	Carico illimitato (rete)		
Caratteristiche campo FV			
Modulo FV	Si-mono	Modello	LR5-72HGD-590M
definizione customizzata dei parametri		Costruttore	Longi Solar
Numero di moduli FV		In serie	24 moduli In parallelo 2670 stringhe
Numero totale di moduli FV		N. di moduli	64080 Potenza nom. unit. 590 Wp
Potenza globale campo		Nominale (STC)	37807 kWp In cond. di funz. 35148 kWp (50°C)
Caratt. di funzionamento campo FV (50°C)		U mpp	961 V I mpp 36560 A
Superficie totale		Superficie modulo	165535 m²
Inverter		Modello	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126
definizione customizzata dei parametri		Costruttore	Huawei Technologies
Caratteristiche		Tensione di funzionamento	500-1500 V Potenza nom. unit. 300 kWac Potenza max. (=>33°C) 330 kWac
Gruppo di inverter		N. di inverter	120 unità Potenza totale 36000 kWac Rapporto Pnom 1.05
Fattori di perdita campo FV			
Perdite per sporco campo			Fraz. perdite 1.0 %
Fatt. di perdita termica	Uc (cost)	29.0 W/m²K	Uv (vento) 0.0 W/m²K / m/s

PVSYST V6.86	SR international (Italy)	04/07/23	Pagina 2/5						
Sistema connesso in rete: Parametri di simulazione									
Perdita ohmica di cablaggio	Res. globale campo 0.43 mOhm	Fraz. perdite	1.5 % a STC						
LID - Light Induced Degradation		Fraz. perdite	1.0 %						
Perdita di qualità moduli		Fraz. perdite	0.0 %						
Perdite per "mismatch" moduli		Fraz. perdite	1.0 % a MPP						
Perdita disadattamento Stringhe		Fraz. perdite	0.10 %						
Effetto d'incidenza, profilo definito utente (IAM): Profilo definito utente									
	0°	40°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	1.000	1.000	1.000	0.980	0.950	0.890	0.830	0.680	0.000
Fattori di perdita sistema									
perdita AC dei cavi dall'inverter al trafo	Tensione inverter	800 Vac tri							
	Conduttori: 3x20000.0 mm ²	618 m	Fraz. perdite 3.4 % a STC						
Trasformatore esterno	Perdita ferro (scoll. di notte)	37457 W	Fraz. perdite 0.1 % a STC						
	Perdite resistive/induttive	0.120 mOhm	Fraz. perdite 0.7 % a STC						
Perdite ausiliarie									
	Proporzionali alla potenza	5.0 W/kW... dalla soglia di potenza	0.0 kW						
	Night auxiliaries consumption	3.00 kW							

