

# SunSim 10 – Manuale d'uso

# Introduzione

Il programma *SunSim 10* è stato ideato e realizzato per calcolare in modo semplice e veloce la quantità di radiazione solare disponibile per gli impianti solari fotovoltaici fissi e ad inseguimento solare. E' però utilizzabile anche per impianti solari di tipo differente, tra cui quelli termici.

Al fine di ottenere le necessarie caratteristiche di velocità e semplicità d'uso, si è scelto di limitare al minimo indispensabile l'uso della tastiera, privilegiando invece l'introduzione dei dati mediante l'impiego del mouse. Il semplice scorrimento del cursore sul diagramma dei percorsi solari permette

infatti di orientare il piano dei moduli, mentre le diverse opzioni relative al funzionamento possono essere selezionate mediante semplici pulsanti o menu a tendina.

*SunSim 10* permette inoltre di calcolare velocemente, ma in modo accurato, la produzione di un impianto fotovoltaico su base mensile inserendo i dati di impianto necessari mediante delle semplici operazioni in un'apposita finestra.

### Metodo di calcolo

SunSim 10 è un programma di simulazione che lavora nel dominio del tempo. I risultati sono quindi calcolati ricostruendo i percorsi solari durante l'anno, valutando gli effetti sul sito negli istanti considerati ed infine sommando tra loro in modo opportuno i risultati parziali.

L'approccio simulativo consente di tenere in considerazione i vari fattori che influiscono sul risultato, in primo luogo gli ombreggiamenti e la torbidità atmosferica. Per contro richiedono una notevole quantità di calcoli (si consideri che con un passo temporale di 10 minuti, pari a quello adottato da *SunSim 10*, per ottenere un singolo risultato è necessario il calcolo dell'irraggiamento solare in circa 600 condizioni differenti). Tuttavia, gli attuali PC non presentano alcuna difficoltà a tenere il passo con queste richieste di calcolo e quindi i risultati sono ottenuti in modo pressoché istantaneo.

### Cosa cambia rispetto a SunSim 8.0: 2 principali novità e altri miglioramenti

*SunSim 10* è ora in grado di visualizzare gli andamenti solari giornalieri per ogni mese



Inoltre è ora possibile introdurre i principali parametri di un sistema fotovoltaico, calcolare il Performance Ratio PR e la resa kWh/kWp



Altri interessanti miglioramenti riguardano l'ottimizzazione di alcune finestre di dialogo, la gestione dell'ombreggiamento e la possibilità di modificare la torbidità atmosferica.

### Requisiti minimi di sistema

Il programma *SunSim 10* è in grado di funzionare praticamente su qualsiasi PC reperibile in commercio con sistema operativo Windows Vista o superiore e con una risoluzione dello schermo minima di 1280×720.

Le risorse richieste da *SunSim 10* sono comunque limitate, in quanto il programma non richiede l'installazione di driver specifici, non fa uso di librerie DLL proprie e può anche funzionare senza essere stato precedentemente installato, in quanto è possibile lanciarlo da una qualsiasi cartella, contenuta in un dispositivo fisso o anche mobile, come ad esempio un memory stick.

Dal sito www.sunsim.it è comunque scaricabile la versione di test del programma, denominata

#### SunSim 10 Ideale per uso didattico

Fornisce immediatamente all'operatore gli effetti delle azioni e modifiche sui parametri utilizzati e di come queste influiscano sui risultati. Diventa quindi facile e intuitivo imparare come funziona in ogni dettaglio un impianto ad energia solare.

SunSimTest.exe. Si consiglia di provare preliminarmente tale versione di test sul proprio PC al fine di verificare che tutti i requisiti richiesti siano soddisfatti.

### Installazione

SunSim 10 non ha bisogno di essere installato e può essere fatto partire da una qualsiasi cartella contenuta su supporto sia fisso che rimovibile semplicemente facendo un doppio click sull'icona del programma.

### SunSim 10 Ideale per il professionista

Si basa su metodi rigorosi e precisi per il calcolo dei risultati ma richiede all'operatore soltanto l'introduzione dei dati strettamente necessari, per di più in modo facile e intuitivo. Non richiede la frequentazione di corsi specifici, ne' la conoscenza di complicati CAD tridimensionali e i risultati ottenuti sono facilmente leggibili e interpretabili. Permette di eseguire velocemente un gran numero di simulazioni, così da

simulare impianti molto estesi o, anche, fare raffronti tra diverse soluzioni senza perdere tempo a compilare lunghe pagine video. Preliminarmente, risulta spesso conveniente copiare il file eseguibile sul Desktop e, mediante il pulsante destro del mouse, attivare il comando "Aggiungi al menu Start".

### Protezione

A differenza delle differenti versioni, SunSim 10 è protetto mediante un codice di 3 caratteri che vengono forniti al momento della consegna e che devono essere inseriti nell'apposito campo editabile, indicato come Insert Code  $\rightarrow$ .

Se i 3 caratteri digitati sono corretti, il campo editabile scompare e al suo posto appare la scritta *Code accepted*. In caso contrario appare un messaggio di errore e il programma termina l'esecuzione.

Ogni copia di *SunSim 10* distribuita in licenza è personalizzata, in quanto nella schermata principale reca la dicitura del proprietario, identica a quella riportata nella licenza d'uso.

# Descrizione del funzionamento

### Finestra principale

Il programma *SunSim 10* si compone essenzialmente di una finestra di dialogo principale tramite la quale è possibile tenere sotto controllo tutti i principali parametri che intervengono nei calcoli. Alcuni

di questi, tuttavia, per ragioni di spazio richiedono di essere introdotti attraverso delle apposite finestre di dialogo. Tali parametri riguardano essenzialmente il profilo dell'orizzonte, l'albedo e, quando richiesto, il sistema fotovoltaico.

Nel seguito saranno prese in considerazione le singole parti della finestra di lavoro principale e le varie altre finestre che è possibile aprire.

Dalla schermata principale è possibile individuare le aree che contengono i comandi principali per il programma:

- Solar data-base Meteo station Shading & Albedo
- Atmospheric turbidity TL
- MJ/kWh
- Limit angle
- Tracking area

Vi è inoltre l'area di lavoro principale con i percorsi solari:

– View from North to South

Ed infine sono presenti un'area che riporta i risultati, un'area che permette di capire l'orientamento dell'array mediante una semplice animazione e un'area che fornisce gli andamenti giornalieri per il mese selezionato:

- PV array View from South to North
- Average daily radiation
- Daily trend

La figura seguente riporta un esempio di schermata principale.



A partire dalla schermata principale, posizionando il mouse sul diagramma dei percorsi solari, è possibile generare i report in formato RTF, leggibili da qualsiasi word processor (es. MS Word), e in formato CSV, leggibili da qualsiasi foglio di calcolo (es. MS Excel).

