



## **SunSim 8.0 – Manuale d'uso**

### **Introduzione**

Il programma *SunSim 8.0* 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, anche se il programma è 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.

### **Metodo di calcolo**

*SunSim 8.0* 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 8.0*, 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.

L'intero programma è scritto in linguaggio C.

### **Requisiti minimi di sistema**

Il programma *SunSim 8.0* 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 8.0* 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 quale ad esempio un CD o un memory stick.

Dal sito [www.sunsim.it](http://www.sunsim.it) è comunque scaricabile la versione di test del programma, denominata *SunSimTest.exe*. Si consiglia di provare preliminarmente tale versione di test sul proprio PC al fine di verificare che tutti i requisiti richiesti siano verificati. In Appendice sono inoltre riportati i problemi che è stato possibile riscontrare in alcuni casi.

## Installazione

*SunSim 8.0* 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.

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 8.0* 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* →.

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 8.0* 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

Il programma *SunSim 8.0* 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 e l'albedo.

Nel seguito saranno prese in considerazione le singole parti della finestra di lavoro principali e le varie sottofinestre 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*
- *MJ/kWh*
- *Limit angle*
- *Tracking area*

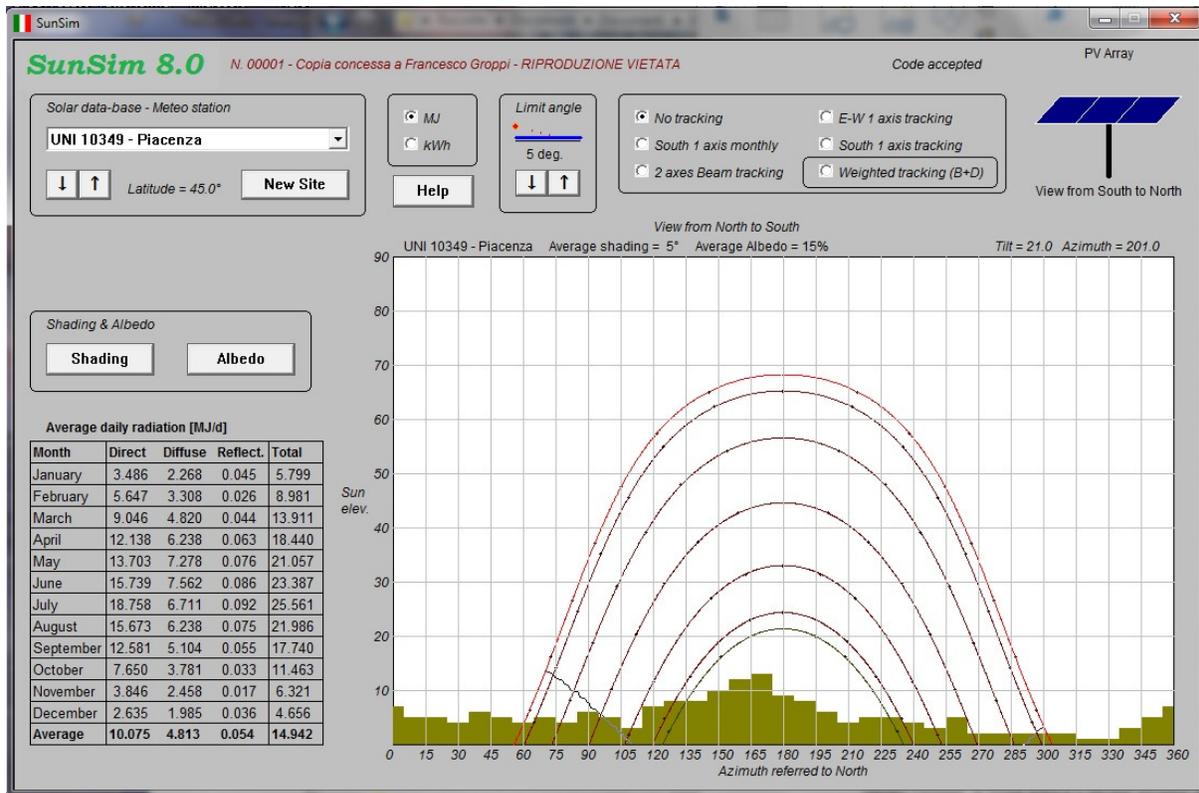
Vi è inoltre l'area di lavoro con i percorsi solari:

- *View from North to South*

Ed infine sono presenti un'area che riporta i risultati e un'area che permette di capire l'orientamento dell'array mediante una semplice animazione:

- *PV array – View from South to North*
- *Average daily radiation*

La figura seguente riporta un esempio di schermata principale.



