

**Seminario tecnico sugli impianti fotovoltaici per amministrazioni ed enti pubblici**  
20 Aprile 2009- Locali dell'ex Comunità montana  
Viale Trieste, 66  
Nuoro - Italia



## La radiazione solare e cenni alle procedure di calcolo

Carla Sanna  
sanna@sardegna ricerche.it



**SARDEGNA  
RICERCHE**

## SOMMARIO

La radiazione solare - generalità

Radiazione al suolo: componenti diretta, diffusa e riflessa

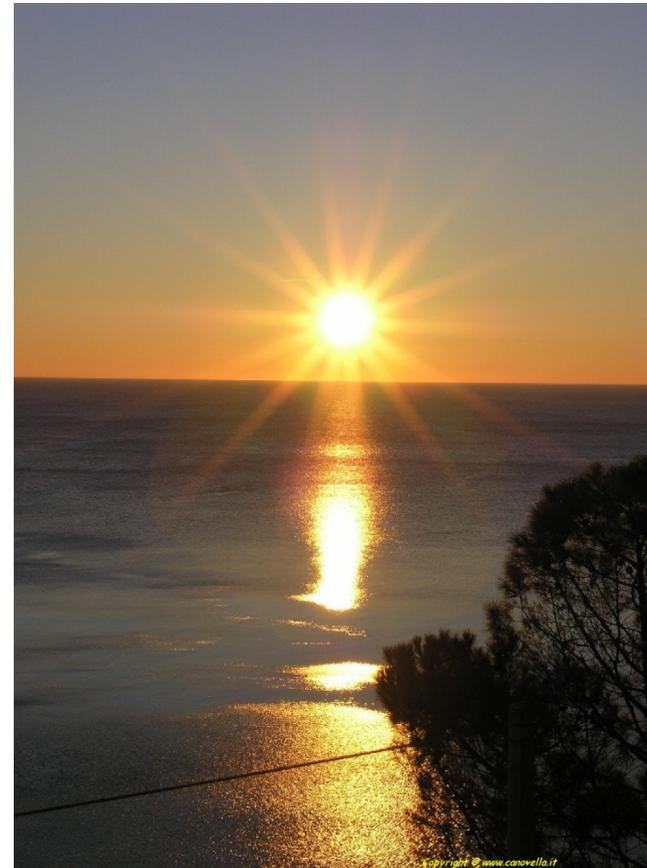
Mappe isoradiative, tabelle di irraggiamento medio e analisi di  
producibilità

Software di analisi: **SUNSIM™**

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)



- L'energia solare è una delle fonti di energia primarie
- Non è esauribile
- Non inquina



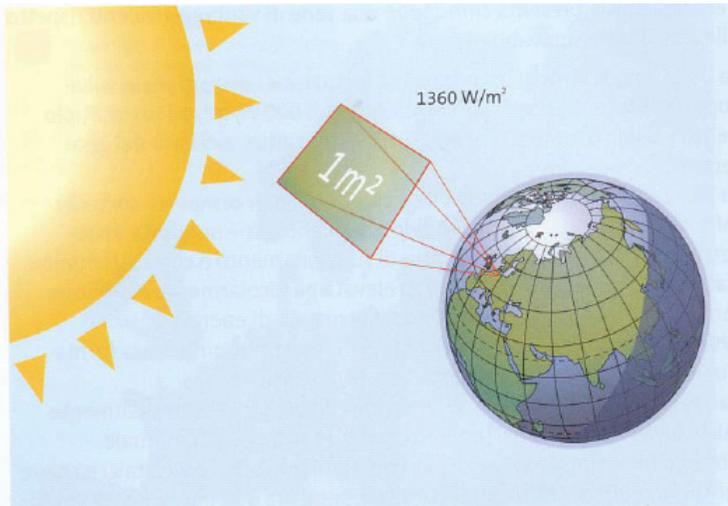
- L'energia irradiata dal sole deriva dai processi di **fusione (termo)nucleare** dell'idrogeno al suo interno



- L'energia solare si propaga simmetricamente nello spazio fino ad investire la terra, in particolare la fascia esterna della atmosfera terrestre



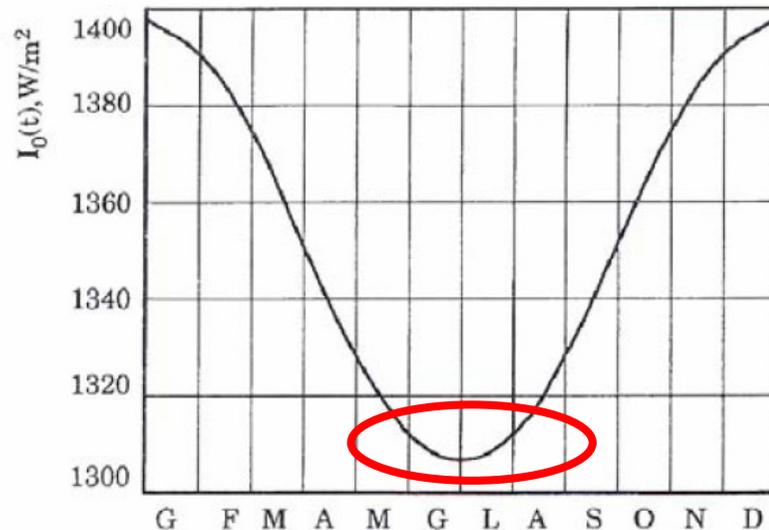
- La potenza irradiata complessivamente dal sole è pari ad oltre **60.000 kW per metro quadrato**
- La potenza disponibile decresce via via che aumenta la distanza dal sole, e dopo aver percorso i circa 150 milioni di km che separano la terra dal sole assume un valore molto più ridotto, di poco superiore ad **1.35 kW/m<sup>2</sup>**



**COSTANTE SOLARE = 1.367 kw/m<sup>2</sup>**

- La costante solare è da intendersi come un **valore medio di riferimento**, perché la potenza che raggiunge la fascia esterna della atmosfera terrestre in realtà **oscilla**, principalmente a causa della variazione periodica della distanza terra sole