Se si desidera ottenere dei report che includono il sistema fotovoltaico e i relativi calcoli, si deve premere il pulsante destro del mouse o la barra di spazio. Se invece è sufficiente che i report contengano solo i valori solari si deve premere il pulsante sinistro del mouse o il tasto Return. La figura seguente illustra queste due modalità.



### Solar data-base – Meteo station

Tramite il menu a tendina è possibile selezionare i dati di radiazione diretta e diffusa sul piano orizzontale, la temperatura media diurna e la velocità media del vento per la località desiderata. Questi valori si riferiscono a quanto riportato nella norma UNI 10349-1:2016 per le località italiane e ai metodi di calcolo utilizzati dal Joint Research Centre (JRC) di Ispra per l'Europa, il Medio Oriente, il Nord Africa e alcune località italiane rappresentative.

Le informazioni disponibili su PVGIS sono di dominio pubblico e disponibili sul sito web del JRC.

I dati che si riferiscono alla norma UNI 10349-1:2016 sono relativi alle 110 provincie italiane di seguito riportate.

Agrigento	Chieti	La Spezia	Padova	Sondrio
Alessandria	Carbonia-Inglesias	Lecco	Parma	Siracusa
Ancona	Caltanissetta	Lodi	Perugia	Sassari
Aosta	Cuneo	Lecce	Pescara	Savona
Ascoli Piceno	Como	Livorno	Piacenza	Taranto
L'Aquila	Cremona	Latina	Pisa	Teramo
Arezzo	Cosenza	Lucca	Pordenone	Trento
Asti	Catania	Monza-Brianza	Prato	Torino
Avellino	Catanzaro	Macerata	Pesaro e Urbino	Trapani
Bari	Enna	Messina	Pistoia	Terni
Bergamo	Ferrara	Milano	Pavia	Trieste
Biella	Foggia	Mantova	Potenza	Treviso
Belluno	Firenze	Modena	Ravenna	Udine
Benevento	Fermo	Massa-Carrara	Reggio di Calabria	Varese
Bologna	Forlì	Matera	Reggio nell'Emilia	Verbania
Brindisi	Frosinone	Napoli	Ragusa	Vercelli
Brescia	Genova	Novara	Rieti	Venezia

Barletta-Andria-Tr	Gorizia	Nuoro	Roma	Vicenza
Bolzano	Grosseto	Ogliastra	Rimini	Verona
Cagliari	Imperia	Oristano	Rovigo	Medio Campidano
Campobasso	Isernia	Olbia-Tempio	Salerno	Viterbo
Caserta	Crotone	Palermo	Siena	Vibo Valentia

I dati che si riferiscono ai metodi di calcolo adottati dal Joint Research Centre fanno riferimento alle categorie Classic PVGIS, PVGIS-Helioclim e Climate-SAF PVGIS. In totale, sono stati individuati i 88 siti sotto elencati che si riferiscono al metodo di calcolo Classic PVGIS.

Belfast (UK)	Bordeaux (F)	Bern (CH)	Genova (I)	Sassari (I)
Birmingham (UK)	Lyon (F)	Innsbruck (A)	Bologna (I)	Cagliari ()
Edinburgh (UK)	Marseille (F)	Wien (A)	Firenze (I)	Ljubliana (SLO)
London (UK)	Nice (F)	Budapest (H)	Ancona (I)	Zadar (HR)
Manchester (UK)	Paris (F)	Barcelona (E)	Perugia (I)	Beograd (SRB)
Dublin (IRL)	Rennes (F)	Bilbao (E)	Grosseto (I)	Bucaresti (R)
Reykjavik (IS)	Strasbourg (F)	Granada (E)	Pescara (I)	Sofija (BG)
Oslo (N)	Bruxelles (B)	Madrid (E)	Roma (I)	Tirana (AL)
Stockholm (S)	Amsterdam (NL)	Sevilla (E)	Campobasso (I)	Athina (GR)
Helsinki (SF)	Luxembourg (L)	Zaragoza (E)	Napoli (I)	Thessaloniki (GR)
Kobenhavn (DK)	Berlin (D)	Lisboa (P)	Potenza (I)	Istanbul (TR)
Vilnius (LT)	Frankfurt (D)	Porto (P)	Bari (I)	Valletta (M)
Riga (LV)	Freiburg (D)	Aosta (I)	Lecce (I)	Nicosia (CY)
Tallin (EST)	Hamburg (D)	Bolzano (I)	Cosenza (I)	Casablanca (MA)
Moskva (RU)	Munchen (D)	Torino (I)	Reggio Calabria (I)	Algier (DZ)
Minsk (BY)	Warszawa (PL)	Milano (I)	Palermo (I)	Tunis (TN)
Kiev (UA)	Praha (CZ)	Padova (I)	Catania (I)	Tripoli (LAR)
		Udine (I)	Ragusa (I)	Cairo (ET)

Per seguenti 6 siti il riferimento è invece rappresentato dal metodo di calcolo PVGIS-Helioclim.

Doha (Q)	Dubai (UAE)	Riyad (KSA)	Bahrain (Bahrain)	Muscat (OM)
				Salalah (OM)

Infine, per i seguenti 26 siti in Italia è stato fatto riferimento anche al metodo di calcolo Climate-SAF PVGIS.

Aosta	Napoli	Padova	Cosenza	Firenze
Milano	Lecce	Bologna	Catania	Grosseto
Genova	Palermo	Perugia	Cagliari	Campobasso
Ancona	Sassari	Roma	Torino	Bari
Pescara	Bolzano	Potenza	Udine	Reggio Calabria
				Ragusa

Come si può vedere, alcuni siti italiani sono richiamabili sia come UNI 10349 che come JRC. In questo modo è anche possibile rendersi conto di come i dati solari di diversa provenienza vadano ad influire sui risultati.

Tramite i pulsanti contrassegnati con le frecce  $\downarrow e \uparrow è$  possibile modificare la latitudine del sito considerato da 0° N a 90° N. L'uso di questi pulsanti per piccoli aggiustamenti non comporta particolari problemi, tuttavia nel caso di ampie variazioni va sempre tenuto presente che i dati di radiazione solare caricati dal sito potrebbero non essere compatibili con la latitudine voluta, soprattutto nel caso di spostamenti verso Nord. In questi casi occorre quindi sempre verificare la correttezza dei dati di radiazione e modificarli quando occorre.

L'ultimo dei siti in elenco è indicato come **<New site>**. Si tratta di un sito per il quale è possibile introdurre i valori meteorologici di radiazione solare, temperatura giornaliera mensile e velocità media del vento a partire da zero o da un sito esistente.

### **New Site**

Il pulsante *New Site* permette di personalizzare i valori di radiazione solare diretta e diffusa, la temperatura media giornaliera mensile e la velocità media del vento mediante un'apposita finestra di dialogo visibile nella figura seguente.



Per mezzo del pulsante sinistro del mouse utilizzato all'interno dei diagrammi è possibile modificare velocemente i valori di radiazione solare diretta e diffusa, la temperatura media durante le ore di luce solare e la velocità media del vento.