PVSYST V6.86	SR international (Italy)	04/07/23	Pagina 3/5					
Sistema connesso in rete: Risultati principali								
Progetto : Paliano_TCN								
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione								
Parametri principali del sistema		Eliostati illimitati con indetreggiamento						
Orientamento campo FV	Tipo di sistema	inclinazione						
Moduli FV	Modello	LR5-72HGD-590M	Pnom 590 Wp					
Campo FV	Numero di moduli	64080	Pnom totale 37807 kWp					
Inverter	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126	Pnom	300 kW ac					
Gruppo di inverter	Numero di unità	120.0	Pnom totale 36000 kW ac					
Bisogni dell'utente	Carico illimitato (rete)							
Risultati principali di simulazione								
Produzione sistema	Energia prodotta	65973 MWh/anno	Prod. spec. 1745 kWh/kWp/anno					
	Indice di rendimento PR	89.96 %						
<p>Produzione normalizzata (per kWp installato): Potenza nominale 37807 kWp</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="305 831 792 1157"> <p> Legenda: Lc : Perdita di raccolta (perdite impianto FV) 0.32 kWh/kWp/g. Ls : Perdite sistema (inverter, ...) 0.21 kWh/kWp/g. Yf : Energia utile prodotta (uscita inverter) 4.78 kWh/kWp/g. </p> </div> <div data-bbox="846 800 1333 1157"> <p>Indice di rendimento PR Indice di rendimento (Yf / Yr) : 0.900</p> </div> </div>								
Nuova variante di simulazione								
Bilanci e risultati principali								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Gennaio	56.9	24.50	5.60	74.0	70.9	2758	2654	0.949
Febbraio	73.0	34.40	6.50	91.3	87.7	3408	3278	0.949
Marzo	116.9	51.40	9.70	146.7	140.8	5371	5148	0.928
Aprile	144.1	69.50	13.10	177.6	170.1	6430	6154	0.916
Maggio	184.8	78.70	17.80	229.9	221.2	8143	7777	0.895
Giugno	201.5	79.00	21.90	254.2	243.7	8861	8465	0.881
Luglio	221.5	68.10	25.00	283.4	272.8	9736	9287	0.867
Agosto	190.4	64.10	25.00	244.7	234.9	8445	8072	0.873
Settembre	135.1	56.90	20.10	171.1	164.3	6030	5772	0.892
Ottobre	98.0	39.50	15.80	125.7	120.9	4526	4348	0.915
Novembre	60.2	27.80	10.80	78.0	74.5	2864	2758	0.935
Dicembre	49.0	23.00	6.70	63.1	60.1	2343	2261	0.948
Anno	1531.4	616.90	14.88	1939.7	1861.7	68914	65973	0.900
Legenda: GlobHor Irraggiamento orizz. globale DiffHor Irraggiamento diffuso orizz. T_Amb T amb. GlobInc Globale incidente piano coll.		GlobEff Globale "effettivo", corr. per IAM e ombre EArray Energia effettiva in uscita campo E_Grid Energia iniettata nella rete PR Indice di rendimento						

PVSYST V6.86

SR international (Italy)

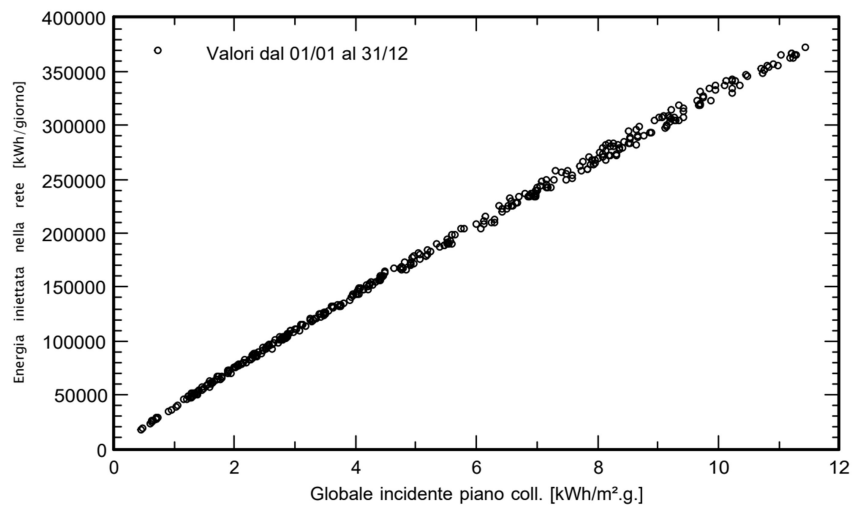
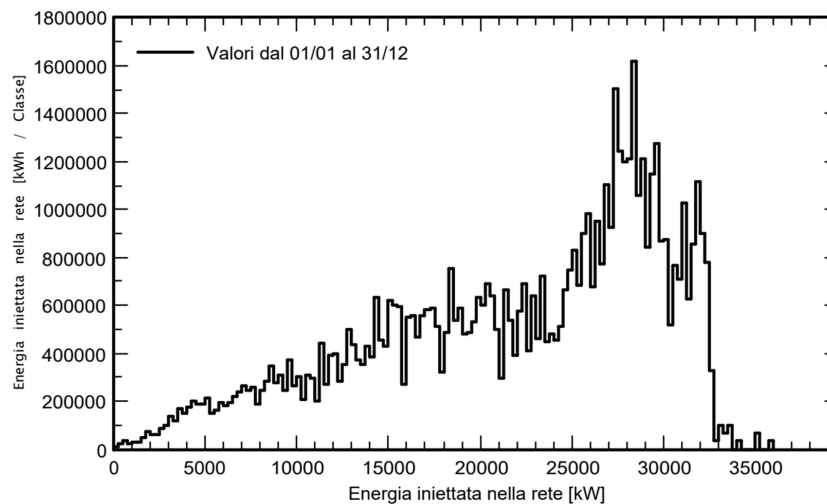
04/07/23