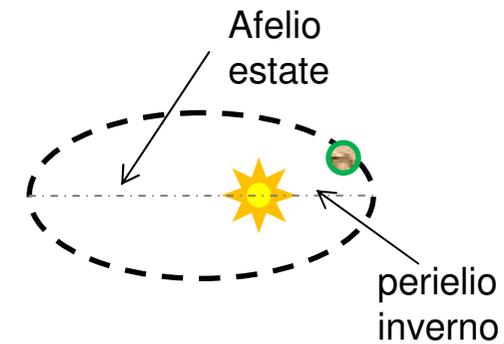
## Andamento annuale della radiazione solare extraatmosferica



**mesi estivi**



l'orbita della terra ha forma ellittica



**Nei mesi di giugno e luglio  
la distanza terra-sole è massima**

Nei mesi **estivi** nonostante la maggior distanza terra-sole l'a radiazione incide a  $90^\circ$  nel nostro emisfero quindi attraversa il minor spessore di atmosfera ( $AM=1$ )

Nei mesi **invernali** anche se la distanza terra-sole è minima la radiazione incide a con angoli  $>90^\circ$  e quindi attraversa uno **spessore maggiore** di atmosfera. ( $AM >1$ )

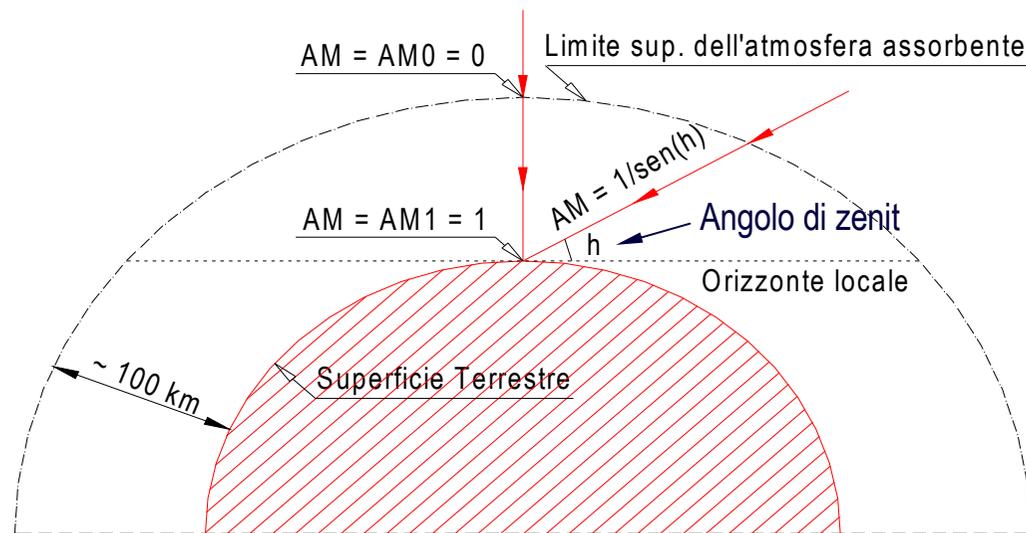


Per quantificare la diversa entità della radiazione, in funzione della posizione del sole, si fa spesso riferimento al concetto di:

Air Mass 'AM' → Rapporto tra la lunghezza del percorso effettivo dei raggi solari e la lunghezza del loro percorso più breve →  $AM = 1 / \sin(h)$  dove  $h$  è l'angolo di zenit;

Air Mass One 'AM1' → condizione di AM in condizioni di atmosfera standard, valutato sulla superficie terrestre e misurato al livello del mare;

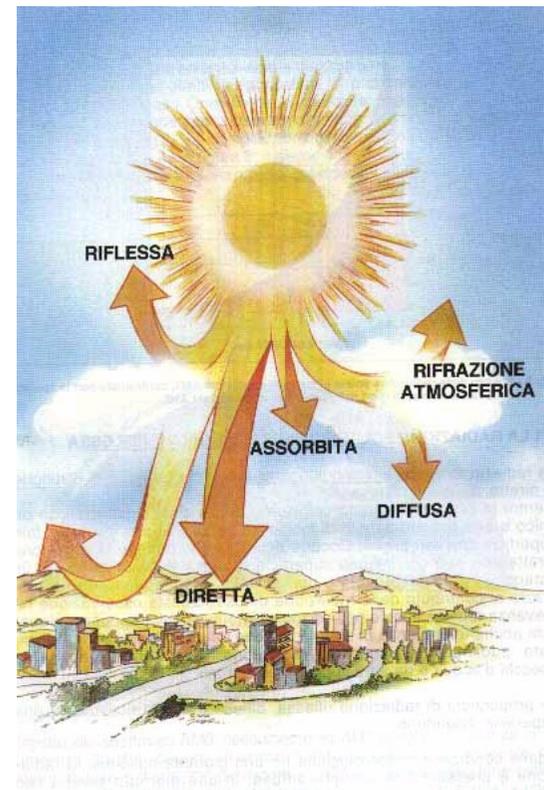
Air Mass Zero 'AM0' → condizione di AM fuori l'atmosfera.



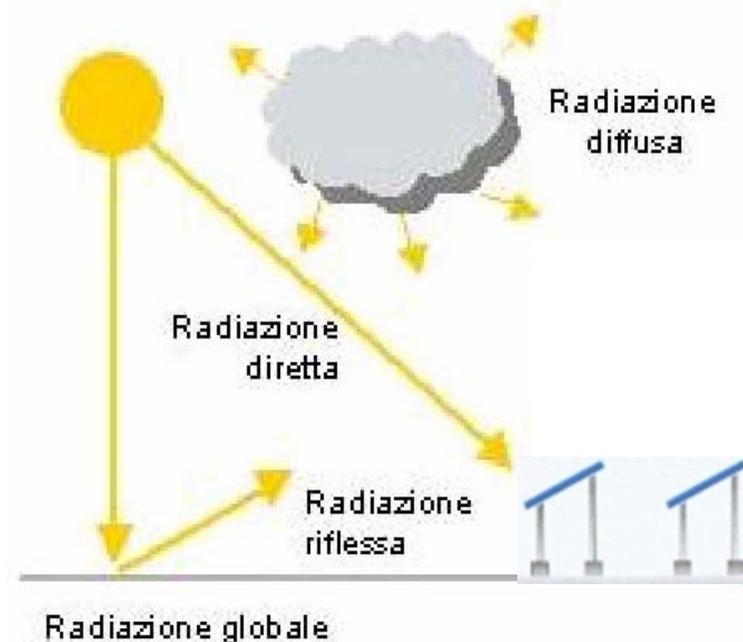
- Sulla superficie terrestre si registra un valore della potenza **inferiore rispetto alla costante solare**, a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione che hanno luogo nel percorso attraverso l'atmosfera

- Sia nelle normative di riferimento che nella pratica impiantistica, il **valore massimo** della radiazione disponibile istantaneamente al suolo si assume pari a circa

**1 kW/m<sup>2</sup>**



- La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre si distingue in:
  - rad. diretta
  - rad. diffusa
  - rad. riflessa



- Le proporzioni di radiazione diretta, diffusa e riflessa ricevuta da una superficie dipendono da:
  - (a) condizioni meteorologiche
  - (b) inclinazione e orientamento della superficie
  - (c) presenza di elementi riflettenti



La radiazione **diretta** colpisce una qualsiasi superficie con un unico e ben definito angolo di incidenza.

