



REGIONE LAZIO



Comune di Roma (RM)

PROGETTO DEFINITIVO

per la realizzazione di un impianto agrivoltaico della potenza di picco di 18,21 MWp presso via Boccea

TITOLO

Stima di Produzione dell' Impianto FV

PROGETTAZIONE	CONSULENZA	PROPONENTE
 <p>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</p> 	<p>MASSIMO FORDINI SONNI ARCHITETTO</p> <p>Arch. Massimo Fordini Sonni Via Verdi 16c, Celleno (VT) - 01020 C.F. FRD MSM 65C21C446A, P.IVA 01505150563</p> <p>Collaboratori: Arch. Alessandra Rocchi Arch. Marco Musetti</p>  	<p>SWE IT 09 Srl</p> <p>SWE IT 09 Srl. Con sede legale a Milano (MI) Piazza Borromeo 14 - 20123 C.F. e P.IVA 12498800965</p>

Revisione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato	Descrizione
00	10/02/2023	F. Lauretti	A. Bartolazzi	SWE IT 09 Srl	Stima di produzione

N° DOCUMENTO	SCALA	FORMATO
SWE-BCC-RP	--	A4

INDICE

INDICE DELLE FIGURE.....	2
INDICE DELLE TABELLE	2
1. LOCALIZZAZIONE 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 agrivoltaico.....	5
2.4 Software di simulazione PVSYST	6
2.5 Energia prodotta dall'impianto	6
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..... 4

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 SITO

Il sito, ove si prevede di realizzare l'impianto fotovoltaico denominato "Boccea", è localizzato nella regione Lazio, in provincia di Roma (RM), all'interno del territorio comunale di Roma, in zona Boccea, come riportato nella figura seguente.

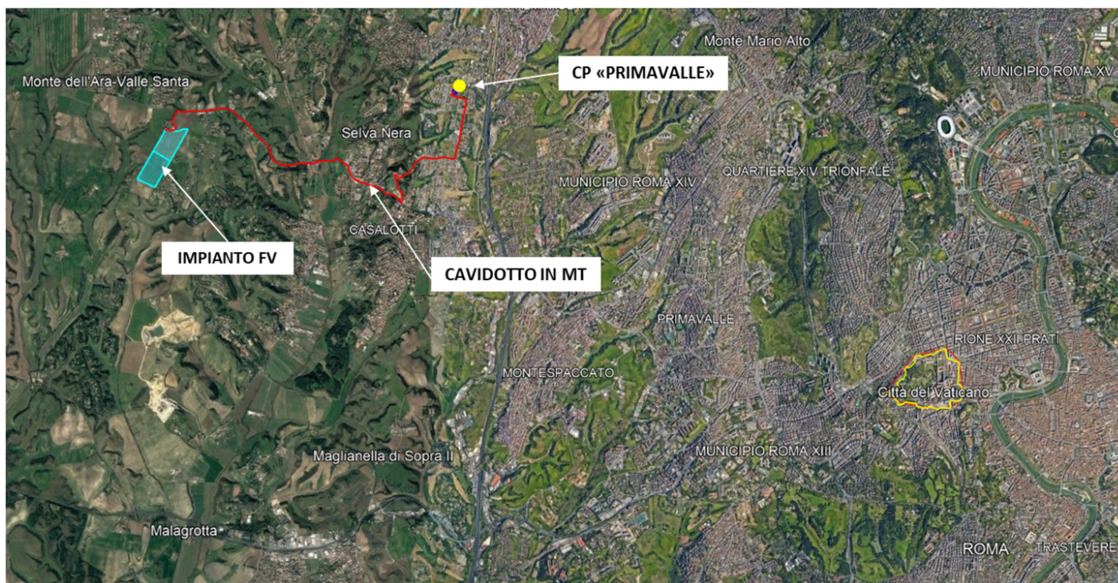


Figura 1 – Ubicazione dell' area d'impianto e collegamento alla CP

L' impianto inoltre, come si evince dalla fig.1, è adiacente alla Cabina Primaria "PRIMAVALLE" (in giallo), ubicata nello stesso comune, a cui le cabine di consegna saranno collegate in MT a 20 kV, tramite un cavidotto interrato (in rosso).

