

REGIONE SICILIA
Provincia di Trapani
COMUNI DI CASTELVETRANO E PARTANNA

PROGETTO

IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA"

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO DI POTENZA PARI A 18,9 MW_p E
RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN RICADENTI NEI COMUNI DI CASTELVETRANO E PARTANNA**



PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE

X-ELIO

X-ELIO FAVARA S.r.l
Corso Vittorio Emanuele II, 349
00186 Roma
P.I. 116234061006

PROGETTISTA:



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



OGGETTO DELL'ELABORATO:

CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO

CODICE ELABORATO	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODIFICA PROGETTISTA
PD-R.9	03-2022	/	1 di 29	A4	R.9 – XELI719PDRrti009R0

NOME FILE: R.9 – XELI719PDRrti009R0.doc

X-ELIO FAVARA S.r.l si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	2

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	03-2022	Prima emissione	EG	MG	DG

COMMITTENTE

X-ELIO+

PROGETTISTA

HE Hydro
Engineering

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	3

INDICE

1. PREMESSA	4
2. DATI GENERALI IMPIANTO	5
2.1. CONFIGURAZIONE IMPIANTO	8
3. CALCOLO DI PRODUCIBILITA'	10
3.1. SOFTWARE UTILIZZATO	10
3.2. RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUA SU BASE GIORNALIERA	10
3.3. PERDITE DEL SISTEMA.....	12
3.3.1. <i>Perdite per ombreggiamento</i>	12
3.3.2. <i>Perdite per basso irraggiamento</i>	12
3.3.3. <i>Perdite per temperatura</i>	14
3.3.4. <i>Perdite per qualità del modulo fotovoltaico</i>	14
3.3.5. <i>Perdite per mismatch del generatore fotovoltaico</i>	14
3.3.6. <i>Degrado delle prestazioni dei moduli fotovoltaici</i>	14
3.3.7. <i>Perdite ohmiche di cablaggio</i>	15
3.3.8. <i>Perdite sul sistema di conversione</i>	15
3.3.9. <i>Perdite sui circuiti in corrente alternata</i>	15
3.3.10. <i>Perdite sui trasformatori MT/BT</i>	16
3.3.11. <i>Perdite sezione AT</i>	16
3.3.12. <i>Disponibilità di esercizio</i>	16
3.3.13. <i>Consumi ausiliari</i>	16
3.4. PRODUCIBILITÀ DEL SISTEMA.....	17
4. ALLEGATO: REPORT PVSYST	18

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	4

1. PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata dalla Società X-ELIO Favara SRL, di redigere il progetto definitivo di un impianto agro-fotovoltaico della potenza di circa 18,9 MWp, ubicato nel Comune di Castelvetrano e delle relative opere di connessione alla Rete, presso la Sottostazione di utente e relativa RTN site nel Comune di Partanna, in Provincia di Trapani.

Il progetto definitivo consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra, su strutture ad inseguimento monoassiale (trackers), ubicato nel Comune di Castelvetrano; in uno con l'impianto sarà realizzato un sistema BESS da 7,5 MW.

Il sistema BESS è un impianto di accumulo di energia elettrica a batterie elettrochimiche, costituito da apparecchiature per la conversione bidirezionale dell'energia da media a bassa tensione ed il raddrizzamento della corrente da alternata a continua.

Nel complesso l'impianto BESS è caratterizzato da una potenza nominale pari a circa 7,5 MW e da una capacità energetica nominale pari a circa 30,0 MWh, realizzato con sottosistemi, macchine ed apparati di potenza modulare per installazioni outdoor, utilizzando container attrezzati per le varie necessità impiantistiche ed idonei a garantire una facile rimovibilità.

L'impianto sarà composto complessivamente da n.5 sottocampi della potenza variabile da 3,72 MW sino a 3,85 MW, collegati fra loro attraverso una rete di distribuzione interna in media tensione.

Presso l'impianto verranno realizzate le cabine di sottocampo e la cabina principale di impianto (MTR), dalla quale si dipartono le linee di collegamento di media tensione interrate verso il punto di consegna (passando in enra/esce per il sistema BESS di accumulo), presso la nuova sottostazione elettrica di trasformazione di utente, che verrà realizzata nei pressi dell'esistente stazione elettrica di Partanna.

Scopo della presente relazione è quello di illustrare il calcolo della producibilità dell'impianto, nella configurazione di impianto progettuale.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	5

2. DATI GENERALI IMPIANTO

L'impianto AFV "Favara", ubicato nel territorio del Comune di Castelvetro, presenta le seguenti componenti principali:

- una cabina principale di impianto, per la connessione e la distribuzione (MTR), nella quale verranno convogliate tutte le linee MT relative ai rami A e B che collegano le Power Station alla MTR;
- N. 5 Power Station (PS). Le Power Station o cabine di campo avranno la duplice funzione di convertire l'energia elettrica da corrente continua a corrente alternata ed elevare la tensione da bassa a media tensione; esse saranno collegate tra loro in entra-esce, su più rami dalla MTR (in antenna). Ciascun ramo trasporterà una potenza variabile da 11,32 a 7,58 MW e convergerà su un quadro MT a 30 kV verso la cabina di distribuzione MTR.
- i cavi provenienti dalle String Box collegati alle Power Station che a loro volta raccoglieranno i cavi provenienti dai raggruppamenti delle stringhe dei moduli fotovoltaici collegati in serie.
- i moduli fotovoltaici che saranno installati su apposite strutture metalliche di sostegno del tipo ad inseguimento monoassiale (trackers), fissate al terreno attraverso pali infissi e/o trivellati.

L'impianto è connesso alla rete attraverso le seguenti componenti:

- un collegamento elettrico dell'impianto agro-fotovoltaico alla rete di trasmissione di alta tensione presso la Stazione Elettrica esistente di Partanna. Tale connessione avverrà previa condivisione del punto di connessione con l'operatore elettrico RWE Renewables Italia S.r.l. ed attraverso la Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) 150/30 kV in progetto per il parco fotovoltaico "Castelvetro Besi" di X-ELIO Italia 1 S.r.l. (oggetto di altri progetti del Gruppo X-ELIO Italia ed attualmente in fase di autorizzazione);
- la Sottostazione elettrica di utente del promotore verrà collegata in derivazione alla barra generale AT della costruenda Sottostazione Elettrica dell'operatore RWE. Da questa stazione si diparte la linea in cavo AT interrato per il collegamento alla Stazione elettrica Terna, al livello di tensione AT 150 kV, sul sistema di sbarre esistente presso la stazione del Gestore;
- uno stallo TR02 X-ELIO FAVARA S.r.l in AT con trasformatore AT/MT 25/33 MVA e i relativi dispositivi di protezione e sezionamento all'interno della sottostazione di utente di trasformazione AT/MT 150/30 kV di X-ELIO Italia 1 S.r.l.
- una linea interrata MT di collegamento fra la SSE di utente e l'impianto agro-

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	6

fotovoltaico, giacente lungo viabilità esistente;

- un sistema di accumulo da 7.50 MW/30 MWh, per l'accumulo di parte dell'energia elettrica prodotta dal parco agro-fotovoltaico. Il sistema "Energy storage" è un impianto di accumulo di energia elettrica a batterie elettrochimiche costituito da apparecchiature per la conversione bidirezionale dell'energia da media a bassa tensione ed il raddrizzamento della corrente da alternata a continua.

Tale sistema verrà collegato in entra esce con la MTR di impianto.

L'impianto è completato da:

- tutte le infrastrutture tecniche necessarie alla conversione DC/AC della potenza generata dall'impianto e dalla sua consegna alla rete di trasmissione nazionale;
- opere accessorie, quali: impianti di illuminazione, videosorveglianza, antintrusione, monitoraggio, viabilità di servizio, cancelli e recinzioni.

L'impianto nel suo complesso è in grado di alimentare dalla rete tutti i carichi rilevanti (ad es: quadri di alimentazione, illuminazione). Inoltre, in mancanza di alimentazione dalla rete, tutti i carichi di emergenza potranno essere alimentati da un generatore temporaneo diesel di emergenza e da un sistema di accumulo ad esso connesso (sola predisposizione).