La radiazione **diffusa** incide invece su tale superficie con vari angoli. (i dispositivi FV possono operare anche in presenza di sola radiazione diffusa !!)

Una superficie inclinata, può ricevere, inoltre, la radiazione **riflessa** dal terreno o da specchi d'acqua o da altre superfici (es pareti di edifici adiacenti).  
Tale contributo si chiama **ALBEDO** e deve essere valutato con attenzione.



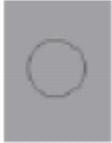
Se chiamiamo  $I_D$  la radiazione diretta,  $I_S$  quella diffusa ed  $R$  l'albedo, allora si ha che la **radiazione solare totale** che incide su una superficie è:

$$I_T = I_D + I_S + R$$



## Condizioni meteorologiche

- In una giornata nuvolosa la radiazione è pressoché totalmente diffusa; in una giornata serena con clima secco, viceversa, predomina la componente diretta, che può arrivare fino al 90% della radiazione totale

		Condizioni atmosferiche						
Radiazione solare	Cielo sereno	Nebbia	Nuvoloso	Disco solare giallo	Disco solare bianco	Sole appena percettibile	Nebbia fitta	Cielo coperto
								
globale	1000 W/m <sup>2</sup>	600 W/m <sup>2</sup>	500 W/m <sup>2</sup>	400 W/m <sup>2</sup>	300 W/m <sup>2</sup>	200 W/m <sup>2</sup>	100 W/m <sup>2</sup>	50 W/m <sup>2</sup>
diretta	90%	50%	70%	50%	40%	0%	0%	0%
diffusa	10%	50%	30%	50%	60%	100%	100%	100%

### Condizioni meteorologiche

- In una giornata nuvolosa la radiazione è pressoché totalmente diffusa; in una giornata serena con clima secco, viceversa, predomina la componente diretta, che può arrivare fino al 90% della radiazione totale

### Inclinazione e orientamento della superficie

- una superficie orizzontale riceve la massima radiazione diffusa e la minima riflessa; la componente riflessa aumenta al crescere dell'inclinazione

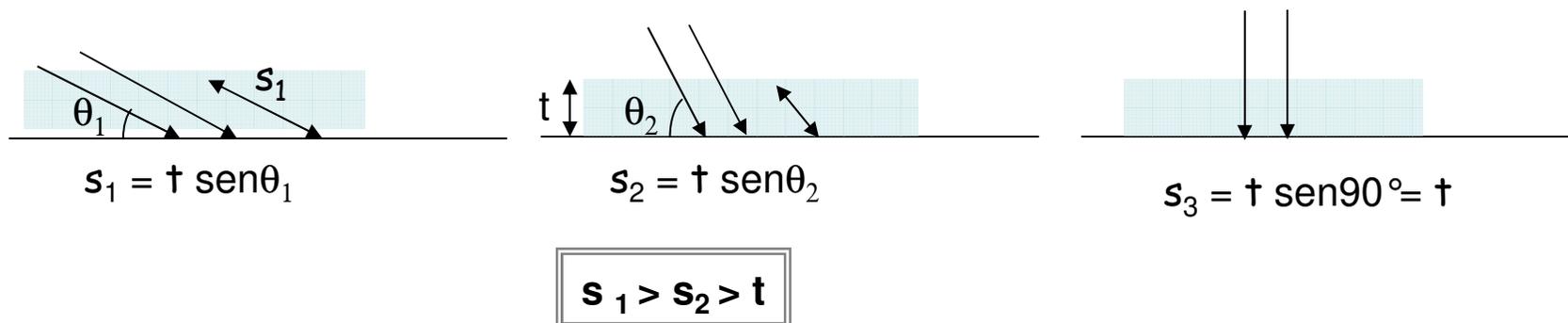
### Presenza di elementi riflettenti

- Il contributo maggiore alla riflessione è dato dalle **superfici chiare**; così la radiazione riflessa aumenta in inverno, per effetto della presenza di neve, e diminuisce in estate, per effetto di assorbimento di colori scuri quali quello dell'erba o del terreno



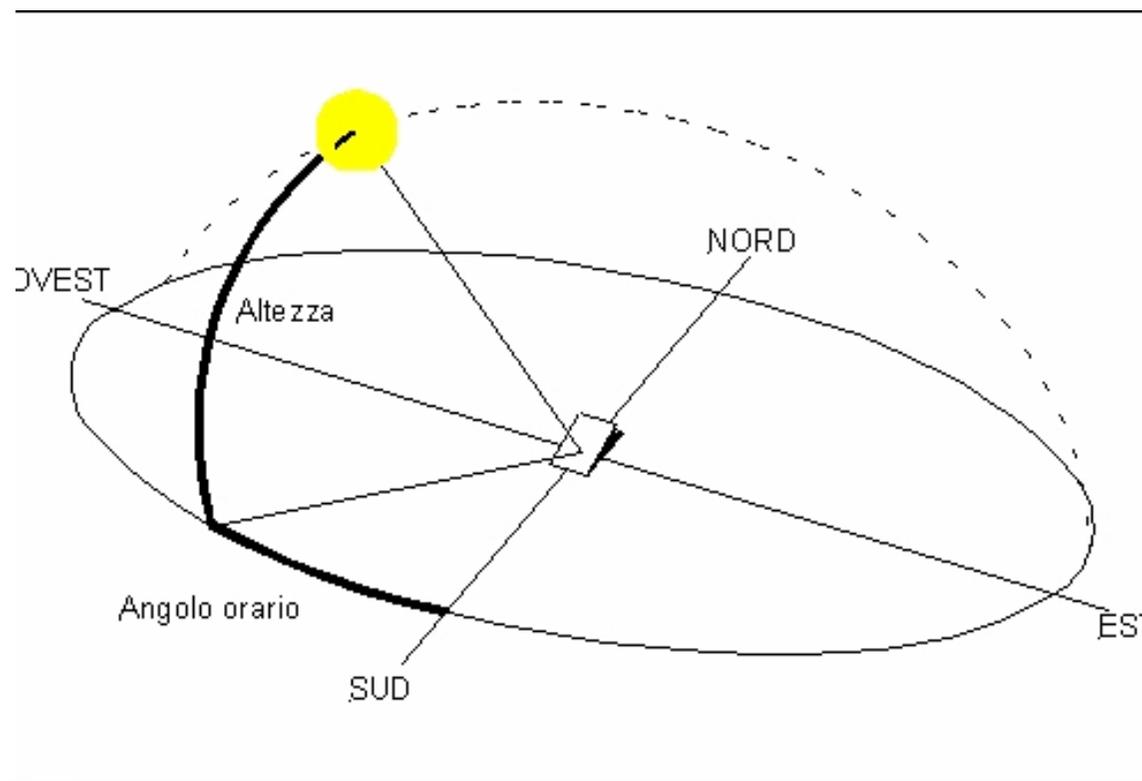
L'intensità della radiazione solare incidente su una superficie è influenzata dall'angolo di inclinazione della radiazione stessa.