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, tenendo conto anche della superficie adibita a coltivazione. Il generatore fotovoltaico in progetto sarà esposto alla luce solare in modo ottimale, scegliendo un orientamento avente un azimuth di circa 28° rispetto alla direzione Nord-Sud, ed evitando fenomeni di ombreggiamento mediante il sistema baktracking degli inseguitori solari. Le 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. L' impianto agrivoltaico sarà costituito da un totale di 31.392 moduli fotovoltaici monocristallini bifacciali di potenza nominale pari a 580 Wp, installati su strutture metalliche ad inseguitori solari monoassiali, del tipo "2-in-portrait", aventi un azimuth di circa 28° . La potenza nominale in dc totale dell' impianto è pari a circa 18,21 MWp. Le caratteristiche tecniche e realizzative del lotto d'impianti è riportato nella tabella seguente:

LOTTO DI 2 IMPIANTI FOTOVOLTAICI		N. Inverter	N. Stringhe per Inverter	N. stringhe	N. moduli	N. moduli per stringa	Potenza Sottocampo [kWp]	Potenza Totale [MW]	Cabine di trasformazione	Cabine utenti	Cabine consegna
Impianto 1	sottocampo 1	7	23x2+22x5	156	3744	24	2171,52	10,301	CT1	CU1	CC1
	sottocampo 2	6	23x4+22x2	136	3264	24	1893,12				
	sottocampo 3	7	23x2+22x5	156	3744	24	2171,52				
	sottocampo 4	6	23x4+22x2	136	3264	24	1893,12				
	sottocampo 5	7	23x2+22x5	156	3744	24	2171,52				
Impianto 2	sottocampo 6	6	23x5+22x1	137	3288	24	1907,04	7,907	CT4	CU2	CC2
	sottocampo 7	6	23x5+22x1	137	3288	24	1907,04				
	sottocampo 8	6	23x5+22x1	137	3288	24	1907,04				
	sottocampo 9	7	23x3+22x4	157	3768	24	2185,44				
TOTALE		TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE
9		58	1308	31392	18207,36	18,20736	5	2	2		

Nel calcolo dell'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico mediante l'utilizzo del software PVSYST, si è considerato un unico impianto data la vicinanza delle tre aree tra di loro. 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 calcherà 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 Roma (RM) 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	56.5	24.70	7.90	75.0	71.0	1259	1226	0.897
Febbraio	75.7	33.10	8.50	97.8	92.7	1648	1606	0.902
Marzo	120.8	51.60	11.20	154.1	146.3	2577	2512	0.895
Aprile	153.7	67.00	14.30	189.8	180.2	3142	3063	0.886
Maggio	195.0	73.10	18.60	243.5	232.2	3978	3878	0.875
Giugno	211.1	75.80	22.70	261.7	249.9	4208	4101	0.861
Luglio	226.4	69.50	25.60	285.0	272.9	4524	4408	0.849
Agosto	194.3	65.90	25.50	247.1	235.8	3923	3824	0.850
Settembre	139.1	55.00	21.20	178.4	169.8	2878	2806	0.864
Ottobre	96.9	44.00	17.50	124.4	117.7	2026	1974	0.872
Novembre	60.6	28.40	12.90	79.3	74.9	1307	1271	0.880
Dicembre	48.9	24.00	9.00	64.7	61.0	1082	1053	0.895
Anno	1579.0	612.10	16.29	2000.8	1904.3	32552	31723	0.871

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

Figura 2 - Radiazione incidente e dati meteo nell'area d'impianto

Come si può evincere dall'osservazione della Figura 2, considerando dunque i dati mensili riportati, l'irraggiamento annuale nell'area di progetto risulta essere pari a circa 1.579,0 kWh/m² anno.

2.3 Perdite nell'impianto agrivoltaico

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 fotovoltaico;
- 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 fotovoltaico (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:

$$\eta = P_{nom} / S_{mod} = 100 \times (0,58 \text{ kW} / (2,278 \text{ m} \times 1,134 \text{ m})) = 22,45\%$$

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 fotovoltaico, 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 fotovoltaico, 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 fotovoltaico 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 fotovoltaici 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 fotovoltaico o agrivoltaico), PVSyst consente una definizione molto dettagliata dell'impianto fotovoltaico, 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 580 Wp, montati su strutture ad inseguimento solare, mediante il software PVSYST.