### Solar data-base – Meteo station

Tramite il menu a tendina è possibile selezionare i dati di radiazione diretta e diffusa sul piano orizzontale per la località desiderata. Questi valori si riferiscono a quanto riportato nella norma UNI 10349 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 sono relativi alle 101 provincie italiane di seguito riportate.

- |               |           |                    |
|---------------|-----------|--------------------|
| Agrigento     | Genova    | Pistoia            |
| Alessandria   | Gorizia   | Pavia              |
| Ancona        | Grosseto  | Potenza            |
| Aosta         | Imperia   | Ravenna            |
| Ascoli Piceno | Isernia   | Reggio di Calabria |
| L'Aquila      | Crotone   | Reggio nell'Emilia |
| Arezzo        | La Spezia | Ragusa             |
| Asti          | Lecco     | Rieti              |
| Avellino      | Lodi      | Roma               |
| Bari          | Lecce     | Rimini             |
| Bergamo       | Livorno   | Rovigo             |
| Belluno       | Latina    | Salerno            |
| Benevento     | Lucca     | Siena              |
| Bologna       | Macerata  | Sondrio            |
| Brindisi      | Messina   | Siracusa           |
| Brescia       | Milano    | Sassari            |
| Bolzano       | Mantova   | Savona             |

Cagliari	Modena	Taranto
Campobasso	Massa-Carrara	Teramo
Caserta	Matera	Trento
Chieti	Napoli	Torino
Caltanissetta	Novara	Trapani
Cuneo	Nuoro	Terni
Como	Oristano	Trieste
Cremona	Palermo	Treviso
Cosenza	Padova	Udine
Catania	Parma	Varese
Catanzaro	Perugia	Verbania
Enna	Pescara	Vercelli
Ferrara	Piacenza	Venezia
Foggia	Pisa	Vicenza
Firenze	Pordenone	Verona
Forlì	Prato	Viterbo
Frosinone	Pesaro e Urbino	

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

Per seguenti 3 siti il riferimento è invece rappresentato dal metodo di calcolo PVGIS-Helioclim.

Doha (Q)

Dubai (UAE)

Riyad (KSA)