Più piccolo è l'angolo che i raggi del sole formano con una superficie orizzontale e maggiore è lo spessore di atmosfera che essi devono attraversare, e conseguentemente minore è la potenza della radiazione che incide sulla superficie.



L'angolo di inclinazione della radiazione è una quantità che varia durante il giorno.

- Il moto del sole viene descritto da due angoli: l' "altezza" (o "elevazione") del Sole rispetto all'orizzonte e l' "angolo orario" o "azimuth" (l'angolo che la direzione del Sole, proiettata sul piano orizzontale, forma con la direzione **Sud**).



Nel sito: <http://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html>  
del National Renewable Energy Laboratory (NREL), un ente governativo  
statunitense, è disponibile un software per il calcolo del percorso solare

**MIDC SOLPOS Calculator**

Compute the solar position and intensity from time and place

Required input fields:

Start Date	2009	March	21
End Date	2009	March	21
Output Interval	10	<input type="radio"/> Second	<input checked="" type="radio"/> Minute
39.74	Latitude, degrees north (south negative)		
-105.18	Longitude, degrees east (west negative)		
-7.0	Time zone, east (west negative)		
1013.0	Surface pressure (mbar)		
15	Ambient dry-bulb temperature (°C)		

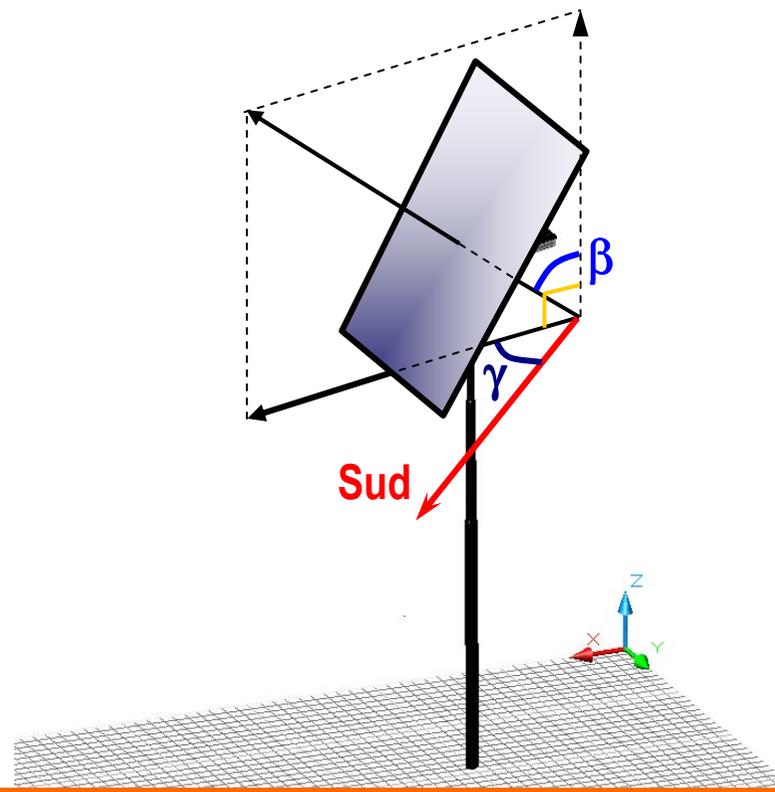
Nel sito: <http://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html>  
del National Renewable Energy Laboratory (NREL), un ente governativo  
statunitense, è disponibile un software per il calcolo del percorso solare

Date	Time	Azimuth angle	Elevation
21/3/2009,	11:40:00,	169.0996,	50.2603
21/3/2009,	11:50:00,	172.9949,	50.5623
21/3/2009,	12:00:00,	176.9296,	50.7339
21/3/2009,	12:10:00,	180.8822,	50.7734
21/3/2009,	12:20:00,	184.8297,	50.6803
21/3/2009,	12:30:00,	188.7508,	50.4556



Scopo fondamentale della Analisi della radiazione solare ai fini della progettazione di sistemi FV è:

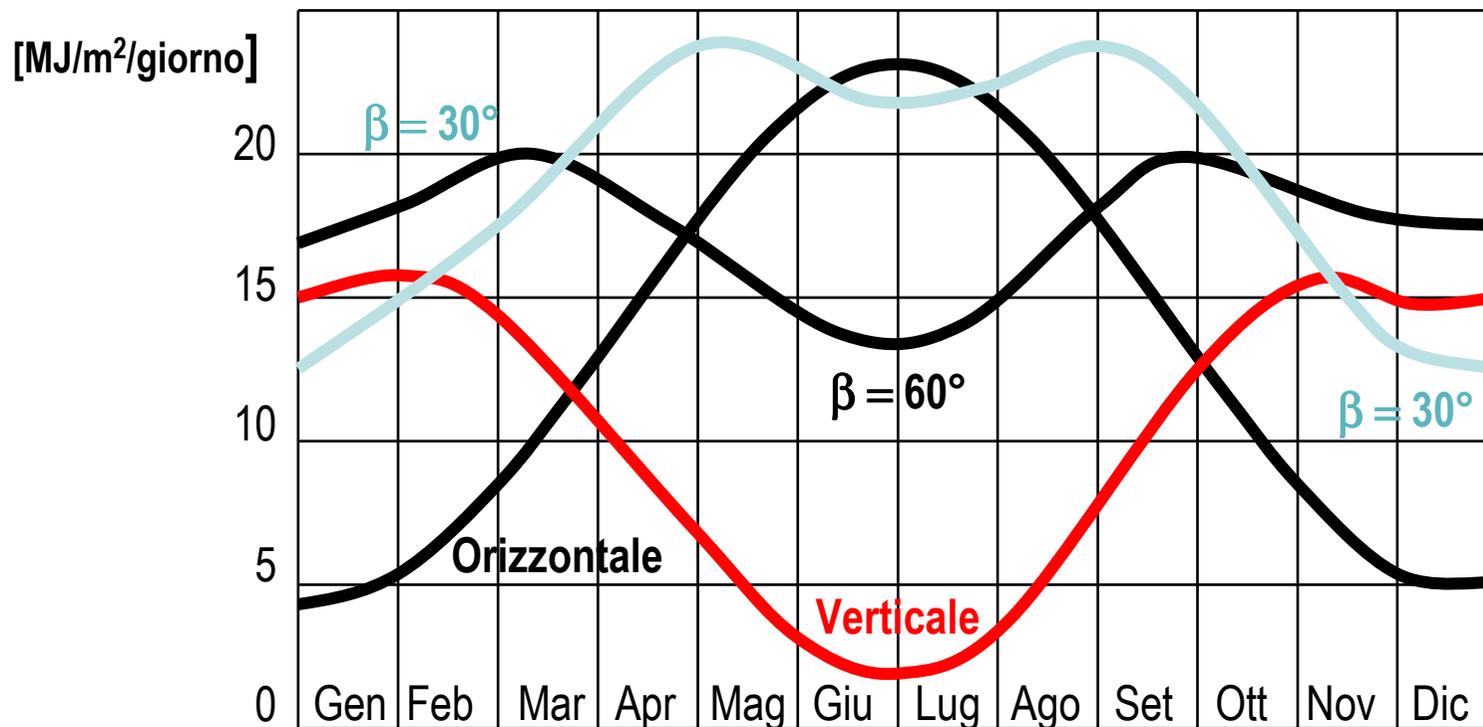
- Determinare le **modalità ottimali di orientazione** dei pannelli
- Predisporre una accurata **analisi di producibilità** dell'impianto



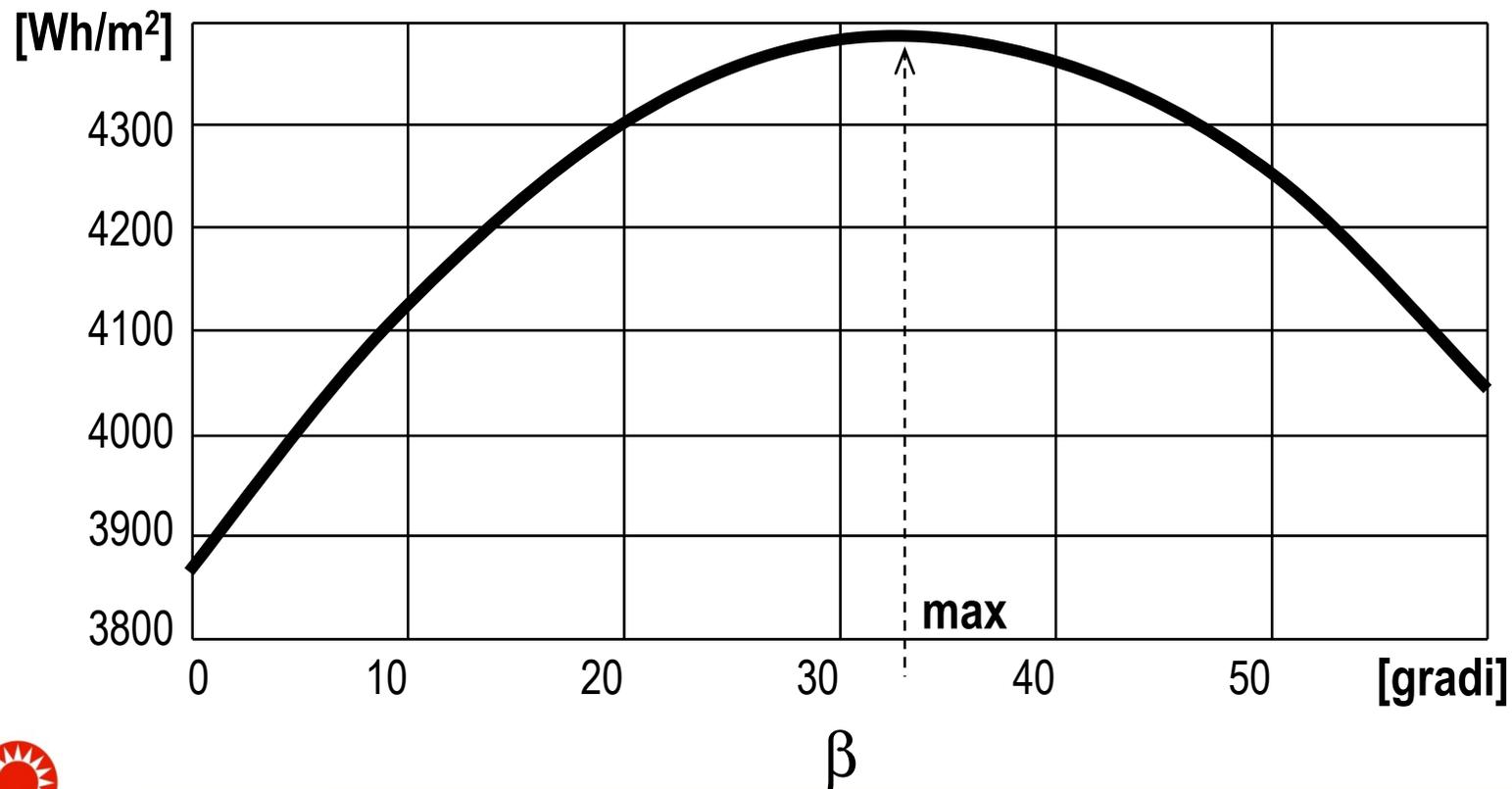
Angoli di inclinaz.  $\beta$  e di orientaz.  $\gamma$  di una superficie



Confronto fra la radiazione solare giornaliera media incidente su superfici con **differenti angoli di inclinazione**  $\beta$  ed orientate a Sud (azimut  $\gamma=0$ ). Località con latitudine  $\phi=40^\circ\text{N}$  (Nuoro) e cielo sereno



Andamento della **radiazione solare giornaliera media annua** in una località con latitudine  $\phi=43,7^\circ\text{N}$  [Firenze] al variare dell'inclinazione della superficie captante, orientata a Sud.