- a pagina 7, 8 e 9 sono riportati i dati tecnici dell'impianto e l'ubicazione del sito d'installazione;
- a pagina 9 sono riportati i risultati della produzione annua di energia elettrica e i valori ambientali del sito in esame;
- a pagina 10 sono riportati i grafici dell'energia elettrica immessa in rete;
- a pagina 11 è raffigurato il diagramma delle perdite annue dell'impianto FV.

PVSYST V6.86	SR international (Italy)	15/03/23	Pagina 1/6
Sistema connesso in rete: Parametri di simulazione			
Progetto : Boccea_2			
Luogo geografico	Boccea_1	Paese	Italia
Ubicazione	Latitudine 41.93° N	Longitudine	12.33° E
Ora definita come	Ora legale Fuso orario TU	Altitudine	90 m
	Albedo 0.20		
Dati meteo:	Boccea_1	Boccea_1-PVGIS_SARAH2 - Sintetico	
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione			
	Data di simulazione	15/03/23 12h56	
Parametri di simulazione	Tipo di sistema	inseguitori campo singolo , con indetreggiamento	
Piano a inseguimento, asse inclinato	Inclinazione asse	0°	Azimut asse 30°
Limitazioni di rotazione	Phi minimo	-55°	Phi massimo 55°
	Tracking algorithm	Irradiance optimization	
Strategia Backtracking	N. di eliostati	27	Campo (array) singolo
	Distanza eliostati	9.00 m	Larghezza collettori 4.60 m
Banda inattiva	Sinistra	0.02 m	Destra 0.02 m
Angolo limite indetreggiamento	Limiti phi	+/- 58.9°	Fattore di occupazione (GCR) 51.1 %
Modelli utilizzati	Trasposizione	Perez	Diffuso Perez, Meteororm
Orizzonte	Orizzonte libero		
Ombre vicine	Secondo le stringhe	effetto elettrico	100 %
Sistema a moduli bifacciali	Modello	Unlimited trackers, 2D calculation	
	Distanza eliostati	9.00 m	ampiezza eliostati 4.64 m
	Backtracking limit angle	58.9°	GCR 51.5 %
	Albedo dal suolo	30.0 %	Axis height above ground 3.00 m
Fattore di ripartizione delle facce associato al modulo FV	Fattore di ombreggiamento posteriore	70 %	5.0 %
Trasparenza del modul FV	Perdite per Mismatch posteriori	0.0 %	10.0 %
Bisogni dell'utente :	Carico illimitato (rete)		
Limitazione potenza di rete	Active Power	17.3 MW	Rapporto Phom 1.055
Caratteristiche campo FV			
Modulo FV	Si-mono	Modello	JKM580_BIFACCIALI_NEW
definizione customizzata dei parametri		Costruttore	Jinkosolar
Numero di moduli FV		In serie	24 moduli
Numero totale di moduli FV		N. di moduli	31392
Potenza globale campo		Nominale (STC)	18207 kWp
Caratt. di funzionamento campo FV (50°C)		U mpp	942 V
Superficie totale		Superficie modulo	81093 m²
		Superficie cella	85700 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	58 unità
		Potenza totale	17400 kWac
		Rapporto Phom	1.05
Fattori di perdita campo FV			

PVSYST V6.86	SR international (Italy)	15/03/23	Pagina 2/6						
Sistema connesso in rete: Parametri di simulazione									
Perdite per sporco campo		Fraz. perdite	1.5 %						
Fatt. di perdita termica	Uc (cost) 29.0 W/m²K	Uv (vento)	0.0 W/m²K / m/s						
Perdita ohmica di cablaggio	Res. globale campo 1.2 mOhm	Fraz. perdite	2.0 % 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°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
	1.000	1.000	1.000	0.999	0.989	0.964	0.922	0.729	0.000
Fattori di perdita sistema									
perdita AC dei cavi dall'inverter al trafo	Tensione inverter	800 Vac tri							
	Conduttori: 3x10000.0 mm²	383 m	Fraz. perdite	2.0 % a STC					
Trasformatore esterno	Perdita ferro (scoll. di notte)	18064 W	Fraz. perdite	0.1 % a STC					
	Perdite resistive/induttive	0.248 mOhm	Fraz. perdite	0.7 % a STC					
Perdite ausiliarie	Proporzionali alla potenza	3.0 W/kW... dalla soglia di potenza		0.0 kW					