Pagina 4/5

Sistema connesso in rete: Grafici speciali
Progetto : Paliano_TCN

Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione

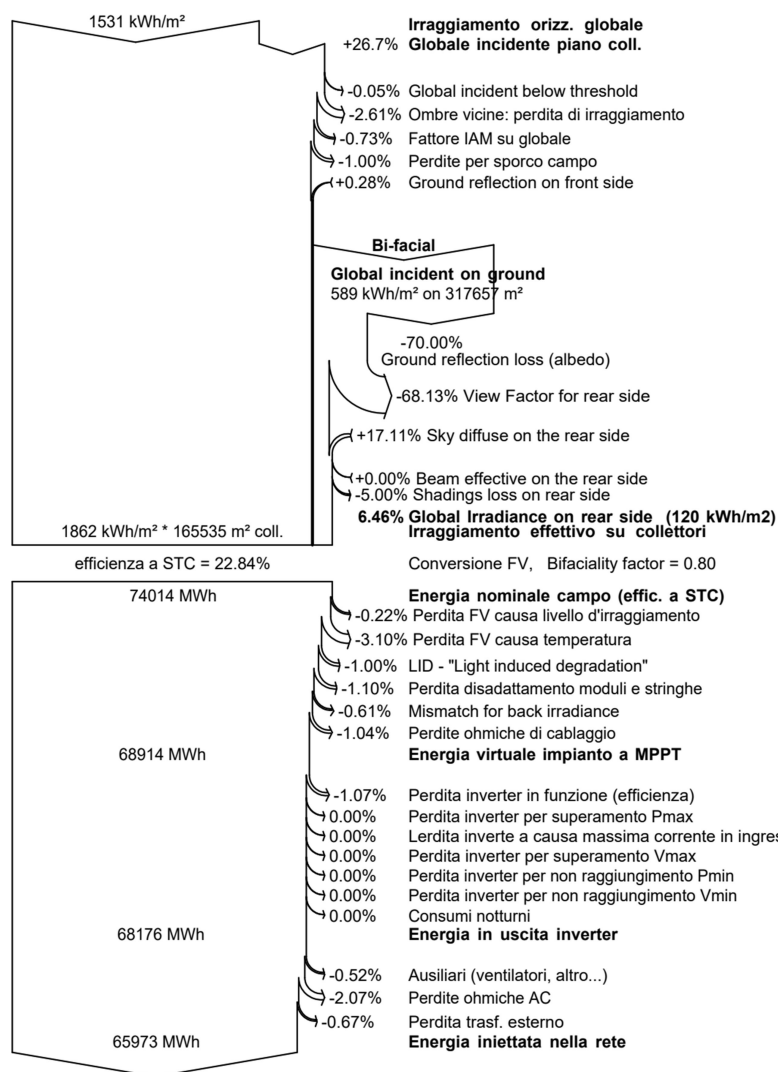
Parametri principali del sistema	Tipo di sistema	Eliostati illimitati con indetreggiamento	
Orientamento campo FV	inclinazione		
Moduli FV	Modello	LR5-72HGD-590M	Pnom 590 Wp
Campo FV	Numero di moduli	64080	Pnom totale 37807 kWp
Inverter	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126		Pnom 300 kW ac
Gruppo di inverter	Numero di unità	120.0	Pnom totale 36000 kW ac
Bisogni dell'utente	Carico illimitato (rete)		