E' tuttavia possibile intervenire in modo più preciso sul diagramma solare per mezzo dei pulsanti Up e Dw, attraverso i quali è possibile incrementare o diminuire i valori di radiazione giornaliera media mensile diretta e diffusa. I valori da modificare sono scelti mediante una griglia di selezione attuata mediante delle caselle poste in corrispondenza sia dei mesi dell'anno che della radiazione diretta e della radiazione diffusa. In questo modo è possibile modificare uno o più valori contemporaneamente. Ad esempio, nella figura è stata selezionata la radiazione solare diretta per i mesi di novembre, dicembre, gennaio e febbraio. Agendo sui pulsanti Up e Dw è possibile quindi variare contemporaneamente i corrispondenti valori.

Le temperature medie mensili della giornata possono anch'esse essere modificate col pulsante sinistro del mouse all'interno del diagramma. In questo caso però la variazione è più grossolana in quanto le temperature variano con la risoluzione di 1 °C.

Infine, è possibile modificare la velocità media del vento col pulsante sinistro del mouse all'interno della corrispondente barra orizzontale.

La finestra consente di salvare i nuovi valori impostati in appositi file .SIT e di aprire i file esistenti per recuperare i dati precedentemente salvati.

E' importante notare che chiudendo la finestra New site il programma visualizza comunque l'indicazione <New site>, oppure il nome del file precedentemente aperto o salvato.

### Shading

Il profilo delle ombre sul sito è introdotto mediante una apposita finestra, nella quale viene riproposto più in piccolo il diagramma dei percorsi solari ed è realizzato premendo il pulsante sinistro del mouse all'interno di tale diagramma, in corrispondenza della posizione e dell'altezza delle corrispondenti ostruzioni solari.



Nel caso siano presenti più strutture di sostegno egualmente spaziate e inclinate è possibile introdurre automaticamente l'ombreggiamento reciproco mediante il riquadro a destra. La barra di scorrimento verticale permette di selezionare l'angolo di ostruzione tra i filari di moduli con risoluzione di 1°. E' inoltre possibile ruotare i filari verso Est o verso Ovest con risoluzione di 10° mediante i due pulsanti posizionati in basso. Le ombre così ottenute vanno a sovrapporsi all'eventuale ombreggiamento esistente sul diagramma.

La finestra consente di salvare i nuovi valori impostati in appositi file .HOR e di aprire i file esistenti per recuperare i dati precedentemente salvati.

### Albedo

Il programma SunSim 10 tiene conto della radiazione riflessa dal suolo e dagli oggetti circostanti mediante degli opportuni coefficienti di albedo.

Le condizioni di albedo considerate sono quelle previste nella precedente norma UNI 8477. Poiché tali condizioni possono variare a seconda della stagione e inoltre ne possono sussistere contemporaneamente più di una, l'inserimento dei dati è effettuato mediante l'apertura di un'apposita finestra che presenta una matrice di condizioni possibili e permette un'ampia scelta di combinazioni tra queste. Selezionando più di una condizione, il valore di albedo corrispondente è pari alla media aritmetica dei valori selezionati.

In definitiva, a ciascun mese è associato un coefficiente di albedo  $\rho$ , di valore compreso tra 0.00 e 1.00, pari alla media aritmetica dei coefficienti selezionati nella finestra.

Albedo setup													
Set-up Albedo values													
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Ref. Values
Snow (fresh with an iced film)	-	Г	E.	Γ.	Π.	Γ.	<b></b>	Г	Г	E.	E.		0.75
Water surfaces				<b></b>	<b>—</b>	<b>—</b>			Π.				0.70
Groud (crete, marl)	Г	Г	Г	Г	<b></b>	<b></b>	<b></b>	Г	Г	Г	<b></b>	1	0.14
Dirty roads		<b></b>	Γ.		<b>—</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	Γ.	Γ.		<b>—</b>		0.04
Coniferous forest in winter	<b></b>	Г	Г	Γ	Γ.	Г	F	Г	Г	Г	Г	-	0.07
Forest in Autumn / fields with mature crops and trees		1	Π.		<b>—</b>			Γ.	Γ.		Π.		0.26
Aged asphalt	•	☑	☑	•	•	☑	☑	•	•	☑	~	•	0.10
Aged concrete			Π.					Γ.	Γ.		Γ.		0.22
Dry leaves	Г	Г	Г	Γ	Γ.	Г	F	Г	Γ	Г	Г	Γ	0.30
Dry grass			Π.		Π.				<b></b>				0.20
Green grass	<b>—</b>	Г	Г	Π	Π	Γ.	Г	Г	Г	Г	Г	Γ	0.26
Roofs or terraces in bitumen	,				☑		☑	☑	☑	☑			0.13
Rubble	<b>—</b>	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	0.20
Dark surfaces of buildings			Π.						<b>—</b>				0.27
Light surfaces of buildings	<b>—</b>	Г	Г	Γ	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	0.60
	0.33	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.33	
		. ľ	•				-	r.					
	Jear Al		Open	S	ave As		Exit						

La finestra consente di salvare i nuovi valori impostati in appositi file .ALB e di aprire i file esistenti per recuperare i dati precedentemente salvati.

### MJ/kWh

I valori di radiazione solare calcolati ed evidenziati nella finestra di dialogo corrispondono a delle energie mensili e annuali intercettate dall'impianto solare. E' possibile disporre di tali risultati, calcolati come MJ o kWh, selezionando il pulsante corrispondente.

### Limit angle

Il parametro definito come angolo limite permette di tenere conto della minore incidenza della radiazione solare sulle celle fotovoltaiche quando l'angolo tra la radiazione solare diretta e il piano dei moduli scende al di sotto di un certo valore.

Per bassi valori di questo angolo il vetro anteriore dei moduli tende a riflettere la radiazione solare piuttosto che a farla passare e questo vale anche per la superficie delle celle stesse. Questo fenomeno ha portato alcuni produttori di moduli a sagomare o a trattare in modo opportuno la superficie delle celle e del vetro anteriore, ad esempio con un disegno piramidale, in modo tale che la radiazione solare, comunque orientata, incontri sempre delle superfici non eccessivamente inclinate.

I film sottili, tendenzialmente più opachi, risentono meno di questo fenomeno, specialmente se le celle sono protette anteriormente con materiale plastico trasparente o con vetro opportunamente trattato.

Per la scelta dell'angolo limite, *SunSim 10* propone un valore di 5°, lasciando la possibilità di variare tale valore tra  $0^{\circ}$  e 25°.

### Help

Tramite questo pulsante si apre una finestra che contiene le informazioni sull'uso dei comandi da tastiera e dei pulsanti del mouse.

In pratica, è specificato che tramite le frecce è possibile muoversi nell'area di lavoro del diagramma solare, ottenendo quindi lo stesso effetto del movimento del mouse ma con la possibilità di effettuare degli spostamenti più precisi.