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

Aosta

Milano

Genova

Ancona

Pescara

Napoli

Lecce

Palermo

Sassari

Bolzano

Padova

Bologna

Perugia

Roma

Potenza

Cosenza

Catania

Cagliari

Torino

Udine

Firenze

Grosseto

Campobasso

Bari

Reggio Calabria

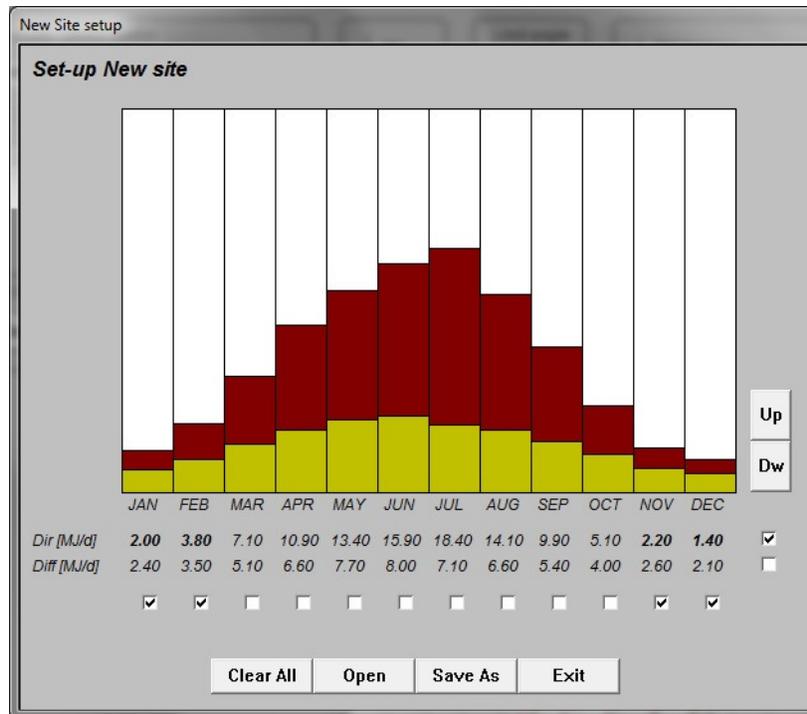
Ragusa

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

Tramite i pulsanti contrassegnati con le frecce ↓ e ↑ 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 di radiazione solare a partire da un sito esistente.

Il pulsante *New Site* permette di personalizzare i valori di radiazione solare diretta e diffusa mediante un'apposita finestra di dialogo visibile nella figura seguente.



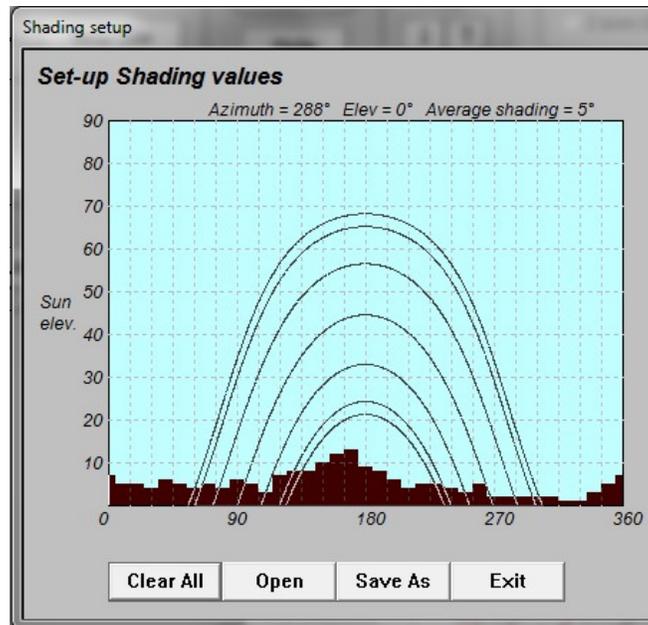
Per mezzo dei pulsanti **Up** e **Dw** è possibile incrementare o diminuire i valori di radiazione giornaliera media mensile diretta e diffusa. I valori da modificare sono scelti mediante una griglia di selezione attuata mediante delle caselle poste in corrispondenza sia dei mesi dell'anno che della 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.

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.