Da quanto progettato discendono i seguenti dati:

Elementi fisici impianto	Superficie impegnata	Superficie impegnata	Incidenza percentuale
	[m ²]	[ha]	
Proprietà	239.976,7	24,00	100,0%
Fascia di mitigazione a verde perimetrale	24.452,52	2,45	10,2%
Viabilità di servizio	25.188,0	2,52	10,5%
Area occupata da pannelli	87.304,3	8,73	36,30%
Cabine elettriche	330,75	0,03	0,14%
Area occupata dagli impluvi interni all'impianto	14699,0	1,47	6,13%
Corridoi tra pannelli	88.059,9	8,81	36,73%

Il grafico che segue indica l'incidenza percentuale di ciascuna delle superfici su riportate sul totale di 24,0 ha.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	7

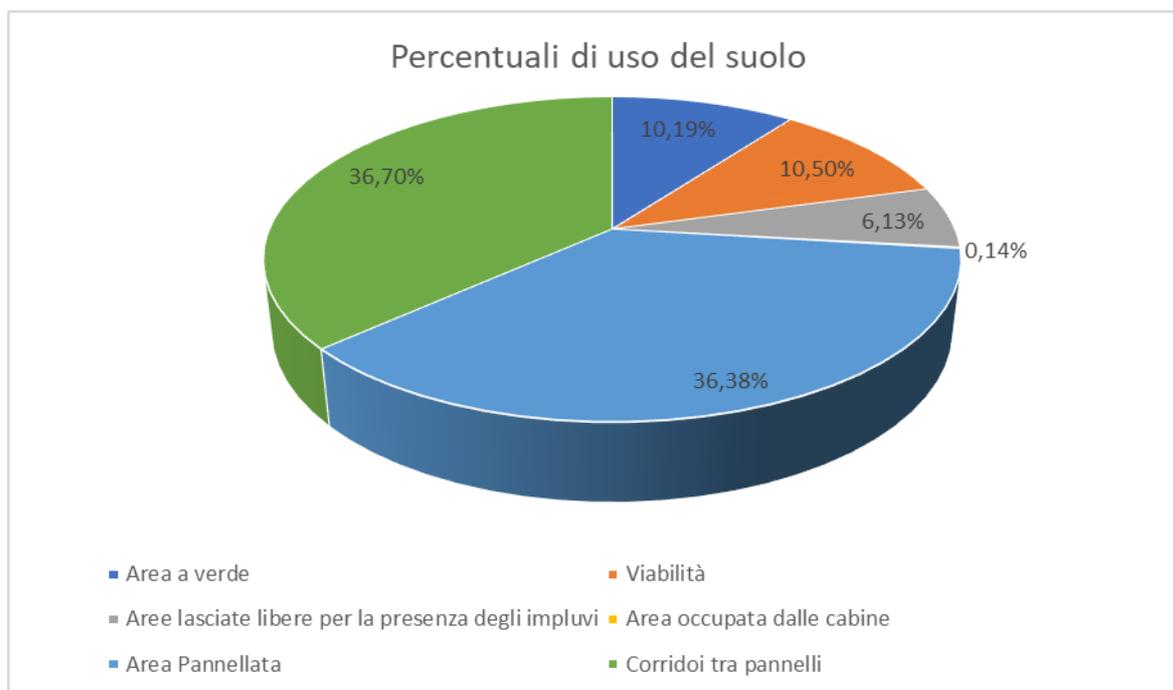


Figura 1 - Grafico che mostra l'incidenza percentuale della copertura di suolo sul totale disponibile

Come anticipato in premessa, ai fini della connessione alla rete di distribuzione dell'impianto agro-fotovoltaico in progetto, la società promotrice ha richiesto e ottenuto dal distributore apposito preventivo di connessione identificato con codice pratica 202001304, condizionato all'autorizzazione, contestualmente alle opere di cui al presente progetto, delle opere necessarie per la connessione alla rete. La connessione avverrà attraverso la Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) 150/30 kV in progetto per il parco fotovoltaico "Castelvetrano Besi" di X-ELIO Italia 1 S.r.l. (oggetto di altri progetti del Gruppo X-ELIO Italia ed è attualmente in fase di autorizzazione) previa condivisione del punto di connessione con l'operatore elettrico RWE Renewables Italia S.r.l.

Tali opere di rete, rientrando negli interventi di adeguamento e/o sviluppo della rete di distribuzione e/o della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), risultano essere **Opere di Pubblica Utilità**. Come indicato ai sensi dall'art. 1 octies della L. n.129/2010, esse costituiscono un unicum dal punto di vista funzionale con il progetto dell'impianto agro-fotovoltaico in esame, e pertanto dovranno essere autorizzate in uno con lo stesso impianto, ai sensi del D.Lgs. 387/03, art. 12 commi 3 e 4bis. L'impianto nel suo complesso è in grado di alimentare dalla rete tutti i carichi rilevanti (ad es: quadri di alimentazione, illuminazione).

Di seguito si riporta la descrizione sintetica dei principali componenti d'impianto; per dati di tecnici maggior dettaglio si rimanda a tutti i relativi elaborati specialistici.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	8

2.1. CONFIGURAZIONE IMPIANTO

L'impianto agro-fotovoltaico oggetto del presente progetto è destinato a produrre energia elettrica e sarà pertanto collegato alla rete elettrica di trasmissione nazionale RTN. L'impianto in progetto produce energia elettrica in BT su più linee in uscita dagli inverter centralizzati, le quali vengono convogliate verso appositi quadri nei locali di cabina (PS), dove avverrà la trasformazione BT/MT.

La linea in MT in uscita dai trasformatori BT/MT di ciascun sottocampo verrà, quindi, vettoriata verso la cabina generale di impianto (MTR), dove avverranno le misure e la partenza verso il punto di consegna nella rete di distribuzione in alta tensione, presso la Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) 150/30 kV in progetto per il parco fotovoltaico "Castelvetrano Besi" di X-ELIO Italia 1 S.r.l.. Come già rappresentato nelle premesse, il generatore fotovoltaico è costituito da un totale di n.5 sottocampi, di potenza variabile come di seguito rappresentato:

Area	Sottocampo	Potenza (MW)
Castelvetrano	PS1	3,72
	PS2	3,72
	PS3	3,74
	PS4	3,86
	PS5	3,86
Totale		18,89 kW

Tabella 1 - Suddivisione in sottocampi impianto FV Favara

I moduli verranno installati su apposite strutture in acciaio zincato, del tipo ad inseguimento monoassiale, fondate su pali infissi e/o trivellati nel terreno.

Il generatore fotovoltaico presenta una potenza nominale complessiva pari a **18.892,30 kW_p**, intesa come somma delle potenze di targa o nominali di ciascun modulo misurata in condizioni di prova standard (STC), ossia considerando un irraggiamento pari a 1000 W/m², con distribuzione dello spettro solare di riferimento (massa d'aria AM 1,5) e temperatura delle celle di 25°C, secondo norme EN 60904-3.

Il generatore è composto complessivamente da 27.580 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, collegati in serie da 28 moduli tra loro così da formare gruppi di moduli denominati stringhe, le cui correnti vengono raccolte da inverter modulari centralizzati, in numero di due per ciascuna Power Station.

L'impianto nel suo complesso sarà quindi suddiviso in 5 campi di potenza variabile; le stringhe di ogni campo verranno attestate a gruppi di 14/15 presso degli appositi String Box (in numero complessivo di 67), dove avviene il parallelo delle stringhe e il monitoraggio dei dati elettrici.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	9

Da tali string box si dipartono le linee di collegamento verso le Power station, giungendo così in ingresso agli inverter, i quali prevedono già a bordo macchina il sezionamento e la protezione dalle sovratensioni e dalle correnti di ricircolo.

La tabella che segue mostra la suddivisione dell'impianto di generazione in campi, con i dati relativi al numero di stringhe e alla potenza nominale in c.c.

CAMPO	Sezione tipo	N. stringbox per sezione inverter	n. stringhe per ciascun stringbox	Corrente stringbox	N. Stringhe per sezione inverter	N. Stringhe sottocampo	N. Moduli per sezione inverter	Potenza ingresso sezione inverter [kW]	Corrente ingresso per ciascun inverter [A]	Potenza sottocampo [kW]
PS1	A	12	15	257,85	180	194	5040	3452,4	1274,4151	3720,92
		1	14	240,66	14		392	268,52		
PS2	A	12	15	257,85	180	194	5040	3452,4	1274,4151	3720,92
		1	14	240,66	14		392	268,52		
PS3	B	13	15	257,85	195	195	5460	3740,1	1280,98425	3740,1
		0	14	240,66	0		0	0		
PS4	A	5	15	257,85	75	201	2100	1438,5	1320,39915	3855,18
		9	14	240,66	126		3528	2416,68		
PS5	C	5	15	257,85	75	201	2100	1438,5	1320,39915	3855,18
		9	14	240,66	126		3528	2416,68		
TOTALI		67			985	985	27580			18892,30

Tabella 2 - Dettaglio dimensionamento impianto

Coerentemente con la distribuzione dei sottocampi, sono state individuate differenti configurazioni per le sezioni degli inverter, delle quali si dà dettaglio negli elaborati grafici di progetto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	10

3. CALCOLO DI PRODUCIBILITA'

3.1. SOFTWARE UTILIZZATO

Il calcolo della producibilità è stato effettuato imputando il modello del sistema nel software di simulazione **PVSystem vers. 6.78** del quale si riporta il report di calcolo in allegato alla presente relazione.

3.2. RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUA SU BASE GIORNALIERA

Il sito di installazione appartiene ad un'area che dispone di dati climatici storici riportati in diversi database.

Il database internazionale MeteoNorm rende disponibili i dati meteorologici per la località di Castelvetro (TP): l'attendibilità dei dati contenuti nel database è internazionalmente riconosciuta, possono quindi essere usati per l'elaborazione statistica per la stima di radiazione solare per il sito. In particolare sono stati utilizzati i dati del database MeteoNorm 7.2, aggiornati rispetto a quelli utilizzati in progetto definitivo (02-2022).

Nelle immagini che seguono si riportano i dati meteorologici assunti per la presente simulazione.