PVSYST V6.86 SR international (Italy) 15/03/23 Pagina 3/6

Sistema connesso in rete: Definizione ombre vicine

Progetto : Boccea_2
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione

Parametri principali del sistema	Tipo di sistema	inseguitori campo singolo , con indetreggiamento	
Ombre vicine	Secondo le stringhe	effetto elettrico	100 %
Orientamento campo FV	0°	Azimet asse	30°
Moduli FV	Modello JKM580_BIFACCIALI_NEW	Pnom	580 Wp
Campo FV	Numero di moduli 31392	Pnom totale	18207 kWp
Inverter	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126	Pnom	300 kW ac
Gruppo di inverter	Numero di unità 58.0	Pnom totale	17400 kW ac
Bisogni dell'utente	Carico illimitato (rete)		

Prospettiva campo FV e area d'ombra circostante

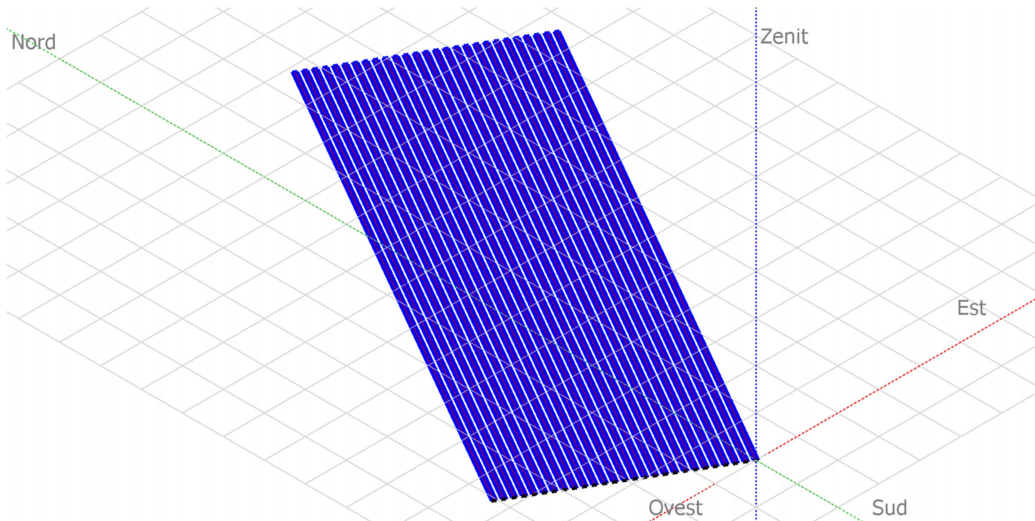
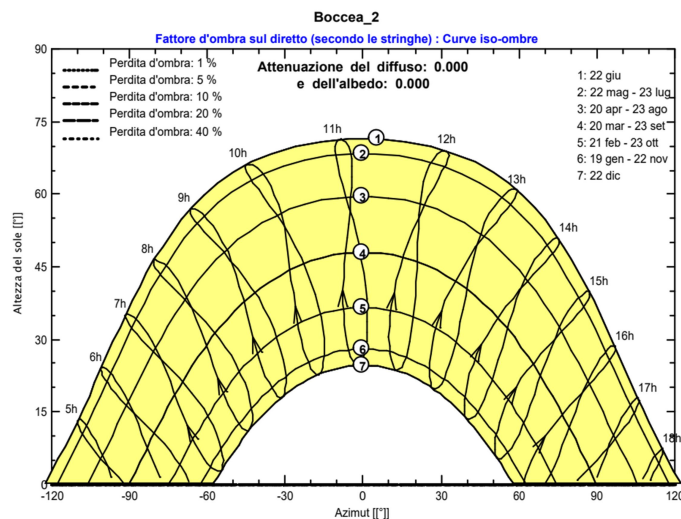
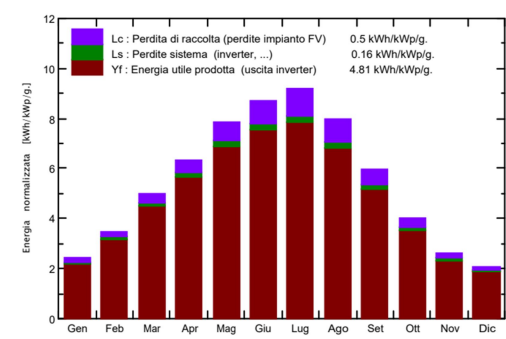
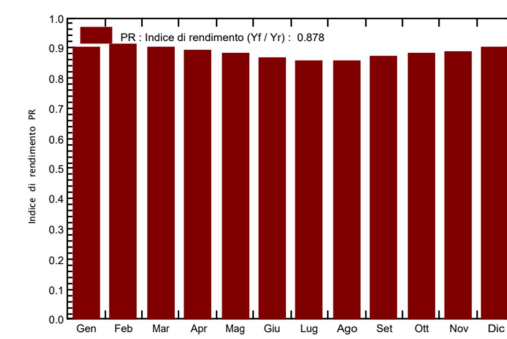