Il pulsante sinistro del mouse o il tasto *Return (Invio)* della tastiera permettono di generare i file dei risultati per i soli dati solari e copiano il diagramma solare negli appunti.

Se invece si vuole tenere conto delle perdite associate ad un sistema fotovoltaico e valutarne la resa è necessario utilizzare il pulsante destro del mouse o il tasto **Space (Spazio)** della tastiera. In questo modo si apre la finestra di immissione dei dati per il sistema fotovoltaico ed effettuare le successive elaborazioni a partire dai dati solari già calcolati. Da li sarà poi possibile generare i file dei risultati e utilizzare il diagramma solare copiato negli appunti.

### Tracking area

Nella Tracking area, è possibile passare dal calcolo della radiazione solare raccolta su una superficie con orientamento e inclinazione fissi alla simulazione di alcune tipologie di sistemi ad inseguimento solare.

Occorre premettere che le simulazioni degli inseguitori solari non tengono conto in modo puntuale del loro possibile ombreggiamento reciproco, in quanto questi calcoli richiederebbero la conoscenza dell'effettiva geometria delle strutture utilizzate. I risultati ottenuti per mezzo delle simulazioni con i sistemi ad inseguimento solare hanno quindi un valore indicativo e potrebbero richiedere ulteriori affinamenti in fase di progetto.

Le modalità di inseguimento solare utilizzabili con SunSim 10 sono le seguenti:

No tracking	Funzionamento normale senza inseguimento (scelta di default)
E-W 1 axis tracking	Inseguimento del disco solare con struttura monoassiale orientabile da Est a Ovest, facendo quindi ruotare il piano dei moduli fotovoltaici sull'asse Nord-Sud
South 1 axis monthly	Inseguimento su un solo asse ottenuto con l'orientamento a Sud del piano dei moduli fotovoltaici e una inclinazione variabile di mese in mese e corrispondente all'altezza solare a mezzogiorno
South 1 axis tracking	Inseguimento su un solo asse ottenuto con l'orientamento a Sud del piano dei moduli fotovoltaici e una inclinazione variabile a seconda dell'altezza solare. Nei periodi in cui il sole si troverebbe alle spalle del piano dei moduli fotovoltaici, quest'ultimo assume un assetto orizzontale
2 axes beam tracking	Inseguimento su 2 assi che tiene costantemente perpendicolare la radiazione solare diretta sul piano dei moduli fotovoltaici

Il pulsante *Weighted tracking* si applica a tutte le modalità di inseguimento e permette di tenere conto della radiazione diffusa diminuendo l'inclinazione del piano dei moduli in funzione della proporzione media mensile di radiazione diffusa rispetto a quella diretta.

### View from North to South

Il diagramma solare costituisce la parte fondamentale del programma *SunSim 10*. Esso è costituito da un'area di lavoro con sfondo bianco, che riporta una scala da 0° a 360°, corrispondente all'azimut solare rispetto a Nord, con incremento in senso orario sull'asse delle ascisse e una scala da 0 a 90°,

corrispondente all'elevazione solare, sull'asse delle ordinate. La figura seguente riporta un esempio di tale diagramma.



Percorsi solari e diagramma delle ombre

All'interno del diagramma solare è presente l'area di lavoro, nella quale sono tracciati i percorsi solari relativi alla latitudine del sito selezionato (oppure ad una latitudine diversa se si è scelto di modificarne il valore).

In tutto i diagrammi solari sono 7. Normalmente quello più in basso è relativo al 21 dicembre mentre quello più in alto (di colore differente) è relativo al 21 giugno. Per bassi valori di latitudine (zone tropicali) tale ordine può però subire variazioni.

I 5 percorsi intermedi si riferiscono alle coppie di mesi novembre-gennaio, ottobre-febbraio, settembre-marzo, agosto-aprile e luglio-maggio.

I valori dell'elevazione solare  $\theta_h$  e dell'angolo azimutale  $\theta_a$  sono ricavati sulla base della latitudine  $\Phi$ , e della declinazione  $\delta$  (curve diverse hanno declinazioni diverse). Ciascuna curva è quindi tracciata facendo variare l'angolo orario  $\omega$  nelle formule seguenti.

$$\cos\theta_h = \sin\delta \cdot \sin\Phi + \cos\delta \cdot \cos\Phi \cdot \cos\omega$$

$$\cos\theta_a = \frac{\sin\theta_h \cdot \sin\Phi - \sin\delta}{\cos\theta_h \cdot \cos\Phi}$$

 $\omega = 15 \cdot t + \Delta \omega - 180$ 

Dove:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \qquad (n \text{ è il giorno dell'anno conteggiato a partire dal 1° gennaio})$$

(t è il tempo in ore e  $\Delta \omega$  dipende dalla longitudine del sito)

Nell'area di lavoro è rappresentato anche il diagramma delle ombre, quando è richiesto, così da evidenziare i periodi dell'anno e le ore della giornata in cui i percorsi solari risultano oscurati.

### Orientamento del piano dei moduli

L'innovazione introdotta dal programma *SunSim 10*, che lo rende unico rispetto ad altri software di simulazione, consiste nell'utilizzare la stessa area di lavoro contenente i percorsi solari e le ombre per orientare il piano dei moduli fotovoltaici.

In questo caso il puntatore del mouse, raffigurato con una crocetta, individua l'orientamento della retta perpendicolare (o della normale) al piano dei moduli. In altre parole, il piano dei moduli è rivolto esattamente nella direzione indicata dal cursore.

Questo procedimento è piuttosto intuitivo ma va tenuto presente che l'inclinazione del piano dei moduli non è pari al valore letto sulla scala delle elevazioni solari ma il suo complemento a 90°. Per l'angolo azimutale invece non ci sono variazioni.

Comunque, per evitare equivoci, immediatamente sopra l'area di lavoro sono riportati i valori di inclinazione e di azimut del piano dei moduli.

In testa all'area di lavoro viene inoltre ricordato con la frase *View from North to South* che il puntamento avviene immaginando di essere dietro il piano dei moduli e di guardare verso i percorsi solari. La figura in movimento in alto a destra rappresenta invece il piano dei moduli visto da un osservatore posto di fronte ad esso e pertanto la didascalia riporta la *View from South to North*.

Quando il puntatore del mouse viene portato nell'area di lavoro o quando viene spostato all'interno di questa, *SunSim 10* calcola i valori di radiazione solare diretta, diffusa e riflessa per il piano dei moduli orientato secondo la posizione del puntatore.