Meteo e energia incidente

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	WindVel m/s	GlobInc kWh/m ²	DiffInc kWh/m ²	Alb_Inc kWh/m ²	Dif_GI ratio
Gennaio	71.1	31.65	11.68	3.9	91.6	22.60	0.929	0.000
Febbraio	82.5	38.95	11.39	4.2	104.3	26.75	1.113	0.000
Marzo	132.3	59.25	13.65	4.2	165.7	38.58	1.703	0.000
Aprile	172.0	68.06	15.69	4.1	215.6	40.89	2.271	0.000
Maggio	219.4	66.93	20.07	3.6	279.6	37.08	3.030	0.000
Giugno	233.9	69.11	23.44	3.4	299.4	32.81	3.378	0.000
Luglio	246.2	57.64	26.69	3.5	318.7	26.90	3.641	0.000
Agosto	212.4	63.76	26.81	3.5	274.2	30.72	3.111	0.000
Settembre	150.2	57.38	23.38	3.4	191.4	34.74	2.127	0.000
Ottobre	120.5	45.63	20.61	3.2	155.2	29.11	1.621	0.000
Novembre	81.8	29.12	16.49	4.1	106.3	21.23	1.199	0.000
Dicembre	66.1	30.20	13.19	4.1	84.6	21.92	0.936	0.000
Anno	1788.3	617.67	18.64	3.8	2286.5	363.35	25.059	0.000

Figura 2 - Dati meteorologici (fonte Meteonorm 7.2 agg. Aprile 2019)

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	11

Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione

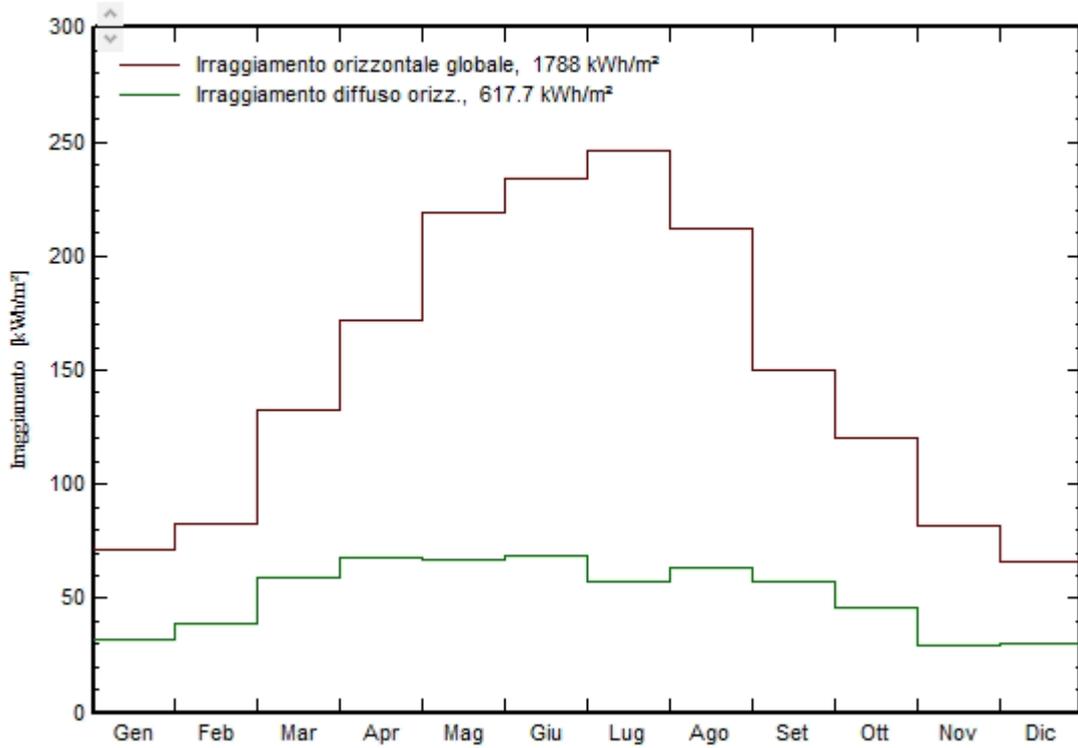


Figura 3 - Radiazione globale e diffusa incidente sul piano orizzontale

Distribuzione irraggiamento incidente

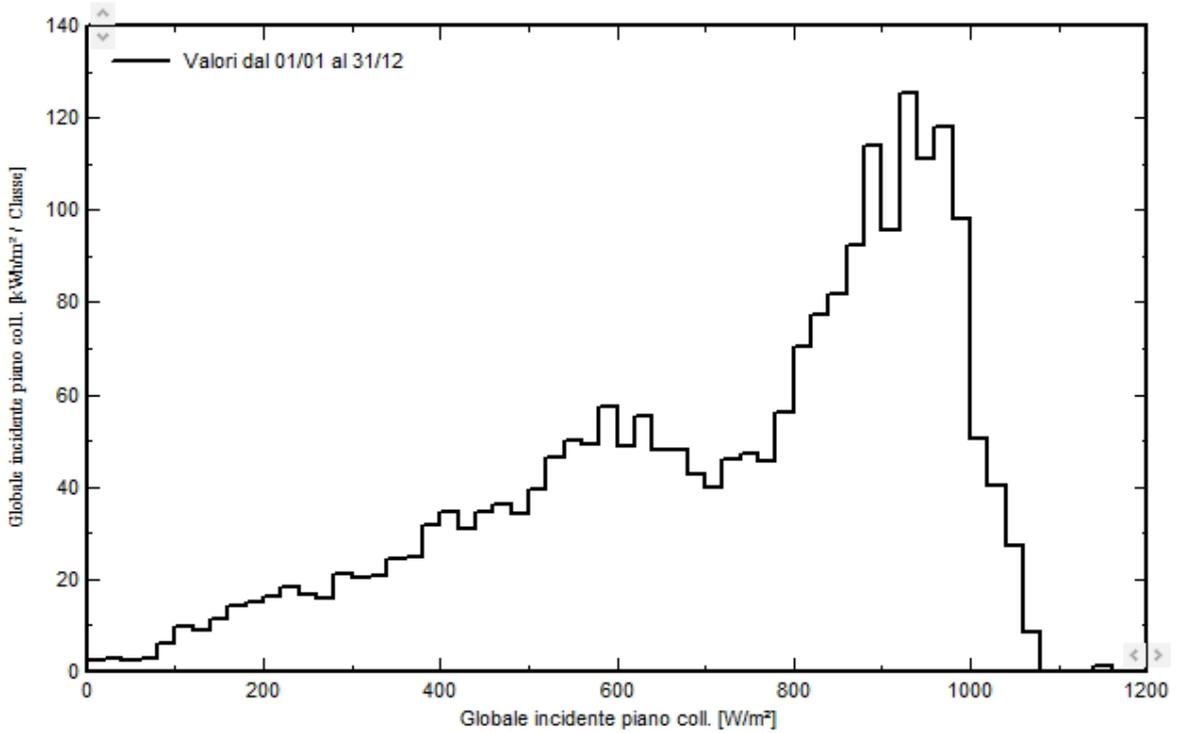


Figura 4 - Radiazione globale incidente sul piano dei collettori

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	12

Variante di simulazione : Nuova variante di simulazione

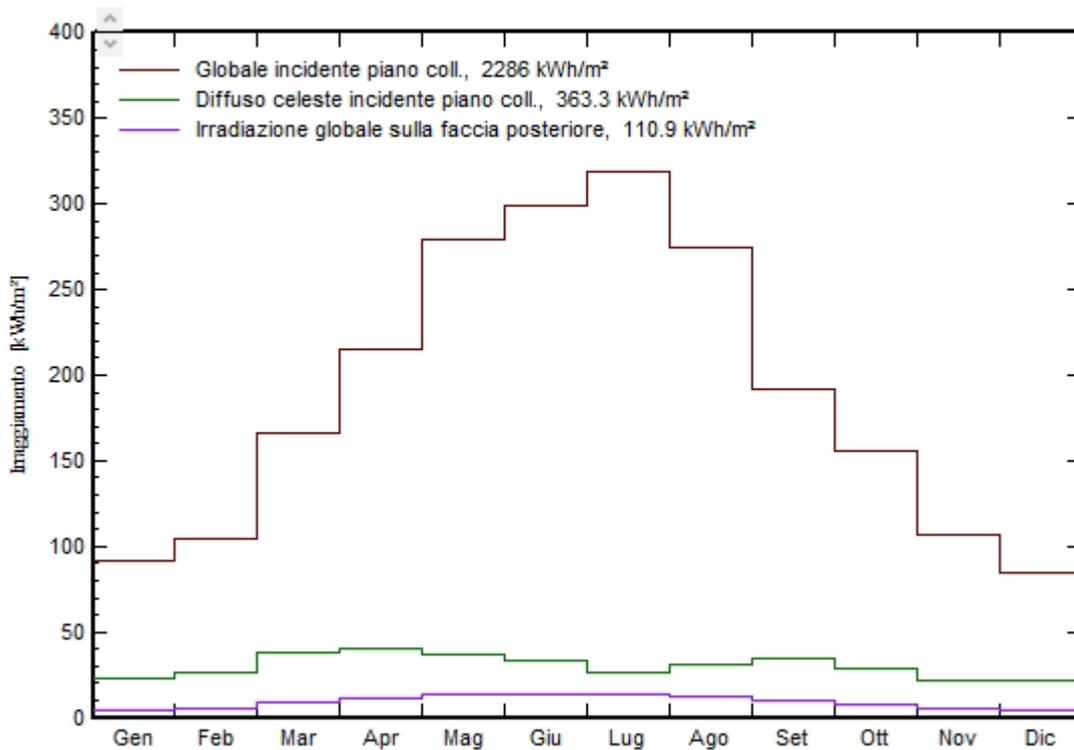


Figura 5 - Radiazione globale e diffusa incidente sul piano dei collettori

3.3. PERDITE DEL SISTEMA

Di seguito si da dettaglio delle perdite del sistema, illustrando i criteri di calcolo di ciascuna componente.