Diagramma iso-ombre



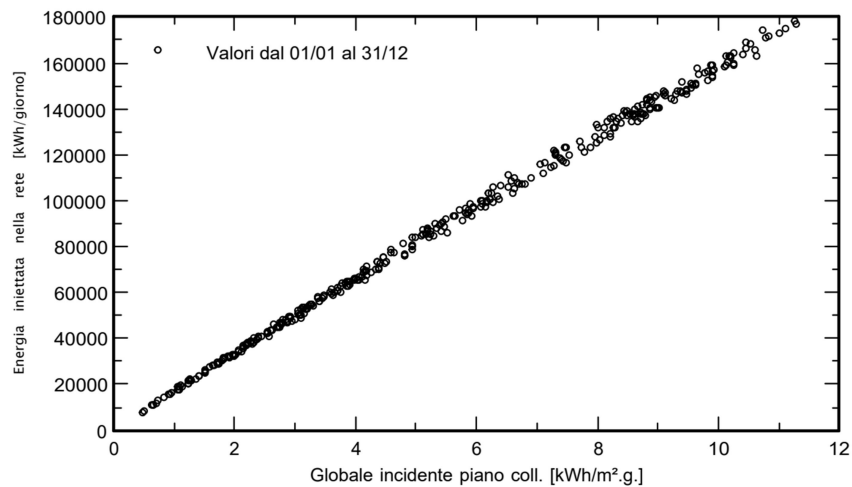
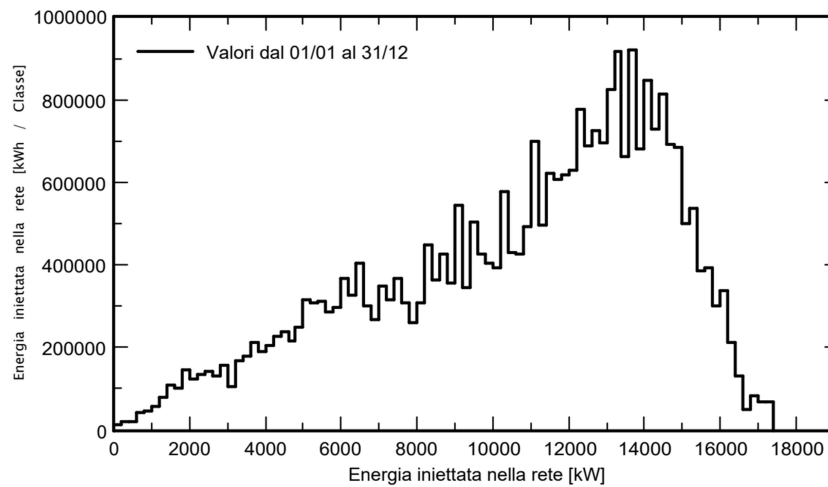
PVSYST V6.86	SR international (Italy)	15/03/23	Pagina 4/6					
Sistema connesso in rete: Risultati principali								
Progetto : Boccea_2								
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione								
Parametri principali del sistema								
Tipo di sistema		inseguitori campo singolo , con indetreggiamento						
Ombre vicine	Secondo le stringhe	effetto elettrico	100 %					
Orientamento	0°, asse inclinato, Inclinazione asse	Azimet asse	30°					
Moduli FV	Modello	JKM580_BIFACCIALI_NEW Pnom	580 Wp					
Campo FV	Numero di moduli	31392 Pnom totale	18207 kWp					
Inverter	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126	Pnom	300 kW ac					
Gruppo di inverter	Numero di unità	58.0 Pnom totale	17400 kW ac					
Bisogni dell'utente	Carico illimitato (rete)							
Risultati principali di simulazione								
Produzione sistema	Energia prodotta	31949 MWh/anno	Prod. spec. 1755 kWh/kWp/anno					
	Indice di rendimento PR	87.82 %						
Produzione normalizzata (per kWp installato): Potenza nominale 18207 kWp								
								