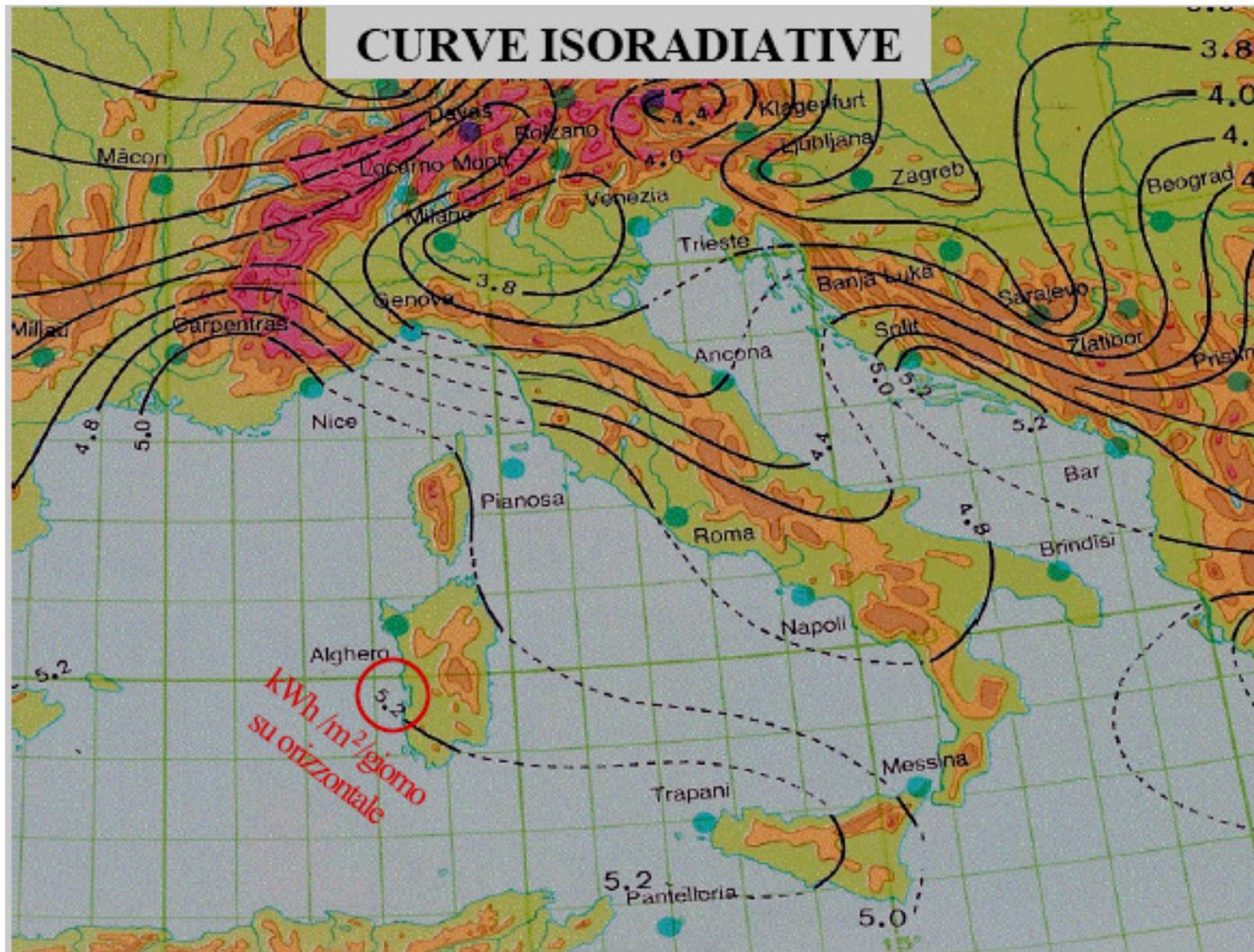


## Calcolo della Radiazione Solare ed analisi di producibilità

Punti di partenza delle procedure di calcolo sono:

- Mappe isoradiative (generalmente non permettono di distinguere le componenti della radiazione diretta e diffusa) pubblicate da vari organismi
- Valori tabulati per ciascuna località (Servizio Meteorologico Nazionale)
- Metodi di calcolo sperimentali (*Norme UNI 10349 - UNI 8477, metodo di Liu e Jordan, ecc.*)