## 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.



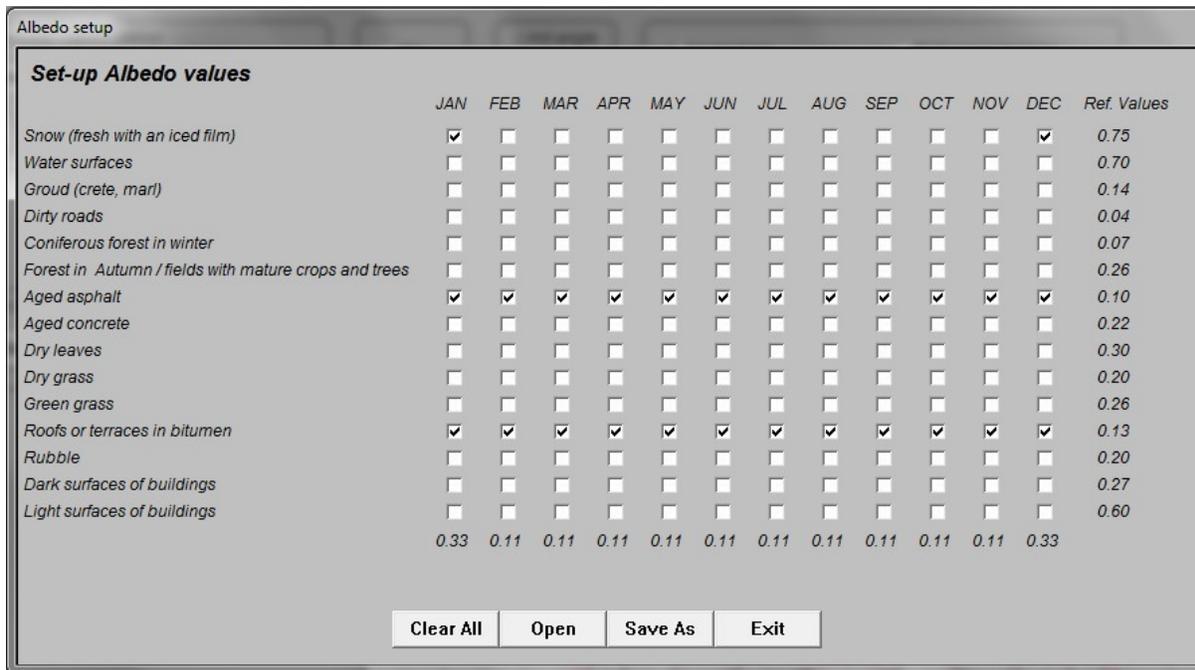
La finestra consente di salvare i nuovi valori impostati in appositi file .HOR e di aprire i file esistenti per recuperare i dati precedentemente salvati.

### Albedo

Il programma *SunSim 8.0* 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.



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 8.0* propone un valore di 5°, lasciando la possibilità di variare tale valore tra 0° 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 il file di risultati e copiano il diagramma solare negli appunti.

### Tracking area

Nella cosiddetta 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. Inoltre l'utilizzo dei valori medi mensili di radiazione solare, anziché dei valori orari potrebbe introdurre distorsioni nei calcoli difficili da quantificare. I risultati ottenuti per mezzo delle simulazioni con i sistemi ad inseguimento solare hanno quindi un valore indicativo e dovrebbero essere ulteriormente affinati in fase di progetto.

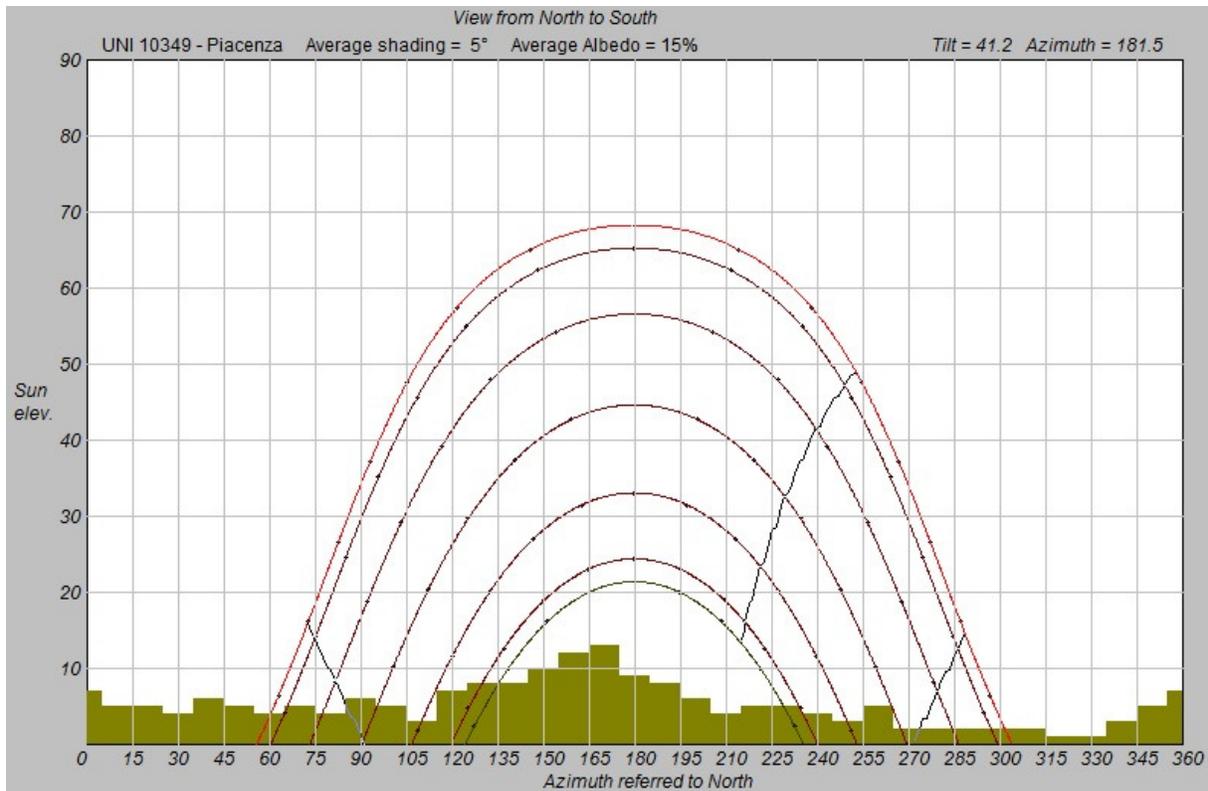
Le modalità di inseguimento solare utilizzabili con *SunSim 8.0* sono le seguenti:

<i>No tracking</i>	Funzionamento normale senza inseguimento (scelta di default)
<i>E-W 1 axis tracking</i>	Inseguimento del disco solare con struttura monoassiale orientabile da Est a Ovest, facendo quindi ruotare il piano dei moduli fotovoltaici sull'asse Nord-Sud
<i>South 1 axis monthly</i>	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
<i>South 1 axis tracking</i>	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
<i>2 axes beam tracking</i>	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 8.0*. 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.

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

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

Dove:

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

$$\omega = 15 \cdot t + \Delta\omega - 180 \quad (t \text{ è il tempo in ore e } \Delta\omega \text{ dipende dalla longitudine del sito})$$

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 8.0* (presente anche nelle precedenti edizioni) 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  $90^\circ$ . 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 8.0* 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  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , mentre quelli di azimut  $\alpha$  devono essere compresi tra  $0^\circ$  e  $360^\circ$  (ossia tra  $-180^\circ$  e  $+180^\circ$  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:

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sin \delta \cdot \sin \Phi - \sin \delta \cdot \cos \Phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \\ &+ \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \Phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \omega \\ &+ \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega\end{aligned}$$

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  $1/\sin \theta_n$ , e il coefficiente di torbidità di Linke, variabile a seconda del sito e della stagione dell'anno, ma che per ragioni di semplicità è stato posto costante e pari a 3, considerato quest'ultimo come valore medio normalmente utilizzato.

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 il 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  $180^\circ$ .

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  $180^\circ$  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.

#### **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.

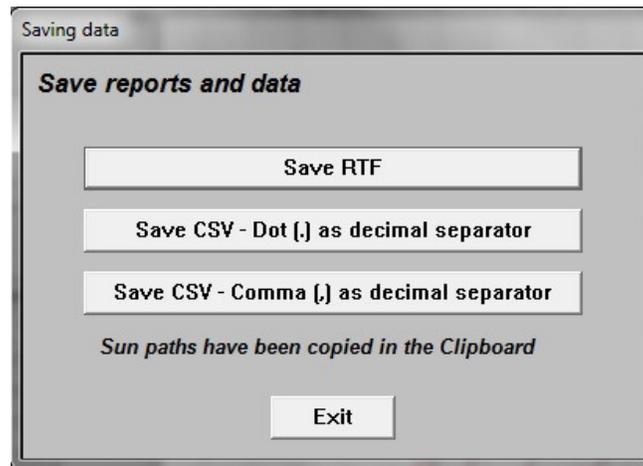
Nella figura seguente si può vedere un esempio di tale tabella con la colonna dei totali e la riga delle medie annuali. Nell'esempio è stato selezionato *kWh* come unità di misura dell'energia.