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	56.5	24.70	7.90	75.2	71.5	1278	1238	0.904
Febbraio	75.7	33.10	8.50	98.0	93.3	1678	1627	0.911
Marzo	120.8	51.60	11.20	154.2	146.9	2621	2538	0.904
Aprile	153.7	67.00	14.30	189.5	180.6	3188	3083	0.894
Maggio	195.0	73.10	18.60	242.6	232.3	4030	3897	0.882
Giugno	211.1	75.80	22.70	260.7	250.0	4262	4118	0.867
Luglio	226.4	69.50	25.60	283.9	273.0	4582	4425	0.856
Agosto	194.3	65.90	25.50	246.4	236.1	3975	3843	0.857
Settembre	139.1	55.00	21.20	178.2	170.3	2922	2829	0.872
Ottobre	96.9	44.00	17.50	124.5	118.3	2059	1996	0.881
Novembre	60.6	28.40	12.90	79.7	75.5	1330	1289	0.888
Dicembre	48.9	24.00	9.00	65.0	61.5	1100	1068	0.902
Anno	1579.0	612.10	16.29	1998.0	1909.3	33024	31949	0.878
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			

PVSYST V6.86 SR international (Italy) 15/03/23 Pagina 5/6

Sistema connesso in rete: Grafici speciali

Progetto : Boccea_2
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione

Parametri principali del sistema	Tipo di sistema	inseguitori campo singolo , con indetreggiamento	
Ombre vicine	Secondo le stringhe	effetto elettrico	100 %
Orientamento	0°, asse inclinato, Inclinazione asse	Azimut asse	30°
Moduli FV	Modello JKM580_BIFACCIALI_NEW	Pnom	580 Wp
Campo FV	Numero di moduli 31392	Pnom totale	18207 kWp
Inverter	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126	Pnom	300 kW ac
Gruppo di inverter	Numero di unità 58.0	Pnom totale	17400 kW ac
Bisogni dell'utente	Carico illimitato (rete)		