3.3.1. Perdite per ombreggiamento

Le **perdite per ombreggiamento reciproco** fra le schiere sono funzione della geometria di disposizione del generatore fotovoltaico sul terreno e degli ostacoli all'orizzonte che possono ridurre anche sensibilmente le ore di sole nell'arco delle giornate soprattutto invernali.

Grazie all'utilizzo di strutture di sostegno ad inseguimento monoassiale, dotate di sistema di **"backtracking"**, tenuto conto della distribuzione spaziale delle strutture, il valore individuato in sede di progettazione definitiva risulta pari a pari a -1,39%.

Le **perdite per ombreggiamento lontano** sono relative all'ombreggiamento derivante dal profilo dell'orizzonte nello specifico sito, e sono state calcolate pari a -0,8%.

3.3.2. Perdite per basso irraggiamento

L'efficienza nominale dei moduli fotovoltaici è misurata al livello di irraggiamento pari a 1000

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	13

W/m² ma risulta variabile con lo stesso. Per celle con tecnologia in fosforo/silicio cristallino la deviazione dell'efficienza segue l'espressione seguente:

$$\Delta\eta = -0,4 \cdot \ln(I/1000) \cdot \eta_n$$

dove:

- I = irraggiamento in W/m² ;
- η_n è l'efficienza all'irraggiamento nominale di 1000 W/m².

Sulla base dei dati climatici aggiornati del sito (database Meteonorm), e della curva del comportamento dei moduli scelti in funzione del livello di irraggiamento, che di seguito si riporta, è stato effettuato il calcolo di tale parametro.

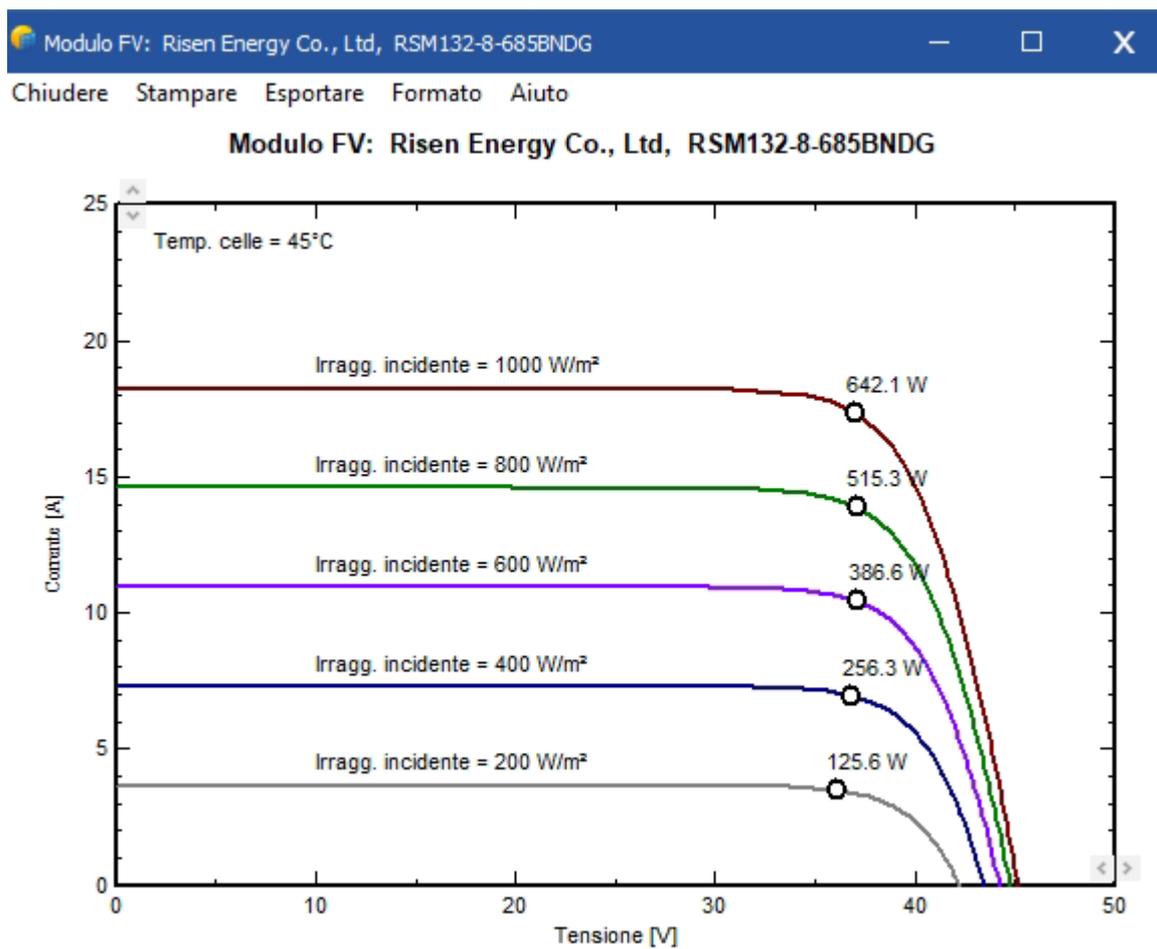


Figura 6 – Comportamento dei moduli in funzione del livello di irraggiamento

Sulla scorta di tali considerazioni, il valore delle perdite per basso irraggiamento attraverso le simulazioni nel software PVSyst risulta essere pari a +0.06%.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	14

3.3.3. Perdite per temperatura

Le perdite per temperatura sono legate alla diversa performance che hanno i moduli in relazione ai vari regime di temperatura di funzionamento. All'aumentare della temperatura, le celle fotovoltaiche diminuiscono le prestazioni elettriche di potenza. In sede di progetto definitivo è stata effettuata una valutazione di tale parametro, sulla base dei dati climatici aggiornati del sito (database Meteonorm), e della curva del comportamento dei moduli scelti in funzione della temperatura), ottenendo un valore di calcolo pari a -4,65%.

3.3.4. Perdite per qualità del modulo fotovoltaico

Tale valore tiene in considerazione della tolleranza sulla potenza nominale del modulo fotovoltaico. La corretta formulazione di tale parametro di perdita tiene conto di una media pesata delle tolleranze positive dei moduli fotovoltaici, secondo formule di pesatura assunte a standard in letteratura.

Secondo tale criterio di pesatura precedentemente richiamato, con la tolleranza positiva del modulo in progetto, il valore di tali perdite è stato calcolato pari a +0,75% (guadagno).

3.3.5. Perdite per mismatch del generatore fotovoltaico

Sono perdite relative alla naturale non uniformità di prestazioni elettriche fornite dai vari moduli che compongono ogni stringa fotovoltaica e quindi fra una stringa e l'altra.

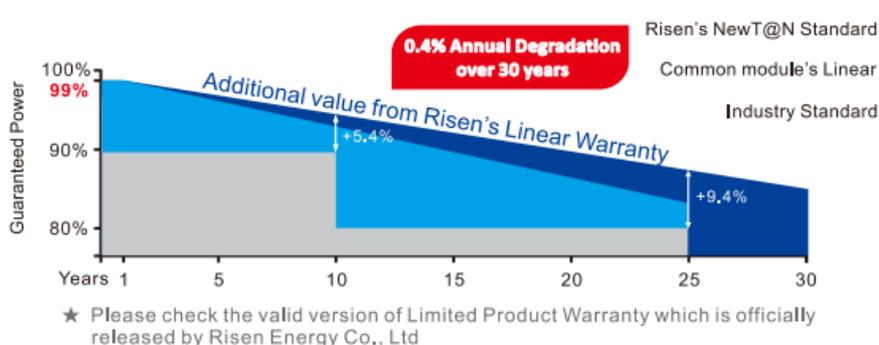
La disposizione delle strutture, la distribuzione spaziale dei quadri stringbox, l'ottimizzazione delle linee elettriche DC, fanno sì che le differenze di prestazioni elettriche fra una stringa e l'altra risultino minimizzati, potendo così calcolare tale perdita ad un valore pari a -2,1%.

3.3.6. Degrado delle prestazioni dei moduli fotovoltaici

Il degrado dei moduli fotovoltaici è funzione della tecnologia, del sito di installazione (spettro solare e temperature) e della qualità del prodotto. Generalmente l'andamento del degrado non è lineare: nel primo anno di esposizione la perdita è maggiore fino a stabilizzarsi con un degrado costante negli anni seguenti.

La tipologia di moduli in progetto presenta una garanzia sulla produzione massima al primo anno d'esercizio del 99% e un decadimento annuo successivo massimo del 0,4% per i 30 anni successivi.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	15



Nel software di calcolo PVSyst è stato inserito il corretto modello del modulo, con la curva di decadimento appena descritta. Si considera quindi il valore medio di perdita pari a -0,4%.

3.3.7. Perdite ohmiche di cablaggio

Si tratta di una perdita legata alle sezioni e alla lunghezza dei cavi elettrici e al loro cablaggio. Sulla base del progetto elettrico dell'impianto, con il dimensionamento e la verifica delle linee elettriche BT ed MT, grazie all'ottimizzazione dei percorsi dei cavi di corrente continua e all'utilizzo di sezioni di cavi per le stringhe di sezione idonea, il valore di tali perdite è stato calcolato pari a -0,8%.