Average daily radiation [kWh/d]				
Month	Direct	Diffuse	Reflect.	Total
January	1.362	0.606	0.026	1.994
February	1.773	0.884	0.014	2.671
March	2.702	1.288	0.023	4.014
April	3.433	1.667	0.034	5.133
May	3.726	1.945	0.040	5.711
June	4.325	2.021	0.047	6.392
July	5.099	1.793	0.049	6.941
August	4.429	1.667	0.040	6.136
September	3.755	1.364	0.029	5.148
October	2.595	1.010	0.018	3.624
November	1.485	0.657	0.010	2.151
December	1.122	0.530	0.021	1.674
<b>Average</b>	<b>2.984</b>	<b>1.286</b>	<b>0.029</b>	<b>4.299</b>

## Reports

*SunSim 8.0* 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).

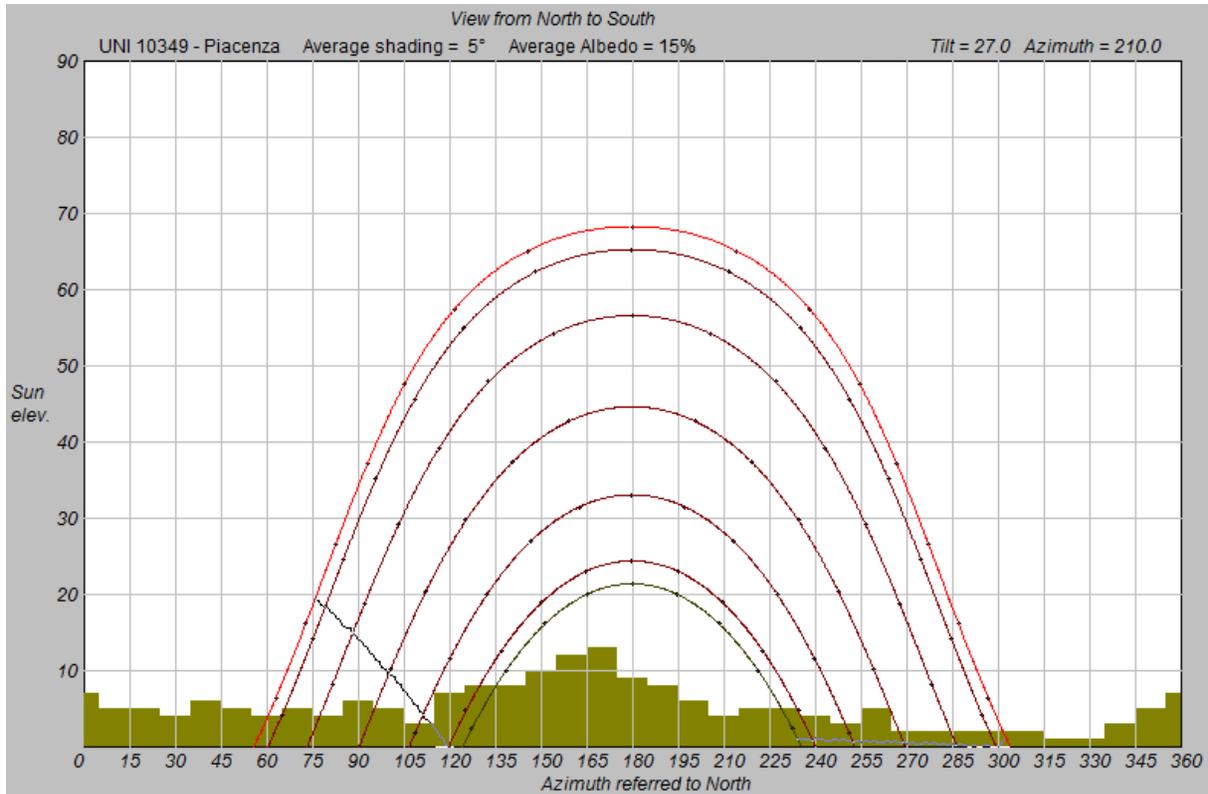
Quando nell'area di lavoro viene azionato il pulsante sinistro del mouse o il tasto <Return> appare la finestra seguente.