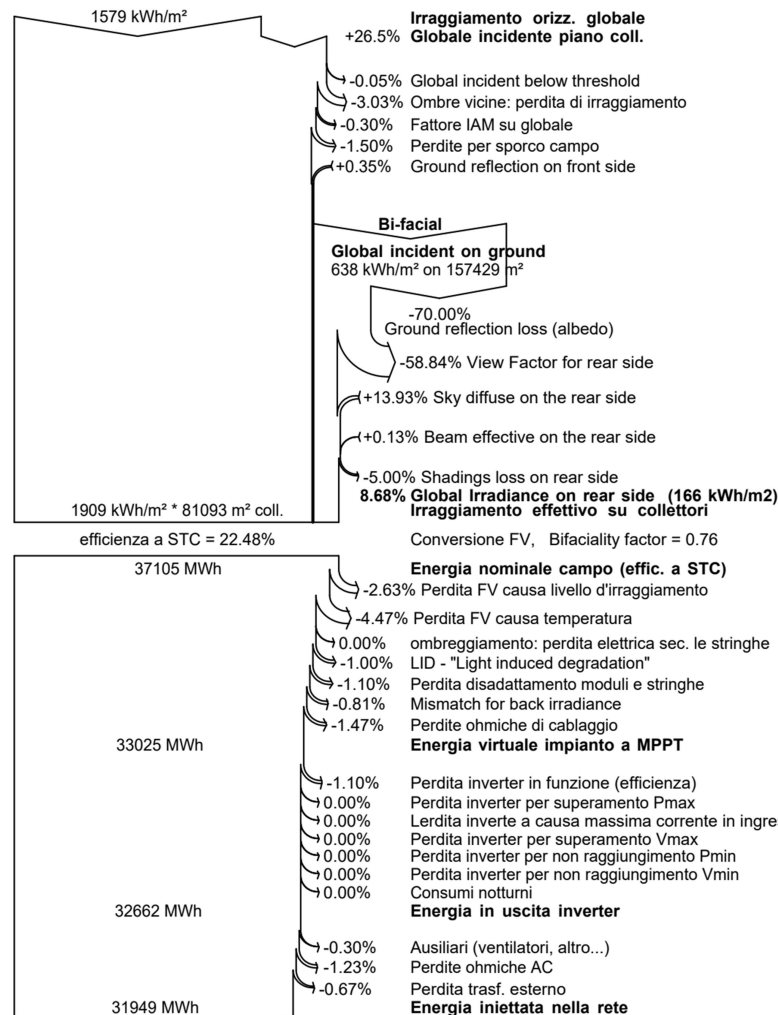
Diagramma giornaliero entrata/uscita

Distribuzione potenza in uscita sistema


PVSYST V6.86	SR international (Italy)	15/03/23	Pagina 6/6
--------------	--------------------------	----------	------------

Sistema connesso in rete: Diagramma perdite

Progetto : Boccea_2
Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione

Parametri principali del sistema	Tipo di sistema	inseguitori campo singolo , con indetreggiamento	
Ombre vicine	Secondo le stringhe	effetto elettrico	100 %
Orientamento	asse equatoriale, asse inclinato, Inclinazione asse	Azimut asse	30°
Moduli FV	Modello	JKM580_BIFACCIALI_NEW Pnom	580 Wp
Campo FV	Numero di moduli	31392 Pnom totale	18207 kWp
Inverter	SUN2000-330KTL-H3-Preliminary V0.4-20201126	Pnom	300 kW ac
Gruppo di inverter	Numero di unità	58.0 Pnom totale	17400 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 31,95 [GWh/a] mentre le ore di funzionamento equivalenti sono circa 1.755 [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 31.690 MWh/a, come riportato di seguito:

$$E_{sist} = E_{prod} - (3 \times E_{prod}/365) = 31,69 \text{ [GWh/a]}$$

- l'energia prelevata per alimentare i motori elettrici degli inseguitori solari monoassiali (≈ 600 kWh/MWp/anno), che è pari a circa 10,9 [MWh/a]

$$E_{sist_Fin} = 31.690,0 - 10,9 = 31.680,0 \text{ [MWh/a]}$$

Le ore di funzionamento equivalenti annue dell'impianto agrivoltaico in progetto sono dunque pari a circa 1.740 come di seguito indicato:

$$h_{equiv} = E_{sist}/P_{imp} = 31.680,0 \text{ [MWh/a]} / 18,207 \text{ [MW]} = 1.740 \text{ [kWh/kWp/anno]}.$$

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 fotovoltaico 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 18,207 MWp e funzionante per circa 1.740 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 30° 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)	18.207,000
Ore di funzionamento medie equivalenti	1.740,0
Produzione stimata del 1° anno (kWh)	31.680.179,4
Produzione cumulata al 30° anno (kWh)	950.405.383,2

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	5.924,19
TEP risparmiate in 30 anni	177.725,81

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]	15.554.968,11	3.095,15	2.014,86	
Emissioni evitate in 30 anni [kg]	466.649.043,15	92.854,61	60.445,78	
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]	7.204,07	15,84	171,07	2.654,80
Emissioni evitate in 30 anni [kg]	216.122,18	475,20	5.132,19	79.643,97

Tabella 3 - Emissioni evitate in atmosfera