3.3.8. Perdite sul sistema di conversione

Sono dovute alla curva di efficienza degli inverter in funzione della potenza in uscita e quindi, in prima analisi, dal progetto della macchina in funzione delle condizioni di irraggiamento del sito e di quelle del carico. La stima dipende dal tipo di convertitore utilizzato, marca e dallo schema di trasformazione.

Secondo i calcoli delle perdite di rete con il software PVSyst, imputando nel modello di calcolo i dati dell'inverter in progetto, le perdite sono state calcolate pari al -1,6%.

3.3.9. Perdite sui circuiti in corrente alternata

In questa voce vanno considerate due componenti:

Perdite circuiti in corrente alternata in BT

Data la prossimità tra inverter e trasformatore queste perdite sono considerate trascurabili.

Perdite circuiti in corrente alternata in MT interne all'impianto

Secondo lo schema unifilare di progetto e la disposizione planimetrica delle cabine PS e MTR, sono state calcolate le perdite della rete MT.

Perdite circuiti in corrente alternata in MT di collegamento alla SSE

Secondo lo schema unifilare di progetto e il tracciato dell'elettrodotto di collegamento fra la MTR e la SSE, sono state calcolate le perdite della rete MT.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	16

Di seguito il calcolo dettagliato.

LINEA	PARTENZA	ARRIVO	Sezione cavo [mm ²]	Lunghezza cavo [m]	Potenza attiva [MW]	Potenza persa [kW]	Δp %	Δp kW
RAMO A	PS4	PS5	3x1x150	450	3,78	2,141	0,06%	2,141
	PS5	PS2	3x1x300	510	7,54	4,720	0,06%	4,720
	PS2	MTR	3x1x300	390	11,32	8,135	0,07%	8,135
RAMO B	PS3	PS1	3x1x150	380	3,80	1,826	0,05%	1,826
	PS1	MTR	3x1x300	270	7,58	2,524	0,03%	2,524
LINEA MTR-SSE	MTR	SSE	3x1x630	7700	18,89	250,636	1,33%	250,636
POTENZA COMPLESSIVA					18,892			269,983
								1,43%

Il parametro di perdite sui circuiti in corrente alternata è assunto pari a -1,43%.

3.3.10. Perdite sui trasformatori MT/BT

Sulla base delle considerazioni effettuate al paragrafo precedente, ai fini del calcolo, pertanto, il parametro di perdite sui trasformatori MT/BT è stato calcolato pari a -1,1%.

3.3.11. Perdite sezione AT

Ai fini della presente relazione non si terrà conto delle perdite sulla sezione AT di impianto, potendosi queste considerare di poca rilevanza rispetto alle altre perdite si qui calcolate. Ad ogni buon fine, tali perdite saranno calcolate con dettaglio in fase di progettazione esecutiva.

3.3.12. Disponibilità di esercizio

In sede di progetto è stata effettuata una stima dell'indice di disponibilità garantito, sulla base della propria esperienza di O&M derivante dalla gestione di impianti simili a quello in progetto. Sulla base di quanto sopra esposto, per l'indisponibilità di esercizio sono assunte pari a -1,45%.

3.3.13. Consumi ausiliari

Si stima una perdita sul totale della produzione pari a circa il -0,5%.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	17

3.4. PRODUCIBILITÀ DEL SISTEMA

Sulla scorta di tutte le considerazioni effettuate nei paragrafi precedenti, è stato effettuato il calcolo della producibilità del sistema, partendo dal modello dell'impianto imputato nel software di calcolo PVSystem.

Stabilita quindi la disponibilità della fonte solare, e determinate tutte le perdite illustrate, la **produzione dell'impianto fotovoltaico in progetto risulta pari a 37.048 MWh/anno.**

Considerata la potenza nominale dell'impianto, pari a 18,892 MW_p, si ha una produzione specifica pari a 1.961 (kWh/KW_p)/anno.

Sulla base di tutte le perdite precedentemente illustrate, l'impianto in progetto consente di ottenere un indice di rendimento (Performance Ratio PR) pari a 85,77%.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.9 – XELI719PDRrti009R0	IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO "FAVARA" CALCOLO DI PRODUCIBILITA' DELL'IMPIANTO	18

4. ALLEGATO: REPORT PVSYST

COMMITTENTE

X-ELIO+

PROGETTISTA

HE Hydro
Engineering

PVsyst - Rapporto di simulazione

Sistema connesso in rete

Progetto: XELI719 - Favara

Variante: Nuova variante di simulazione

Eliostati illimitati con indetreggiamento

Potenza di sistema: 18.89 MWc

Castelvetrano - Italia



Progetto: XELI719 - Favara

Variante: Nuova variante di simulazione

PVsyst V7.2.12

VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Sommario del progetto

Luogo geografico Castelvetrano Italia	Ubicazione Latitudine 37.74 °N Longitudine 12.77 °E Altitudine 140 m Fuso orario UTC+1	Parametri progetto Albedo 0.20
Dati meteo Castelvetrano Meteonorm 7.2, Sat=100% - Sintetico		

Sommario del sistema

Sistema connesso in rete Orientamento campo FV Orientamento Assi inseguimento orizzontali	Eliostati illimitati con indetreggiamento Algoritmo dell'inseguimento Ottimizzazione irraggiamento Backtracking attivato	Ombre vicine Senza ombre
Informazione sistema Campo FV Numero di moduli 27580 unità Pnom totale 18.89 MWc	Inverter Numero di unità 10 unità Pnom totale 16.37 MWac Limite della potenza di rete 15.00 MWac Rapporto Pnom lim. rete 1.259	
Bisogni dell'utente Carico illimitato (rete)		

Sommario dei risultati

Energia prodotta	37 GWh/anno	Prod. Specif.	1961 kWh/kWc/anno	Indice rendimento PR	85.77 %
------------------	-------------	---------------	-------------------	----------------------	---------

Indice dei contenuti

Sommario del progetto e dei risultati	2
Parametri principali, Caratteristiche campo FV, Perdite sistema	3
Definizione orizzonte	6
Risultati principali	7
Diagramma perdite	8
Grafici speciali	9
Valutazione P50-P90	10
Bilancio delle Emissioni di CO ₂	11



PVsyst V7.2.12

VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Parametri principali

Sistema connesso in rete

Eliostati illimitati con indetreggiamento

Orientamento campo FV

Orientamento

Assi inseguimento orizzontali

Algoritmo dell'inseguimento

Ottimizzazione irraggiamento

Backtracking attivato

Strategia Backtracking

N. di eliostati 100 unità

Eliostati illimitati

Dimensioni

Distanza eliostati 9.40 m

Larghezza collettori 4.81 m

Fattore occupazione (GCR) 51.2 %

Banda inattiva sinistra 0.02 m

Banda inattiva destra 0.02 m

Phi min / max +/- 60.0 °

Angolo limite indetreggiamento

Limiti phi +/- 58.8 °

Modelli utilizzati

Trasposizione Perez

Diffuso Perez, Meteonorm

Circumsolare separare

Orizzonte

Altezza media 3.4 °

Ombre vicine

Senza ombre

Bisogni dell'utente

Carico illimitato (rete)

Sistema a moduli bifacciali

Modello Calcolo 2D
eliostati illimitati

Geometria del modello bifacciale

Distanza eliostati 9.40 m

ampiezza eliostati 4.85 m

GCR 51.6 %

Altezza dell'asse dal suolo 2.10 m

Definizioni per il modello bifacciale

Albedo dal suolo 0.30

Fattore di Bifaccialità 80 %

Ombreg. posteriore 5.0 %

Perd. Mismatch post. 10.0 %

Frazione trasparente della tettoia 0.0 %

Limitazione potenza di rete

Potenza attiva 15.00 MWac

Rapporto Pnom 1.259

Caratteristiche campo FV

Modulo FV

Costruttore Risen Energy Co., Ltd

Modello RSM132-8-685BNDG

(definizione customizzata dei parametri)

Potenza nom. unit. 685 Wp

Numero di moduli FV 27580 unità

Nominale (STC) 18.89 MWc

Campo #1 - Sottocampo 1

Numero di moduli FV 5432 unità

Nominale (STC) 3721 kWc

Moduli 194 Stringhe x 28 In serie

In cond. di funz. (50°C)

Pmpp 3427 kWc

U mpp 1018 V

I mpp 3365 A

Inverter

Costruttore Ingeteam

Modello IS 1640TL B630 IP54 Outdoor

(definizione customizzata dei parametri)

Potenza nom. unit. 1637 kWac

Numero di inverter 10 unità

Potenza totale 16370 kWac

Numero di inverter 2 unità

Potenza totale 3274 kWac

Voltaggio di funzionamento 910-1300 V

Rapporto Pnom (DC:AC) 1.14



PVsyst V7.2.12

VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Caratteristiche campo FV

Campo #2 - Sottocampo 2

Numero di moduli FV 5432 unità
Nominale (STC) 3721 kWc
Moduli 194 Stringhe x 28 In serie
In cond. di funz. (50°C)
Pmpp 3427 kWc
U mpp 1018 V
I mpp 3365 A