I valori possibili per l'inclinazione del piano dei moduli  $\beta$  sono compresi tra 0° e 90°, mentre quelli di azimut  $\alpha$  devono essere compresi tra 0° e 360° (ossia tra -180° e +180° rispetto a Sud). Questa possibilità di operare su tutto il diagramma consente di simulare anche inclinazioni verso Nord del piano dei moduli

Sovrapposte ai percorsi solari sono inoltre riportate delle curve che raffigurano i limiti delle regioni del diagramma solare per le quali la radiazione diretta non può incidere sul piano dei moduli a causa dell'inclinazione di questo. Si può facilmente verificare che se il piano dei moduli è orizzontale tali curve scompaiono, mentre se è verticale queste prendono la forma di segmenti verticali che escludono tutta la regione di spazio retrostante il piano dei moduli. Per valori intermedi, le curve assumono forme più o meno accentuate a seconda dell'inclinazione, mentre la loro simmetria dipende da quanto l'angolo di azimut si discosta dall'orientamento a Sud. Va comunque osservato che alcune combinazioni di inclinazione e azimut del piano dei moduli non consentono di tracciare per intero tali limiti di incidenza della radiazione diretta.

### Comportamento con una delle modalità di inseguimento solare selezionata

Quanto appena detto vale ovviamente per i sistemi fissi (funzione *No tracking* selezionata). Nel caso in cui sia stata selezionata una delle possibili modalità di inseguimento solare, non è invece possibile scegliere l'orientamento dei moduli, per cui l'area di lavoro, comunque visibile, non consente di svolgere alcuna operazione.

I valori di radiazione solare sul piano dei moduli sono comunque calcolati solo quando il puntatore viene portato nell'area di lavoro.

Inoltre, selezionando una delle modalità di inseguimento solare, la figura in alto a destra si mette in movimento e mostra l'orientamento che assume il piano dei moduli nel corso della giornata durante ciascun mese dell'anno.

### Calcolo della radiazione solare diretta

Il calcolo della radiazione solare diretta avviene prendendo in esame separatamente i percorsi solari relativi a singoli mesi. Ciascun percorso solare viene poi considerato come composto da un certo numero di punti, per ciascuno dei quali viene calcolata la radiazione sul piano dei moduli sulla base dei seguenti fattori:

- dati di radiazione solare
- angolo  $\theta$  tra il percorso della radiazione diretta e la normale al piano dei moduli
- torbidità dell'atmosfera

I dati di radiazione solare sono quelli precedentemente caricati per il sito, mentre l'angolo  $\theta$  deve essere calcolato mediante l'espressione:

 $\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\Phi - \sin\delta \cdot \cos\Phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\alpha$  $+ \cos\delta \cdot \cos\Phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\Phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\alpha \cdot \cos\omega$  $+ \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\alpha \cdot \sin\omega$ 

La torbidità dell'atmosfera è calcolata con la formula di Linke:

$$I_{B} = I_{0} \cdot e^{-\delta_{CDA} \cdot T_{L} \cdot am}$$

La formula di Linke permette quindi di calcolare il valore della radiazione solare diretta al suolo  $I_B$ a partire da quella extraatmosferica  $I_0$ . Nella formula interviene ovviamente il valore di Air mass *am*, posto pari a  $1/\sin \theta_h$ , e il coefficiente di torbidità di Linke  $T_L$ , che varia a seconda del sito e della stagione dell'anno e che è possibile selezionare tra valori da 1,5 a 5.0. Esso inizialmente è stato posto costante e pari a 3,0, in quanto quest'ultimo rappresenta il valore medio normalmente utilizzato nei calcoli.

Per il parametro  $\delta_{CDA}$  esistono diverse espressioni. Tra queste è stata scelta quella proposta da Kasten, valida per un ampio intervallo di *am* :

$$\delta_{CDA} = \frac{1}{9,4+0,9\cdot am}$$

Dal punto di vista geometrico, come già sottolineato, i singoli punti delle traiettorie che vanno a comporre i valori mensili della radiazione solare diretta sono considerati nei calcoli solo se non intersecano il diagramma delle ombre, altrimenti i programma azzera i corrispondenti valori di radiazione.

### Calcolo della radiazione diffusa

Il calcolo della radiazione diffusa incidente sul piano dei moduli  $I_D$  tiene conto dell'inclinazione  $\beta$  di questi rispetto al piano orizzontale e si avvale dell'espressione:

$$I_D = I_{D0} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2}$$

Tuttavia, è necessario tenere conto dell'effetto degli oggetti contornanti il sito, ossia degli ombreggiamenti, perché questi riducono la porzione di cielo vista dal piano dei moduli. A questo scopo, lo spazio che circonda il sito è stato suddiviso in 2 porzioni, ciascuna delle quali presenta un'ampiezza azimutale di 180°.

Nella prima di queste, ossia la porzione di spazio antistante il piano dei moduli, la presenza di ostacoli riduce sempre la radiazione diffusa, in quanto la superficie di captazione è comunque orientata in tale direzione.

Per la seconda porzione, ossia quella relativa allo spazio retrostante il piano dei moduli, la presenza di ostacoli si fa sentire solo se la loro altezza angolare  $\beta_h$  è superiore all'inclinazione  $\beta$ , e in questo caso l'effetto è dovuto unicamente alla porzione di cielo che sovrasta l'inclinazione  $\beta$ .

In questo modo è possibile, ad esempio, tenere conto dei moduli appoggiati su superfici verticali, rappresentati tipicamente dai frangisole, i quali presentano  $\beta_h = 90^\circ$  per un angolo azimutale di 180° corrispondente a tutta la zona retrostante il piano dei moduli.

#### Calcolo della radiazione riflessa

Il calcolo della radiazione riflessa incidente sul piano dei moduli  $I_R$  tiene conto dell'inclinazione  $\beta$  di questi rispetto al piano orizzontale e si avvale dell'espressione:

$$I_{R} = \rho \cdot (I_{B} + I_{D}) \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

I valori del coefficiente di albedo  $\rho$ , della radiazione solare diretta  $I_{B}$  e della radiazione solare diffusa  $I_{D}$  variano mese per mese, mentre l'inclinazione del piano dei moduli  $\beta$  rimane costante durante i calcoli.

### Refresh

Questo pulsante permette di ripulire l'area di lavoro da eventuali linee d'ombra che fossero rimaste a seguito dell'apertura di una delle finestre utilizzate da *SunSim 10*.

### Average daily radiation

La tabella Average daily radiation compare quando il mouse entra nel diagramma solare e riporta i valori giornalieri medi mensili di radiazione solare nelle sue componenti diretta, diffusa e riflessa. Nella figura seguente si può vedere un esempio di tale tabella con la colonna dei totali e la riga delle medie annuali. Nell'esempio è stato selezionato kWh come unità di misura dell'energia.

Month	Direct	Diffuse	Reflect.	Total
January	0.696	0.730	0.071	1.498
February	0.943	1.004	0.035	1.981
March	1.662	1.414	0.056	3.132
April	2.284	1.756	0.076	4.116
May	2.684	2.053	0.092	4.828
June	2.999	2.167	0.101	5.267
July	3.214	2.007	0.101	5.323
August	2.885	1.802	0.089	4.775
September	2.331	1.437	0.069	3.836
October	1.519	1.095	0.046	2.660
November	0.854	0.798	0.029	1.681
December	0.601	0.661	0.063	1.325
Average	1.889	1.410	0.069	3.369

Le 12 caselle selezionabili sulla sinistra servono invece a scegliere il mese per il quale è visualizzato l'andamento giornaliero della radiazione solare, come illustrato più avanti.