Diagramma giornaliero entrata/uscita

Distribuzione potenza in uscita sistema


PVSYST V6.86	SR international (Italy)	04/07/23	Pagina 5/5
--------------	--------------------------	----------	------------

Sistema connesso in rete: Diagramma perdite
Progetto : Paliano_TCN
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione

Parametri principali del sistema	Tipo di sistema	Eliostati illimitati con indetreggiamento	
Orientamento campo FV	inclinazione		
Moduli FV	Modello	LR5-72HGD-590M	Pnom 590 Wp
Campo FV	Numero di moduli	64080	Pnom totale 37807 kWp
Inverter	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126		Pnom 300 kW ac
Gruppo di inverter	Numero di unità	120.0	Pnom totale 36000 kW ac
Bisogni dell'utente	Carico illimitato (rete)		

Diagramma perdite sull'anno intero


La produzione di energia elettrica annua dell'impianto agrivoltaico, risultato della simulazione, risulta essere pari a circa 65,973 [GWh/a] mentre le ore di funzionamento equivalenti sono circa 1.745 [kWh/kWp/anno].

Per valutare il più possibile in modo realistico la produzione attesa, nel rispetto del funzionamento effettivo dell'impianto, è necessario considerare:

- un fermo per manutenzione, stimato in tre giorni all'anno: pertanto l'energia fornita dal sistema risulterà essere pari a circa 65,43 MWh/a, come riportato di seguito:

$$E_{sist} = E_{prod} - (3 \times E_{prod}/365) = 65,431 \text{ [GWh/a]}$$

- l'energia prelevata per alimentare i motori elettrici degli inseguitori solari monoassiali (≈ 600 kWh/MWp/anno), che è pari a circa 9,1 [MWh/a]

$$E_{sist_Fin} = 65.431,0 - 9,1 = 65.422 \text{ [MWh/a]}$$

Le ore di funzionamento equivalenti annue dell'impianto agrivoltaico in progetto sono dunque pari a circa 1.730 come di seguito indicato:

$$h_{equiv} = E_{sist}/P_{imp} = 65.422,0 \text{ [MWh/a]} / 37,807 \text{ [MW]} = 1.730 \text{ [kWh/kWp/anno]}.$$

3. RISPARMIO DI COMBUSTIBILE ED EMISSIONI EVITATE IN ATMOSFERA

Considerando l'intero ciclo di vita (LCA) dei materiali per realizzare i moduli e gli impianti fino allo smaltimento dei rifiuti in discarica al termine dell'operatività, il carico totale delle emissioni è di almeno un ordine di grandezza più basso della quantità di emissioni specifiche che accompagnano la produzione dei kWh convenzionali.

Le emissioni prodotte sono essenzialmente concentrate nella fase di realizzazione industriale (realizzazione dei materiali, lavorazione, assemblaggio) ed in quella di montaggio (montaggio dei pannelli, opere civili ed elettriche).

Durante le fasi di costruzione e di smantellamento si realizzeranno movimenti di terra per l'apertura di percorsi, depositi, spianamenti, ecc. Ciò implicherà un aumento della polvere sospesa che comunque rimarrà confinata nella zona circostante in cui è stata emessa, situata lontano dalla popolazione. Il traffico di macchinari e veicoli pesanti comporterà inoltre l'emissione in atmosfera di particelle inquinanti (CO₂, CO, NO_x e composti organici volatili) ma il numero di camion utilizzati sarà esiguo e, comunque, limitato nel tempo.

Durante la vita operativa dell'impianto non si avrà alcuna emissione di inquinanti, salvo quella che potrà derivare dall'occasionale transito di veicoli per le operazioni di manutenzione o da incidenti straordinari.