Numero di inverter 2 unità
Potenza totale 3274 kWac

Vtaggio di funzionamento 910-1300 V
Rapporto Pnom (DC:AC) 1.14

Campo #3 - Sottocampo #3

Numero di moduli FV 5460 unità
Nominale (STC) 3740 kWc
Moduli 195 Stringhe x 28 In serie
In cond. di funz. (50°C)
Pmpp 3444 kWc
U mpp 1018 V
I mpp 3382 A

Numero di inverter 2 unità
Potenza totale 3274 kWac

Vtaggio di funzionamento 910-1300 V
Rapporto Pnom (DC:AC) 1.14

Campo #4 - Sottocampo #4

Numero di moduli FV 5628 unità
Nominale (STC) 3855 kWc
Moduli 201 Stringhe x 28 In serie
In cond. di funz. (50°C)
Pmpp 3550 kWc
U mpp 1018 V
I mpp 3486 A

Numero di inverter 2 unità
Potenza totale 3274 kWac

Vtaggio di funzionamento 910-1300 V
Rapporto Pnom (DC:AC) 1.18

Campo #5 - Sottocampo #5

Numero di moduli FV 5628 unità
Nominale (STC) 3855 kWc
Moduli 201 Stringhe x 28 In serie
In cond. di funz. (50°C)
Pmpp 3550 kWc
U mpp 1018 V
I mpp 3486 A

Numero di inverter 2 unità
Potenza totale 3274 kWac

Vtaggio di funzionamento 910-1300 V
Rapporto Pnom (DC:AC) 1.18

Potenza PV totale

Nominale (STC) 18892 kWp
Totale 27580 moduli
Superficie modulo 85673 m²
Superficie cella 80274 m²

Potenza totale inverter

Potenza totale 16370 kWac
Numero di inverter 10 unità
Rapporto Pnom 1.15

Perdite campo

Perdite per sporco campo

Fraz. perdite 3.0 %

Fatt. di perdita termica

Temperatura modulo secondo irraggiamento
Uc (cost) 29.0 W/m²K
Uv (vento) 0.0 W/m²K/m/s

LID - Light Induced Degradation

Fraz. perdite 0.6 %

Perdita di qualità moduli

Fraz. perdite -0.8 %

Perdite per mismatch del modulo

Fraz. perdite 2.0 % a MPP

Perdita disadattamento Stringhe

Fraz. perdite 0.1 %

Fattore di perdita IAM

Effetto d'incidenza, profilo definito utente (IAM): Profilo definito utente

0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	1.000	0.992	0.978	0.946	0.850	0.000

**PVsyst V7.2.12**VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12**Perdite DC nel cablaggio**Res. globale di cablaggio 0.43 mΩ
Fraz. perdite 0.7 % a STC**Campo #1 - Sottocampo 1**Res. globale campo 3.0 mΩ
Fraz. perdite 0.9 % a STC**Campo #3 - Sottocampo #3**Res. globale campo 3.0 mΩ
Fraz. perdite 0.9 % a STC**Campo #5 - Sottocampo #5**Res. globale campo 2.8 mΩ
Fraz. perdite 0.9 % a STC**Campo #2 - Sottocampo 2**Res. globale campo 1.1 mΩ
Fraz. perdite 0.3 % a STC**Campo #4 - Sottocampo #4**Res. globale campo 2.8 mΩ
Fraz. perdite 0.9 % a STC**Perdite sistema****indisponibilità del sistema**frazione di tempo 1.5 %
5.5 giorni,
5 periodi**Perdite ausiliarie**Proporzionali alla potenza 5.0 W/kW
0.0 kW dalla soglia di potenza**Perdite cablaggio AC****Linea uscita inv. sino al trasformatore MT**Tensione inverter 630 Vac tri
Fraz. perdite 0.05 % a STC**Sistema globale**Sezione cavi All 3 x 15000 mm²
Lunghezza cavi 5 m**Linea MV fino alla iniezione**Vtaggio MV 30 kV
Conduttori All 3 x 400 mm²
Lunghezza 7700 m
Fraz. perdite 1.25 % a STC**Perdite AC nei trasformatori****Trafo MV**

Tensione rete 30 kV

Perdite di operazione in STCPotenza nominale a STC 18577 kVA
Perdita ferro (Connessione 24/24) 18.58 kW
Fraz. perdite 0.10 % a STC
Resistenza equivalente induttori 3 x 0.21 mΩ
Fraz. perdite 1.00 % a STC



PVsyst V7.2.12

VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Definizione orizzonte

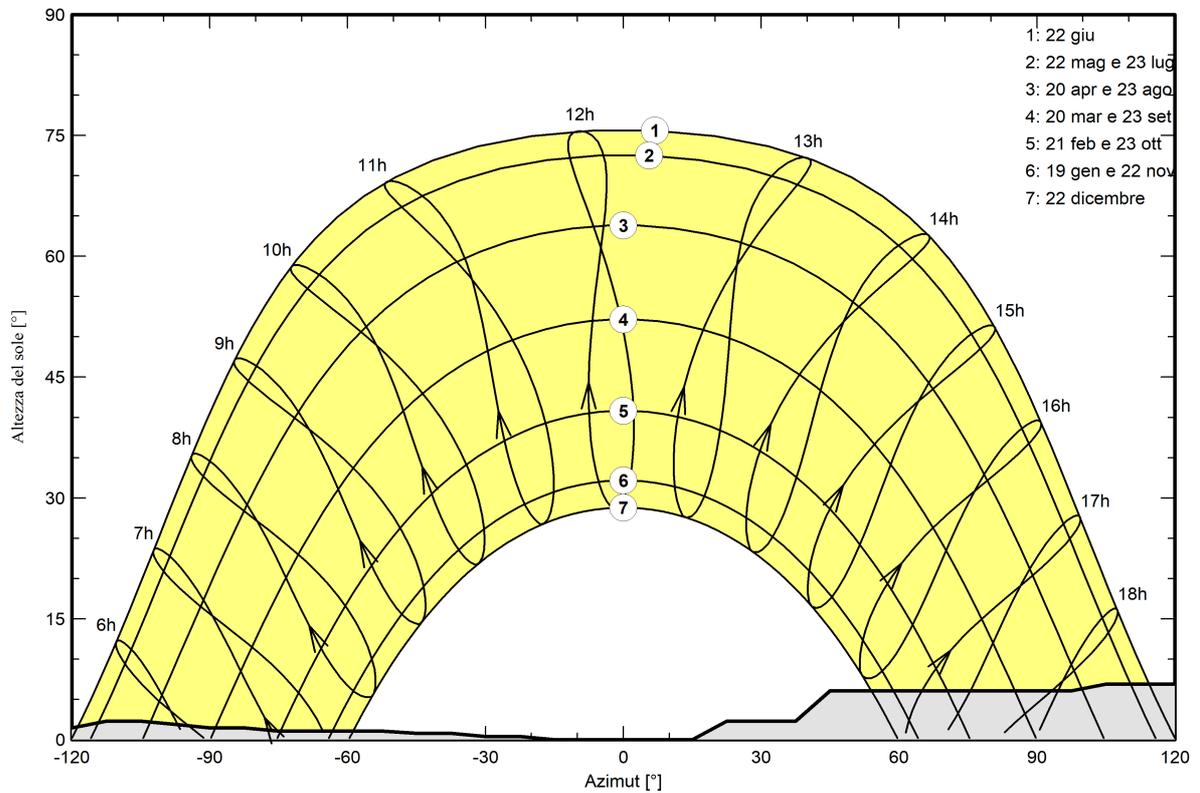
Horizon from PVGIS website API, Lat=37°43'16', Long=12°49'57', Alt=250m

Altezza media 3.4 ° Fattore su albedo 0.70
Fattore su diffuso 0.93 Frazione albedo 100 %

Profilo dell'orizzonte

Azimut [°]	-180	-173	-165	-158	-143	-135	-128	-120	-113	-105
Altezza [°]	5.3	4.6	4.2	3.4	2.3	1.9	1.5	1.5	2.3	2.3
Azimut [°]	-98	-90	-83	-75	-53	-45	-38	-30	-23	-15
Altezza [°]	1.9	1.5	1.5	1.1	1.1	0.8	0.8	0.4	0.4	0.0
Azimut [°]	15	23	38	45	98	105	158	165	173	180
Altezza [°]	0.0	2.3	2.3	6.1	6.1	6.9	6.9	5.0	5.0	5.3

Percorsi del sole (diagramma altezza / azimut)





Progetto: XELI719 - Favara

Variante: Nuova variante di simulazione

PVsyst V7.2.12

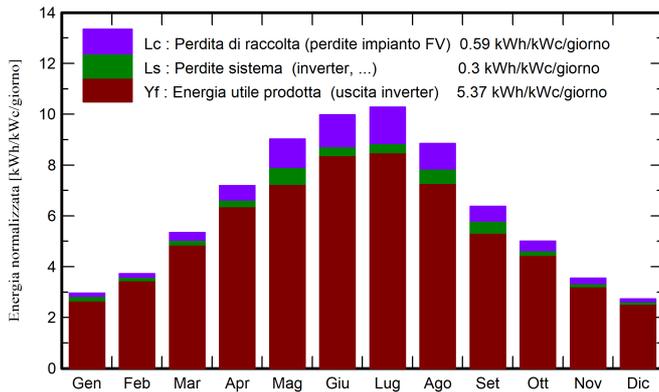
VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Risultati principali