### Daily trend

SunSim 10 permette di visualizzare l'andamento giornaliero dell'irradianza solare, espressa in  $W/m^2$ , mediante un diagramma che si aggiorna in continuo al variare dell'inclinazione e dell'azimut del sistema di captazione solare. E' possibile selezionare il mese di riferimento mediante le 12 caselle poste alla sinistra della tabella Average Daily Radiation.

Ciascun grafico riporta le curve di irradianza diretta, diffusa, riflessa e totale al variare dell'ora del giorno.

Ad esempio, nel seguito sono riportati i grafici giornalieri per i mesi di dicembre, febbraio, aprile e giugno con inclinazione di 40°, azimut di 140° rispetto a Nord (-40 ° Est guardando verso Sud) e la condizione di ombreggiamento prima vista nel diagramma solare. Si può notare in questo esempio come l'orientamento Sud-Est influenzi l'irradianza diretta, che in questo modo raggiunge il valore massimo prima delle 12 e come la presenza di un'ostruzione ad Est faccia scendere a zero l'irradianza solare diretta nelle primissime ore della giornata nei mesi di aprile e, soprattutto, giugno, in quanto i rispettivi percorsi solari intersecano tale ostruzione.



# Sistema fotovoltaico

La finestra Set-up New PV System per il sistema fotovoltaico si riferisce a tutto ciò che si trova a valle del calcolo dell'energia solare incidente sulla superficie dei moduli fotovoltaici.

La finestra si presenta visualizzando dei valori iniziali che però possono essere facilmente modificati. Da questa finestra è possibile passare alla generazione dei report che includono il sistema fotovoltaico o tornare alla finestra principale.



La finestra si compone di un certo numero di aree nel seguito descritte.

### **Environmental data**

Quest'area è solo informativa e riporta i valori di radiazione solare medi giornalieri per ciascun mese, suddivisi nelle componenti diretta, diffusa e riflessa.

In aggiunta, viene riportato la durata media giornaliera di soleggiamento dall'alba al tramonto, l'irradianza media nei periodi di soleggiamento e la temperatura dell'aria media corrispondente. La velocità del vento si riferisce invece al valore medio annuo.

### Mounting system & Cell temperature

Quest'area riporta il calcolo della temperatura media mensile delle celle fotovoltaiche durante il giorno nei periodi di soleggiamento. Questi valori sono utilizzati nei calcoli successivi, in particolare per le perdite dovute alla temperatura e per le perdite nei collegamenti lato DC. È possibile selezionare 3 diversi sistemi di montaggio:

È possibile selezionare 3 diversi sistemi di montaggio:

- Free standing tipico per gli impianti su strutture inclinate a terra o su terrazzo dove l'aria è libera di circolare sul fronte o retro dei moduli FV.
- Ventilated Roof applicabile alle installazioni in cui i moduli FV sono sovrapposti a una superficie inclinata e nell'intercapedine può circolare l'aria.
- Non ventilated roof per tutti i casi in cui i moduli FV sono a intimo contatto con un'altra superficie o comunque non vi è circolazione d'aria sul retro.

*SunSim 10* tiene conto della velocità del vanto media dichiarata per il sito, ma è possibile che una determinata installazione sia lambita solo in modo attenuato del movimento dell'aria. Di conseguenza, in alcuni casi potrebbe essere poco realistico considerare la velocità del vento nominale per il sito, la quale normalmente è misurata a 10 m di altezza in una zona priva di ostacoli. Tramite

le caselle sotto la dicitura Wind force è allora possibile utilizzare nei calcoli il 70% o il 30% del valore nominale, pur permettendo di lasciare il 100% quando le circostanze lo consentono. La temperatura di cella Tc è calcolata mediante la formula:

$$Tc = Ta + k \cdot \frac{3.8}{9.81 + 2 \cdot Wv} \cdot Gi$$

Nella quale Wv è la velocità del vento in m/s, k è il coefficiente che tiene conto del tipo di installazione e Gi è l'irradianza complessiva incidente sul piano dei moduli FV. La formula utilizzata da SunSim 10 è leggermente diversa da quella normalmente riportata in letteratura, al fine di renderla consistente con la definizione di NMOT della IEC 61215-1, la quale considera una velocità del vento di 1 m/s (in aggiunta a  $Gi = 800 \text{ W/m}^2$  e Ta = 20 °C) e k = 1 (condizione Free standing). Le condizioni Ventilated roof e Non ventilated roof sono invece simulate utilizzando dei valori crescenti di k, rispettivamente pari a 1,35 e 1,80.

La temperatura di cella *Tc* è calcolata per ogni mese e riportata graficamente all'interno dell'area.

### Losses for non STC cell temperature

La temperatura di cella media calcolata mese per mese è utilizzata in quest'area per calcolare le perdite medie mensili dovute alla temperatura di cella differente dalle condizioni STC. Ovviamente, nei casi in cui la temperatura di cella è inferiore, evento possibile nei mesi invernali, si ottiene un guadagno anziché una perdita.

Il calcolo richiede la conoscenza del coefficiente di temperatura  $\gamma$ , espresso come percentuale su grado centigrado (riportato nel data-sheet del modulo FV utilizzato), selezionabile mediante l'apposita barra di scorrimento. La potenza ricavabile Pm' viene quindi modificata rispetto a quella che non tiene conto dell'effetto della temperatura Pm nel modo seguente.

$$Pm' = Pm \cdot [1 + \gamma_{\%} \cdot (Tc - 25)/100]$$

### Losses for PV string mismatch

In quest'area è possibile inserire le perdite per string mismatch medie annue tramite un'apposita barra di scorrimento.

In assenza di ombreggiamenti parziali queste perdite sono normalmente molto basse e normalmente non superano lo  $0,4\div0,5\%$ . Nel caso di moduli AC o moduli FV con ottimizzatore della potenza tali perdite sono pari a zero.

Invece, se siamo in presenza di stringhe e queste subiscono degli ombreggiamenti parziali significativi, le perdite per mismatch assumono valori consistenti, tipicamente superiori all'1%.

### Losses in DC strings

Queste perdite si riferiscono alle singole stringhe fotovoltaiche fino all'arrivo al quadro di parallelo stringhe o all'inverter. Per ottenere dei valori attendibili è quindi necessario introdurre la tensione nominale della stringa nel punto di massima potenza Um, la corrente nel punto di massima potenza Im e la lunghezza del percorso L in metri, intesa come distanza tra la stringa e il punto di arrivo (non come lunghezza complessiva del cavo).