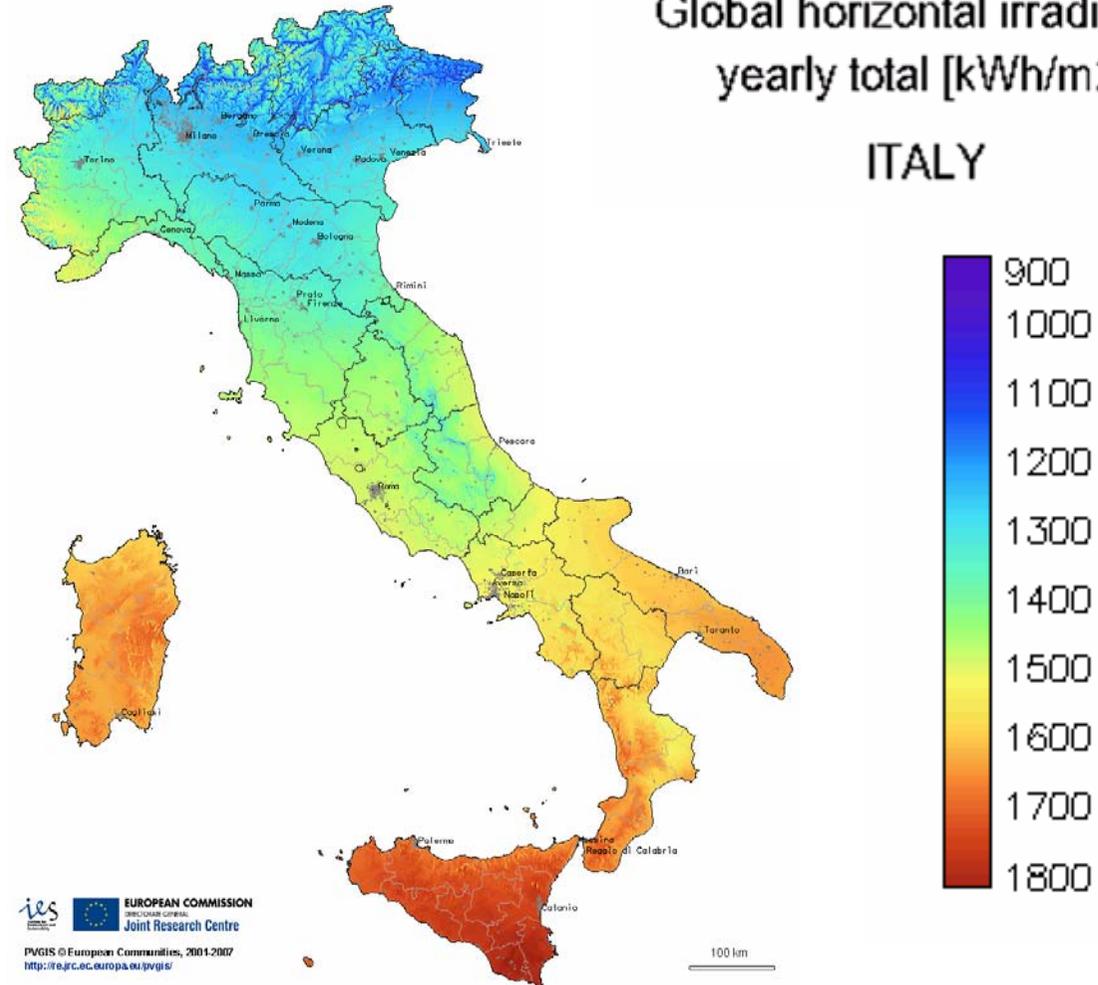




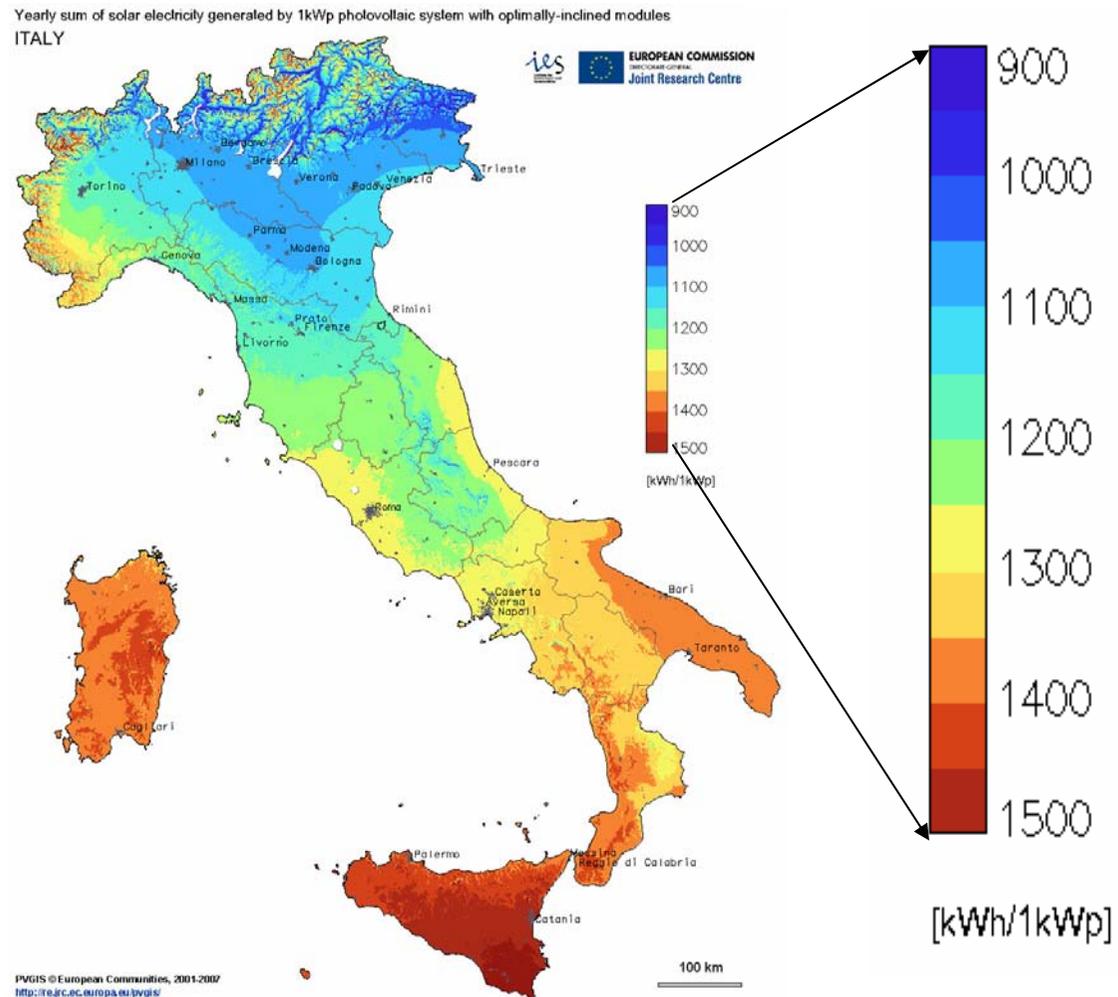
Global horizontal irradiation  
yearly total [kWh/m<sup>2</sup>]