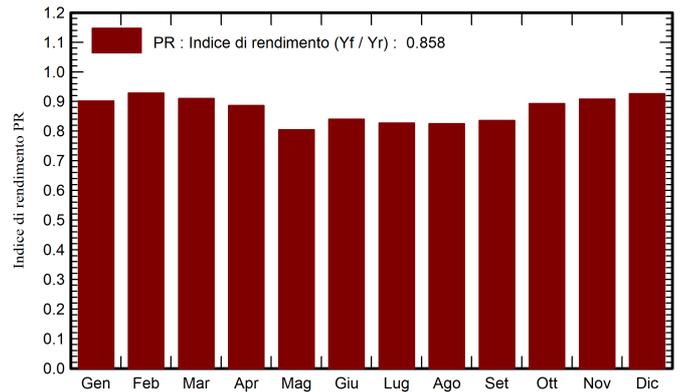
Produzione sistema

Energia prodotta 37 GWh/anno Prod. Specif. 1961 kWh/kWc/anno
 Indice di rendimento PR 85.77 %

Produzione normalizzata (per kWp installato)



Indice di rendimento PR



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	GWh	GWh	ratio
Gennaio	71.1	31.65	11.68	91.6	86.6	1.666	1.560	0.902
Febbraio	82.5	38.95	11.39	104.3	98.9	1.903	1.829	0.928
Marzo	132.3	59.25	13.65	165.7	156.9	2.964	2.849	0.910
Aprile	172.0	68.06	15.69	215.6	205.3	3.761	3.613	0.887
Maggio	219.4	66.93	20.07	279.6	265.9	4.639	4.251	0.805
Giugno	233.9	69.11	23.44	299.4	284.9	4.949	4.752	0.840
Luglio	246.2	57.64	26.69	318.7	303.5	5.188	4.980	0.827
Agosto	212.4	63.76	26.81	274.2	261.1	4.601	4.273	0.825
Settembre	150.2	57.38	23.38	191.4	181.6	3.289	3.022	0.836
Ottobre	120.5	45.63	20.61	155.2	147.3	2.720	2.617	0.893
Novembre	81.8	29.12	16.49	106.3	100.9	1.897	1.823	0.908
Dicembre	66.1	30.20	13.19	84.6	80.2	1.540	1.480	0.926
Anno	1788.3	617.67	18.64	2286.5	2173.1	39.118	37.048	0.858

Legenda

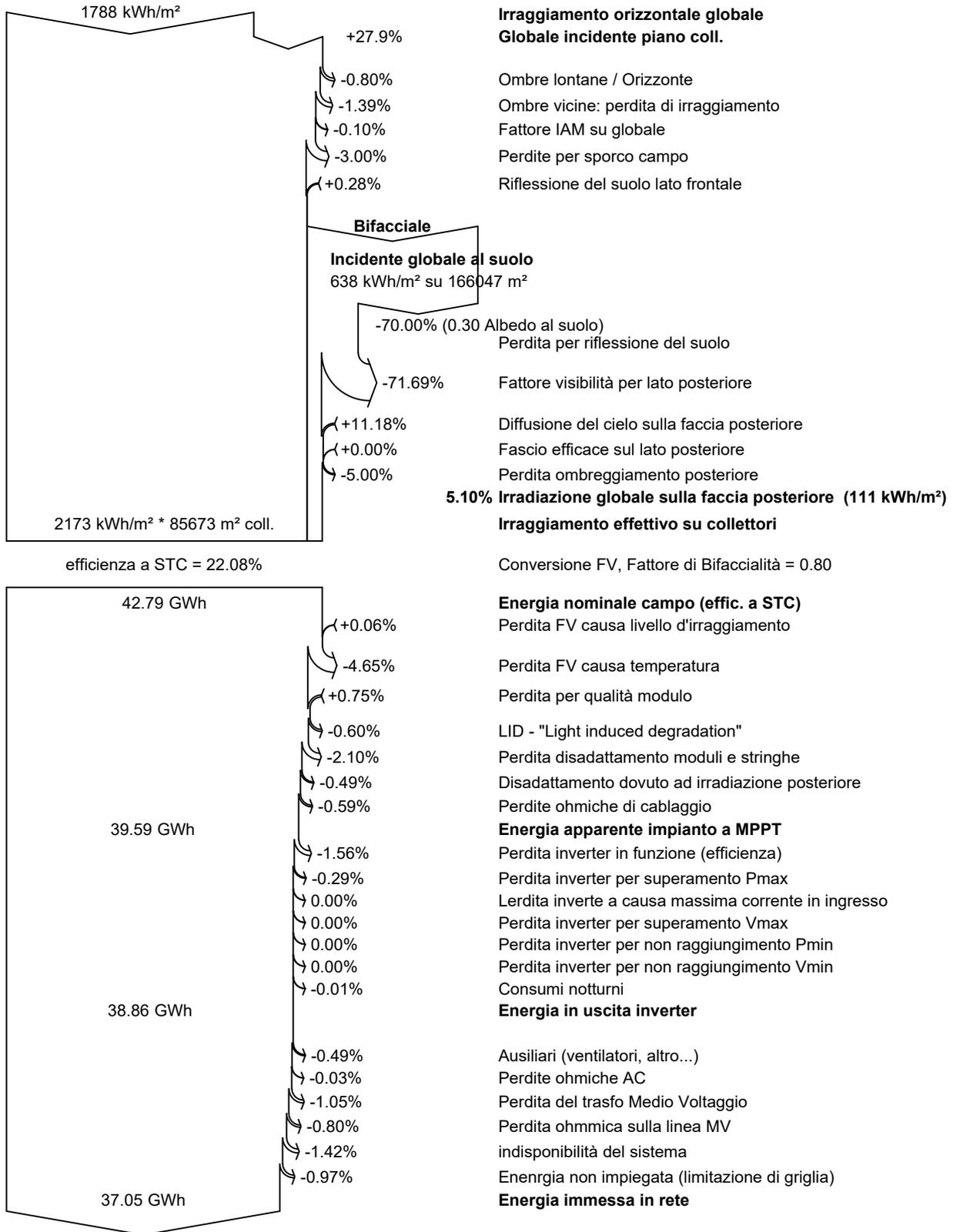
GlobHor	Irraggiamento orizzontale globale		EArray	Energia effettiva in uscita campo
DiffHor	Irraggiamento diffuso orizz.		E_Grid	Energia immessa in rete
T_Amb	Temperatura ambiente		PR	Indice di rendimento
GlobInc	Globale incidente piano coll.			
GlobEff	Globale "effettivo", corr. per IAM e ombre			