La tensione Um e la lunghezza L devono essere introdotte senza punti decimali, mentre invece la corrente lm può avere la parte frazionaria. Questo perché il valore della lm è normalmente di qualche ampere, per cui non è possibile approssimarlo con un valore intero. I valori di Um e lm sono ricavati

direttamente dal data-sheet del modulo fotovoltaico impiegato. Ovviamente Um deve essere moltiplicato per il numero di moduli in serie che compongono la stringa.

E' inoltre necessario selezionare la sezione del cavo, inteso come cavo in rame, tra una serie di valori normalizzati compresi tra 1.5 e 240 mm<sup>2</sup>. Alla fine occorre premere Calc per calcolare le perdite.

E' importante sottolineare che nei calcoli si tiene conto del fatto che la corrente media di stringa è una frazione della *lm*, pari alla potenza media incidente durante il periodo di soleggiamento divisa per l'irradianza di riferimento a STC (1000 W/m<sup>2</sup>). Pertanto, *SunSim 10* non calcola le perdite alla portata nominale ma ad una portata media pesata rappresentativa del periodo di produzione per la giornata.

SunSim 10 tiene inoltre conto delle variazioni di tensione e corrente per effetto della temperatura di cella differente dal valore STC. All'aumentare della temperatura la tensione di stringa diminuisce apprezzabilmente, mentre la corrente di stringa aumenta (anche se in misura molto minore rispetto alla tensione). In generale quindi, la tensione e la corrente di stringa da utilizzare nei calcoli delle perdite non sono quelle nominali ma quelle variate per effetto della temperatura. Di questi effetti si tiene conto mediante i coefficienti  $\beta$  per la tensione e  $\alpha$  per la corrente che è possibile modificare mediante apposite barre di scorrimento.

In definitiva quindi, la tensione e la corrente medie di stringa sono modificate come segue (si noti che *SunSim 10* effettua tale calcolo per ciascun mese dell'anno).

 $Um' = Um \cdot [1 + \beta_{\%} \cdot (Tc - 25)/100]$ 

 $Im' = Im \cdot [1 + \alpha_{\%} \cdot (Tc - 25)/100]$ 

Inoltre, *SunSim 10* tiene in parte conto dell'aumento della resistenza dei cavi con la temperatura. Un calcolo preciso richiederebbe informazioni aggiuntive sui percorsi cavi, in quanto la sovratemperatura dovuta al passaggio di corrente dipende anche dalle caratteristiche del cavo e di quanto lo circonda (posa in aria, in canale, in fascio, ecc.). Non essendo realistico ipotizzare un tale livello di dettaglio e osservando che normalmente i cavi di stringa sono sovradimensionati come portata, per cui la sovratemperatura dovuta al passaggio della corrente è limitata, con un certo grado di approssimazione la temperatura dei cavi è stata posta uguale a quella ambiente. E' comunque stato posto un limite di 20 °C, al di sotto del quale si considera comunque una temperatura di 20 °C. Pertanto, i valori di resistività a 20 °C sono quelli forniti dai costruttori di cavi, mentre si considera un aumento pari a +0,393 %/°C per temperature superiori. Anche in questo caso il calcolo è effettuato mensilmente.

NOTA: I calcoli effettuati da *SunSim 10* sono finalizzati al calcolo della resa energetica e infatti fanno uso dei valori medi pesati nella giornata dei vari parametri. I risultati ottenuti non sono quindi direttamente applicabili al dimensionamento dell'impianto FV e dei suoi componenti, operazione questa che invece richiede la conoscenza e il calcolo delle condizioni limite di funzionamento per materiali, componenti e apparati.

### Losses in DC lines after parallel of strings

Quest'area è utilizzata nel caso in cui le stringhe confluiscono in un quadro di parallelo dal quale si diparte una linea in corrente continua verso l'inverter.

E' allora possibile specificare da quante stringhe è formato il parallelo (N. of strings), la lunghezza della linea verso l'inverter (L [m]) e la sua sezione. La tensione e la corrente di stringa, modificate per effetto della temperatura e utilizzate in questi calcoli, sono quelle già precedentemente introdotte per il calcolo delle perdite nelle stringhe.

### Average inverter efficiency

In quest'area è possibile specificare l'efficienza media dell'inverter mediante un'apposita barra di scorrimento. I costruttori forniscono in genere il Rendimento Europeo o quello Californiano i quali hanno comunque valori molto simili. Dovendo scegliere, tra i due conviene utilizzare quello che meglio interpreta le caratteristiche del sito considerato.

### Average AC losses & miscellaneous

In quest'area è possibile inserire le perdite dovute alle linee e ai componenti presenti sul lato AC, come ad esempio i trasformatori e i quadri sia BT che MT.

Inoltre, è possibile utilizzare quest'area anche per conteggiare a forfait fonti di perdita differenti da quelle precedentemente elencate.

### Performance Ratio – PR

Quest'area riporta numericamente e graficamente il Performance Ratio su base mensile dell'impianto, calcolato considerando tutte le fonti di perdita presenti nella finestra. E' inoltre riportato il valore medio annuo pesato del PR e la resa complessiva annua per kWp installato.

Facendo uso del tasto Yield si apre la seguente finestra, che fornisce la resa dell'impianto mese per mese.



In questa finestra è possibile scegliere se considerare tutti i mesi di uguale lunghezza, utile per effettuare confronti e valutazioni energetiche, o invece tenere conto della loro lunghezza reale (più adatto a rendiconti di tipo economico o amministrativo).

# Reports

*SunSim 10* permette di ottenere dei report utilizzabili dai programmi di elaborazione testi e dai fogli elettronici, in quanto è in grado di produrre file .RTF (Rich Text Format) e .CSV (Comma-Separated Values).

Quando nella finestra Set-up new PV system si preme il tasto Report appare la finestra Save Reports and Data, tramite la quale è possibile ottenere un report che include il sistema fotovoltaico.

av	e reports and data
	Sun paths have been copied in the Clipboard
	PV system will be included into reports
	Save RTF
	Save CSV - Dot (.) as decimal separator
	Save CSV - Comma (,) as decimal separator

Invece, quando nell'area di lavoro viene azionato il pulsante sinistro del mouse o il tasto <**Return>** appare la stessa finestra, la quale però genera un report che non include il sistema fotovoltaico. Tramite la finestra *Save Reports and Data* è possibile salvare i report che interessano, e cioè:

Save RTF	File leggibile da qualsiasi word processor (es. MS Word)
Save CSV - Dot (.) as decimal separator	File leggibile da qualsiasi foglio elettronico (es. MS Excel) con il punto che separa la parte decimale dalla parte intera e i valori separati tra loro dalla virgola (standard anglosassone)
Save CSV - Comma (,) as decimal separator	File leggibile da qualsiasi foglio elettronico (es. MS Excel) con la virgola che separa la parte decimale dalla parte intera e i valori separati tra loro dal punto (standard italiano)

Negli appunti è invece salvata l'area di lavoro, come nell'esempio rappresentato dalla figura seguente.