Tramite la finestra *Save Reports and Data* è possibile salvare i report che interessano, e cioè:

Save RTF	File leggibile da qualsiasi word processor
Save CSV - Dot (.) as decimal separator	File leggibile da qualsiasi foglio elettronico 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 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 8.0* e la tabella dei valori medi mensili di radiazione solare ottenuti, come nell'esempio seguente.

### SUNSIM 8.0 - Simulation report

#### Input data of the site

Sun data:                    UNI 10349 - Piacenza  
 Latitude:                    45.0° N  
 Average shading:            5°  
 Average albedo:            15 %

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Dir [MJ/d]	2.000	3.800	7.100	10.900	13.400	15.900	18.400	14.100	9.900	5.100	2.200	1.400
Diff [MJ/d]	2.400	3.500	5.100	6.600	7.700	8.000	7.100	6.600	5.400	4.000	2.600	2.100

Azimuth [°]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Shading [°]	7	5	5	4	6	5	4	5	4	6	5	3	7	8	8	10	12	13

Azimuth [°]	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
Shading [°]	9	8	6	4	5	5	4	3	5	2	2	2	2	2	1	1	3	5

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Albedo	0.33	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.33

### Input data of the PV array

Tilt: 27.0° N  
Azimuth: 220.0°  
Limit angle: 5.0°

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

Month	Beam [MJ/d]	Diffuse [MJ/d]	Reflected [MJ/d]	Total [MJ/d]
January	3.490	2.208	0.074	5.772
February	5.570	3.220	0.043	8.833
March	8.884	4.692	0.072	13.648
April	11.868	6.071	0.104	18.043
May	13.344	7.083	0.125	20.553
June	15.321	7.359	0.141	22.822
July	18.265	6.531	0.151	24.947
August	15.322	6.071	0.123	21.516
September	12.354	4.968	0.091	17.412
October	7.550	3.680	0.054	11.283
November	3.844	2.392	0.028	6.264
December	2.650	1.932	0.059	4.641
<b>Average</b>	<b>9.872</b>	<b>4.684</b>	<b>0.089</b>	<b>14.645</b>

---

Il file .CSV contiene i dati utilizzati da *SunSim 8.0*, 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.

Nel seguito è riportato un esempio di tale tabella nella quale, per ragioni di spazio è stata troncata la riga dei valori di ombreggiamento.

Si può notare che nell'esempio si è volutamente introdotto un orientamento del piano dei moduli di +40° rispetto a Sud (azimut = 220°). Questo spostamento a Ovest influisce sui valori orari più elevati di radiazione solare diretta che tendono a spostarsi verso le ore pomeridiane.



## Appendice

### Tipi di file gestiti da SunSim 8.0

<filename>.SIT	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	File contenente i valori degli angoli delle ostruzioni ai percorsi solari relativamente a un dato punto di osservazione
<filename>.ALB	File contenente i coefficienti di albedo da utilizzare per il calcolo della radiazione riflessa suddivisi su base mensile
<filename>.RTF	File di report leggibile da un word processor
<filename>.CSV	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 8.0</i>

### Possibili problemi di utilizzo in alcune tipologie di PC

Benché SunSim 8.0 sia stato realizzato allo scopo di avere la più ampia diffusione possibile su svariati tipi di PC e versioni del sistema operativo Microsoft Windows, in alcuni casi sono stati rilevati i problemi di compatibilità elencati nel seguito.

#### Windows 8.0 e Windows 8.1

In alcune installazioni di queste versioni di Windows non risulta presente la libreria msvc100.dll, la quale è spesso utilizzata dai programmi scritti in C, tra cui SunSim 8.0. In questi casi si può rimediare aggiungendo il file corretto nella cartella di sistema oppure installando Microsoft Visual C++ 2010 (gratuito).

#### Windows XP

Su questa versione di Windows non si segnalano problemi di funzionamento, ma l'icona del programma non è sempre interpretata correttamente e in questi casi il sistema operativo la rappresenta con l'icona di default per i programmi di Windows.