PVsyst V7.2.12

VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Diagramma perdite



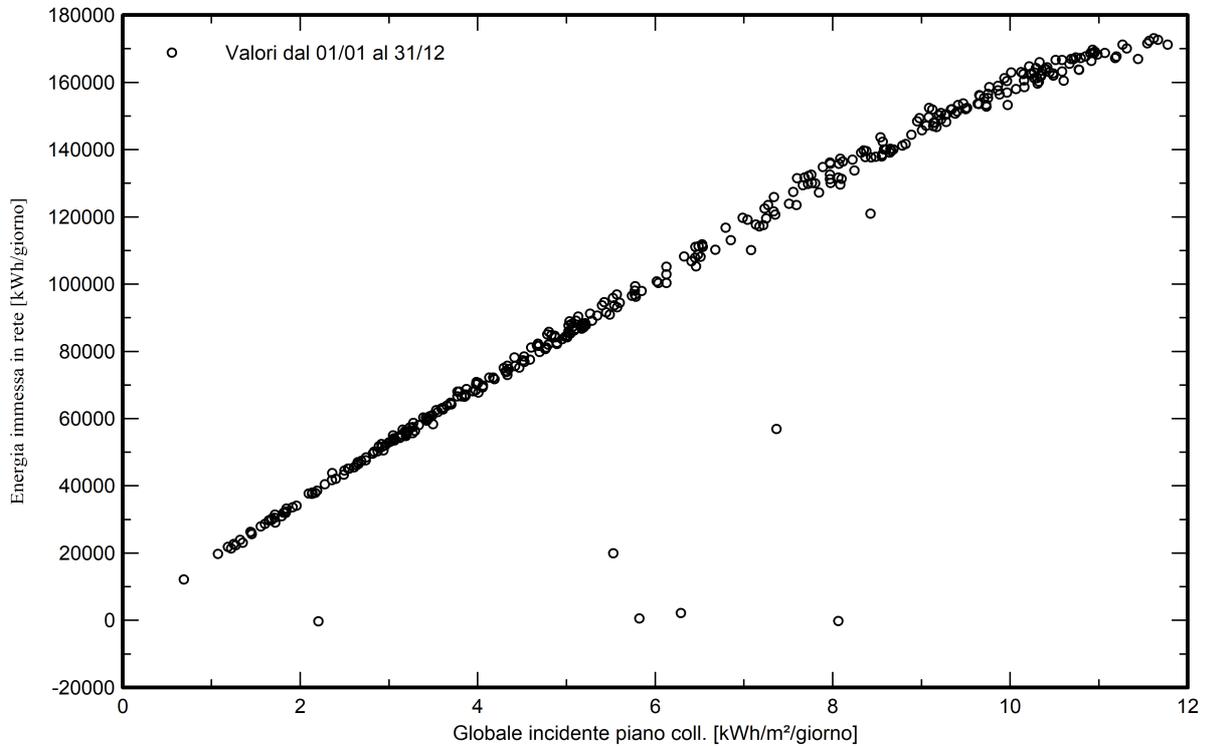


PVsyst V7.2.12

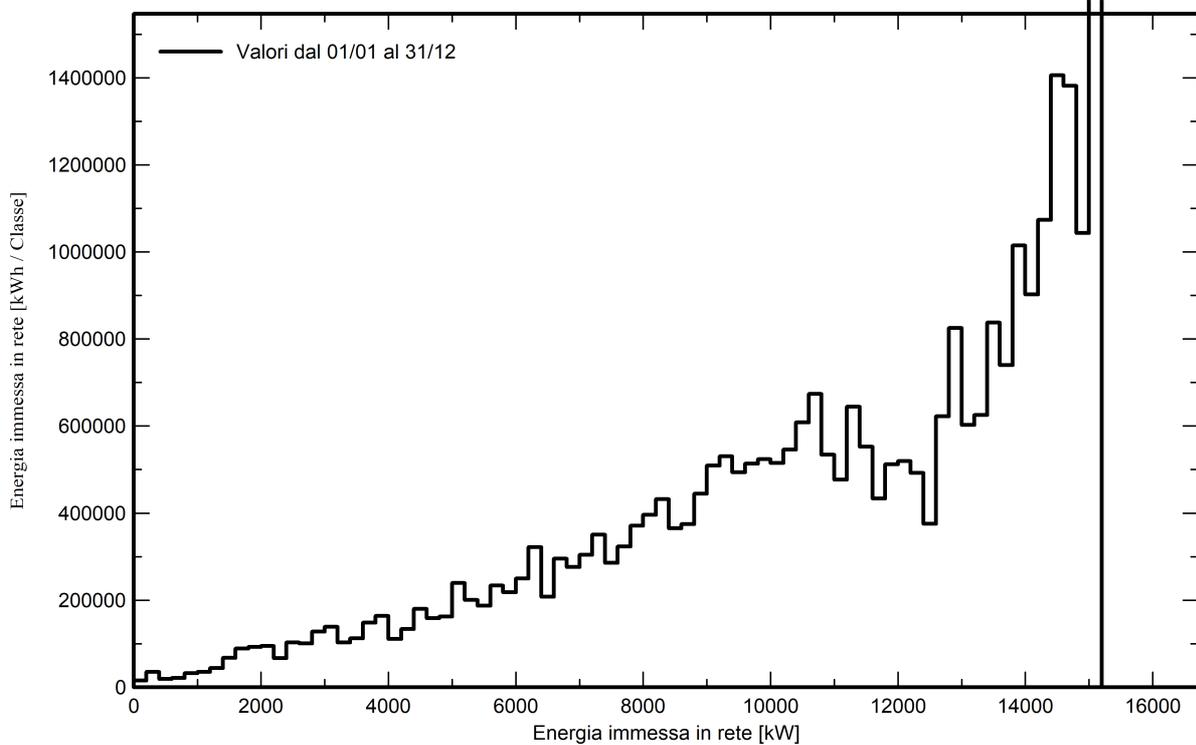
VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Grafici speciali

Diagramma giornaliero entrata/uscita



Distribuzione potenza in uscita sistema





PVsyst V7.2.12

VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Valutazione P50-P90

Dati meteo

Fonte Meteonorm 7.2, Sat=100%
Tipo TMY, multi anno
Differenza da anno in anno(Varianza) 3.7 %

Deviazione Standard

Cambiamento Climatico 0.0 %

Variabilità globale

Variabilità (Somma quadratica media) 4.2 %

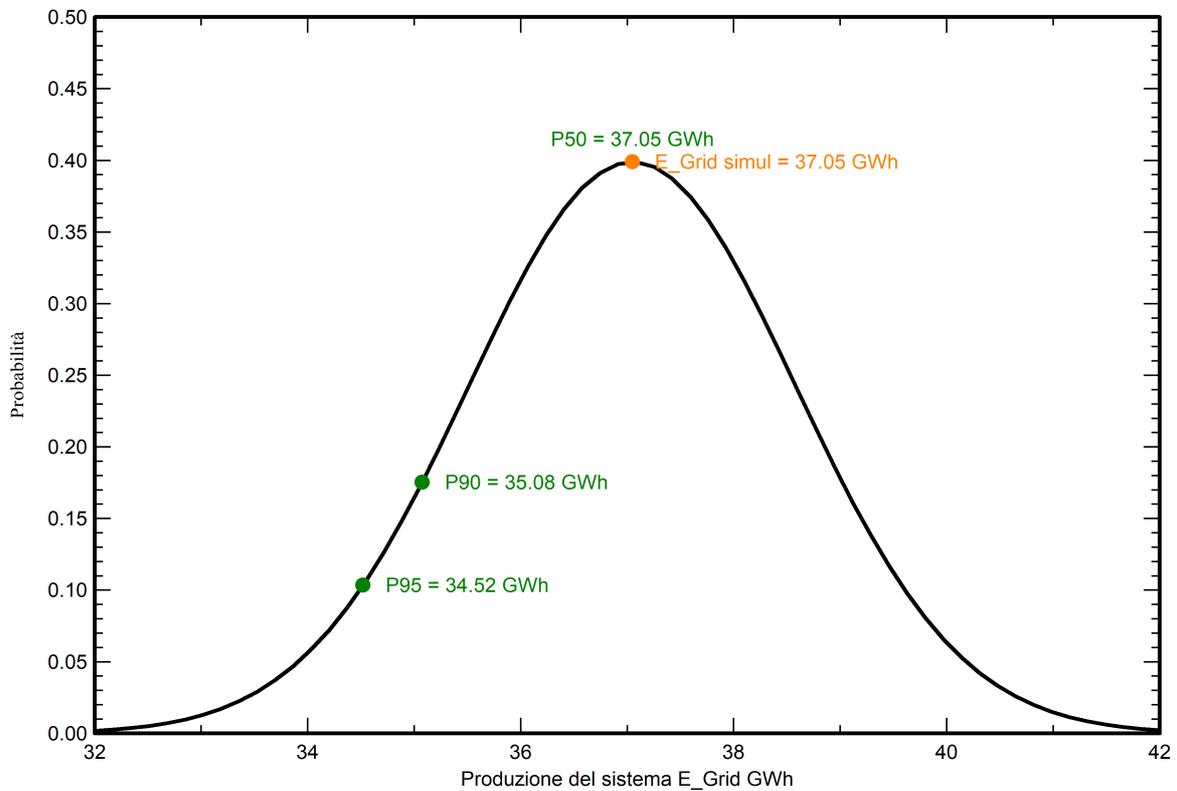
Incertezze dei parametri e simulazione

settaggio parametri modulo FV 1.0 %
Incertezza nella stima efficienza inverter 0.5 %
Incertezze di disadattamento e sporcizia 1.0 %
Incertezza nella stima del degrado 1.0 %

Valore di probabilità associato alla produzione

Variabilità 1.54 GWh
P50 37.05 GWh
P90 35.08 GWh
P95 34.52 GWh

Distribuzione di probabilità





PVsyst V7.2.12

VC3, Simulato su
24/02/22 18:31
con v7.2.12

Bilancio delle Emissioni di CO₂

Totale: -32365.7 tCO₂

Emissioni generate

Totale: 32365.72 tCO₂

Fonte: Calcolo dettagliato dalla tabella in basso:

Emissioni evitate

Totale: 0.0 tCO₂

Produzione del sistema: 37048.12 MWh/an

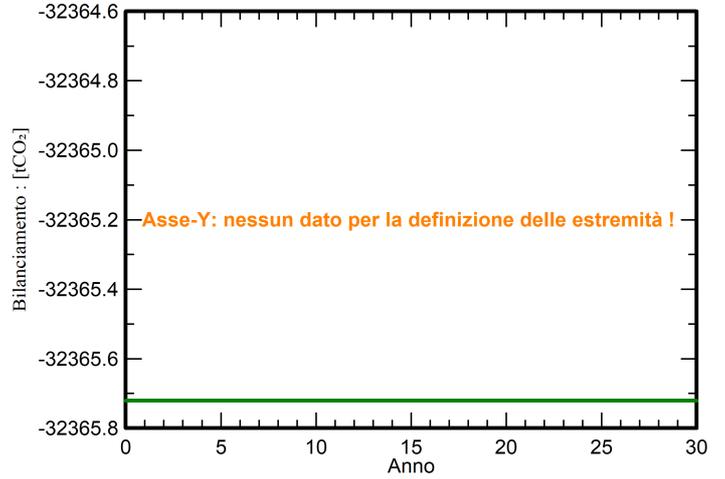
Emissioni durante il ciclo di vita: 0 gCO₂/kWh

Fonte: Valore customizzato definito dall'utente

Durata di vita: 30 anni

Degradazione annua: 1.0 %

CO₂ Evitata: Emissioni vs. Tempo



Dettagli delle emissioni del sistema nel ciclo di vita

Elemento	LCE (ciclo vitale energia)	Quantità	Subtotale
			[kgCO ₂]
Moduli	1625 kgCO ₂ /kWc	19909 kWc	32356021
Supporti	0.01 kgCO ₂ /Kg	1453200 Kg	9693
Inverter	0.66 kgCO ₂ /	10.00	6.61