Il file .RTF contiene i dati utilizzati da *SunSim 10* e la tabella dei valori medi mensili di radiazione solare ottenuti, come nell'esempio seguente che include anche il sistema fotovoltaico.

#### SUNSIM 10 - Simulation report

#### Input data of the site

Sun data:	Classic PVGIS - Roma - I
Latitude:	41.9° N
Average shading:	5°
Average albedo:	26 %

Month	JAN	1	FEB	MA	र	APR	MA	Y	JUN	JUL	-	AUG	SEF	<b>)</b> (	ост	NO	/	DEC
Dir [kWh/d]	0.75	0	1.056	1.94	4	2.833	3.47	2	3.972	4.16	7	3.583	2.72	2 1	.694	0.91	7 (	0.639
Diff [kWh/d]	0.88	9	1.222	1.72	2	2.139	2.50	0	2.639	2.44	4	2.194	1.75	0 1	.333	0.97	2 (	0.806
Azimuth [°]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	0 110	120	130	140	150	160	170
Shading [°]	4	3	3	2	3	4	4	3	3	4	3	2	2	6	4	4	3	4
Azimuth [°]	180	190	200	210	220	0 230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
Shading [°]	5	8	8	9	9	13	16	13	10	7	6	9	10	5	2	1	2	2
Month	JAN	1	FEB	MAI	र	APR	MA`	Y	JUN	JUL	-	AUG	SEF	>   (	ост	NO	/	DEC
Albedo	0.50	)	0.26	0.26	5	0.26	0.26	5	0.23	0.20	)	0.20	0.20	0	0.23	0.26	6	0.26
																	•	
Month	JAN	1	FEB	MA	र	APR	MA	Y	JUN	JUL	-	AUG	SEI	5 (	OCT	NO		DEC
Day T [°C]	12		13	16		19	23		28	31		30	27		22	17		13

Yearly average wind speed = 3 m/s

#### Input data of the PV system

Tilt:	24.0° N
Azimuth:	210.0°
Limit angle:	5.0°
mounting type:	Ventil. roof
Wind effectiveness:	70 %
Temperature coefficient (power):	-0.40 %/K
Temperature coefficient (voltage):	-0.35 %/K
Temperature coefficient (current):	0.1 %/K
PV string mismatch:	0.21 %
PV strings:	Um = 660 V Im = 7.89 A Lenght = 60 m
	Cable cross_section = 2.5 mm2 r = 16.4200 mOhm/A m
DC lines after parallel:	Number of strings in parallel = 12 Lenght = 45 m
	Cable cross_section = 25 mm2 r = 1.5900 mOhm/A m
Avg inverter efficiency:	97.0 %
AC losses & others	1.0 %

Month	Beam	Diffuse	Reflected	Total	Daytime	Avg power
	[kWh/d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[kWh/d]	[h]	[W]
January	1.192	0.828	0.034	2.054	9.4	218
February	1.429	1.139	0.024	2.592	10.6	244
March	2.372	1.605	0.039	4.016	12.0	336
April	3.062	1.993	0.053	5.107	13.4	381
Мау	3.438	2.329	0.063	5.830	14.6	400
June	3.811	2.459	0.062	6.332	15.1	421
July	4.116	2.277	0.054	6.447	14.6	441
August	3.865	2.045	0.047	5.957	13.4	443
September	3.320	1.630	0.037	4.987	12.0	416
October	2.318	1.242	0.028	3.588	10.6	340
November	1.468	0.906	0.020	2.393	9.4	255
December	1.094	0.751	0.015	1.860	8.9	208
Average	2.624	1.600	0.040	4.264	12.0	342

### Calculated average radiation per day [kWh/d]

#### Average daily PV cell temperature [°C]

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T cell [°C]	21	23	29	34	39	44	48	47	43	35	27	21

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	ОСТ	NOV	DEC
Temperature	1.8	1.0	-1.7	-3.6	-5.5	-7.8	-9.3	-8.9	-7.3	-4.1	-0.8	1.5
Mismatch	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
PV strings	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
DC lines	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2
Inverter	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0
AC & others	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

#### Calculated average losses of the PV system [%]

#### Performance ratios [%]

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	ОСТ	NOV	DEC
PR [%%]	97.1	96.3	93.5	91.6	89.7	87.5	85.9	86.3	87.9	91.2	94.5	96.9

#### Monthly Yield [kWhkWp]

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	ОСТ	NOV	DEC
Equal lenght	60.7	75.9	114.3	142.4	159.2	168.5	168.6	156.4	133.5	99.6	68.9	54.8
True lenght	61.8	70.5	116.4	140.4	162.2	166.1	171.8	159.3	131.5	101.4	67.9	55.9

Yearly weighted average PR:	90.1 %
Annual Yield:	1403.0 kWh/kWp

Il file .CSV contiene i dati utilizzati da *SunSim 10,* e i risultati della simulazione, analogamente a quanto contenuto nel file .RTF.

În più, il file .CSV contiene anche la tabella dei valori medi mensili di radiazione solare ottenuti e i valori medi orari di radiazione solare nelle sue componenti diretta, diffusa e riflessa.

# Appendici

### Tipi di file gestiti da SunSim 10

<filename>.SIT</filename>	File contenente la latitudine e i valori di radiazione solare giornaliera media mensile per un dato sito non incluso nell'elenco proposto dal programma
<filename>.HOR</filename>	File contenente i valori degli angoli delle ostruzioni ai percorsi solari relativamente a un dato punto di osservazione
<filename>.ALB</filename>	File contenente i coefficienti di albedo da utilizzare per il calcolo della radiazione riflessa suddivisi su base mensile
<filename>.PVS</filename>	File contenente i dati relativi all'impianto fotovoltaico, con eccezione dell'inclinazione e dell'orientamento dei moduli fotovoltaici, i quali sono scelti dall'utente direttamente sul diagramma dei percorsi solari
<filename>.RTF</filename>	File di report leggibile da un word processor
<filename>.CSV</filename>	File di report leggibile da un foglio elettronico

### File facenti parte del pacchetto software

SunSim.exe	Programma eseguibile
Protection.txt	File contenente i 3 caratteri da digitare per abilitare il funzionamento del programma
Licence.PDF	Licenza d'uso del programma
SunSim_Manual.PDF	Manuale d'uso di <i>SunSim 10</i>

### Riferimenti

IEC 61215-1 – Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements

IEC 61215-2 – Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures

IEC 60891 – Photovoltaic devices - Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics

IEC 61724-1 – Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring

UNI 10349-1:2016 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici

M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe (2013) – Performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean Climate – ELSEVIER

G. A. Migan (2013) – Study of the operating temperature of a PV module

A.Virtuani, D. Pavanello, G. Friesen (2010) – Overview of Temperature Coerfficients of Different Thin Film Photovoltaic Technologies

F. Groppi, C. Zuccaro – Impianti solari fotovoltaici a norme CEI – Editoriale Delfino https://re.jrc.ec.europa.eu