Si considera pertanto che ciascun kWh agrivoltaico sia accompagnato da una quantità di emissioni di inquinanti così piccola da poter essere trascurata, se confrontata con la situazione del kWh convenzionale e quindi delle emissioni di contaminanti in atmosfera evitate. È infatti noto che la produzione di energia elettrica mediante l'utilizzo di combustibili fossili comporta l'emissione di gas serra e di sostanze inquinanti in quantità

variabili in funzione del combustibile, della tecnologia di combustione e del controllo dei fumi. Tra queste sostanze la più rilevante è la CO₂, il cui progressivo aumento in atmosfera contribuisce all'estendersi dell'effetto serra. Altri gas dannosi sia per la salute umana che per il patrimonio storico e naturale sono la SO₂ (anidride solforosa) e gli NO_x (ossidi di azoto).

Nel caso specifico dell'impianto agrivoltaico in progetto, avente una potenza massima di 37.807,2 MWp e funzionante per circa 1.730 ore/anno (fermi impianti già considerati), possono essere calcolate le emissioni evitate in termini di gas inquinanti che verrebbero rilasciati in atmosfera in conseguenza del processo di produzione del medesimo quantitativo di energia utilizzando fonti convenzionali, quali i derivati del petrolio o gas naturali.

In Tabella un riepilogo sui dati dell'impianto per la determinazione dell'inquinamento evitato (la produzione cumulata al 25° anno è calcolata considerando le perdite di efficienza annuali dell'impianto dovute ai fattori di invecchiamento e sporcamento):

Dati di impianto	
Potenza nominale dell'impianto (kW)	37.807,200
Ore di funzionamento medie equivalenti	1.730,0
Produzione stimata del 1° anno (kWh)	65.406.455,4
Produzione cumulata al 25° anno (kWh)	1.635.161.386,0

Tabella 1 - Riepilogo dei dati di impianto

3.1 Risparmio di combustibile

Un utile indicatore per definire il risparmio di combustibile derivante dall'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili è il fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria, stabilito pari a 0,187 TEP/MWh_e (ai sensi della delibera EEN 3/08).

Questo coefficiente individua le T.E.P. (Tonnellate Equivalenti di Petrolio) necessarie per la realizzazione di 1 MWh di energia, ovvero le TEP risparmiate con l'adozione di tecnologie fotovoltaiche per la produzione di energia elettrica.

Risparmio di combustibile	
Fattore di conversione dell'energia elettrica in energia primaria [TEP/MWh]	0,187
TEP risparmiate in 1 anno	12.231,01
TEP risparmiate in 25 anni	305.775,18

Tabella 2 - Risparmio di combustibile in TEP

3.2 Emissioni evitate in atmosfera

L'impianto agrivoltaico, sostituendo col proprio contributo la produzione di energia elettrica da impianti termoelettrici che utilizzano combustibili di origine fossile, consente la riduzione delle emissioni in atmosfera delle sostanze che hanno effetto inquinante e di quelle che contribuiscono all'effetto serra.

I dati riguardanti i Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra e altri gas nel settore elettrico sono tratti dal relativo Rapporto R303/2019 dell'ISPRA per l'SNPA sulle Emissioni del Settore Elettrico.

Emissioni evitate in atmosfera	CO ₂	CO	SO _x	
Fattori di emissione della produzione elettrica nazionale [g/kWh]	491,00	0,0977	0,0636	
Emissioni evitate in 1 anno [kg]	32.114.569,62	6.390,21	4.159,85	
Emissioni evitate in 25 anni [kg]	802.864.240,53	159.755,27	103.996,26	
Emissioni evitate in atmosfera	NO _x	NH ₃	PM ₁₀	COVNM
Fattori di emissione della produzione elettrica nazionale [g/kWh]	0,2274	0,0005	0,0054	0,0838
Emissioni evitate in 1 anno [kg]	14.873,43	32,70	353,19	5.481,06
Emissioni evitate in 25 anni [kg]	371.835,70	817,58	8.829,87	137.026,52

Tabella 3 - Emissioni evitate in atmosfera