ITALY

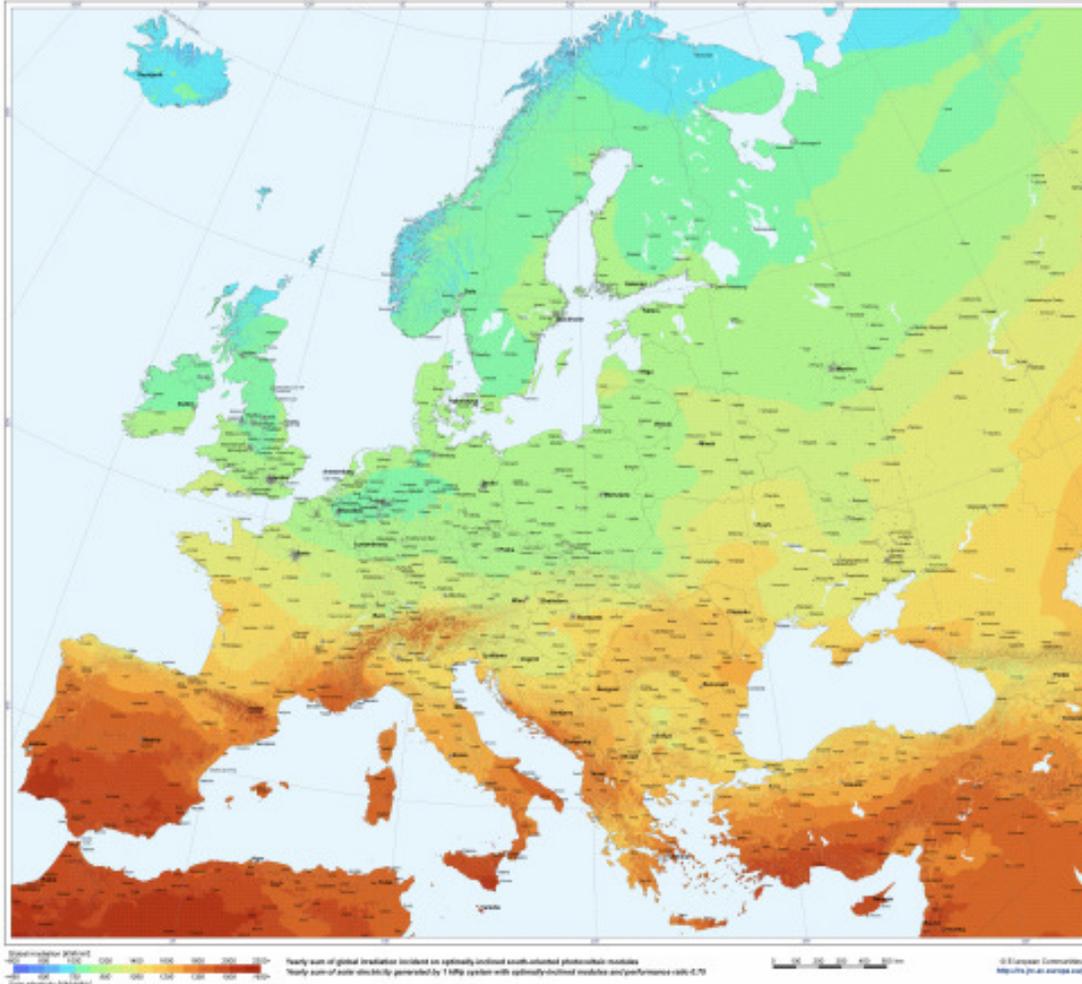
Il diagramma riporta  
l'irradiazione globale  
per metro quadro  
su una superficie  
parallela al suolo



Il diagramma riporta la resa annuale in kWh per 1 kWp installato con pannelli orientati in maniera ottimale



**Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries**



**Optimum inclination of PV modules to maximize yearly energy yield**

**Geography and country names with ISO codes**

**Data description**  
 The PVGIS database is developed from measurements of 360 meteorological stations to calculate optimal solar panel tilt and azimuth orientation. It contains monthly average energy yield (kWh/m<sup>2</sup>/day) for the period 1981-2010.  
 Data resolution: 1 km (1 degree) by 1 km (1 degree).  
 The projection: Lambert azimuthal equal-area (EPSG:31466, 42° N, 12° E).

**Author's note**  
 - PVGIS database © European Union  
 - Copied from PVGIS (http://repositorio.jrc.ec.europa.eu/arcgis/)  
 - World Land Cover 2000 (http://www.fao.org/landcover/)  
 - Digital Elevation Model (DEM) (http://www.srtm.csi.cornell.edu/)  
 - ISO 3166-1 (http://www.iso.org/iso/iso\_3166.html)

**Comparison of yearly global irradiation incident on optimally inclined photovoltaic modules in 28 European Union member countries and 5 candidate countries**

The countries are sorted by decreasing irradiation. The corresponding map highlights the countries in different colors, while the blue shows the range of irradiation (from 0 to 2000 kWh/m<sup>2</sup>/year).

**Authors**  
 Global Solar Potential in Europe, report prepared by: Institut National d'Énergie Solaire, European Commission - DG Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, International Energy Agency, and IES - JRC Research Centre.

Resa media giornaliera (su base mensile) e resa complessiva annuale in kWh per 1 kWp installato sul piano **orizzontale**, in forma tabellare per le maggiori località italiane

Località	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media Annuale
<b>Agrigento</b>	2,44	3,47	4,69	6,17	7,47	8,19	8,22	7,50	5,81	4,06	2,81	2,28	1923
<b>Alessandria</b>	1,31	2,08	3,22	4,39	5,14	5,69	6,28	5,00	3,72	2,36	1,50	1,17	1276
<b>Ancona</b>	1,19	2,11	3,36	5,08	6,42	6,69	7,22	6,11	4,44	2,92	1,53	1,14	1471
<b>Cagliari</b>	2,03	2,72	4,00	5,14	6,25	6,94	7,58	6,64	4,89	3,39	2,25	1,78	1635
<b>Nuoro</b>	1,92	2,67	3,94	5,25	6,56	7,28	7,78	6,64	5,03	3,42	2,14	1,67	1655
<b>Oristano</b>	1,94	2,75	3,97	5,22	6,47	7,14	7,67	6,67	5,06	3,50	2,17	1,69	1654
<b>Sassari</b>	1,89	2,72	3,94	5,28	6,69	7,39	7,81	6,67	5,17	3,50	2,08	1,61	1669



Ora si tiene conto di un certo fattore correttivo che tiene conto della effettiva orientazione dei moduli FV

*nord Italia*

orientamento	tilt 0°	tilt 10°	tilt 15°	tilt 20°	tilt 30°	tilt 40°	tilt 60°	tilt 90°
<b>0° SUD</b>	1,00	1,07	1,09	1,11	1,13	1,12	1,03	0,74
<b>± 15°</b>	1,00	1,06	1,09	1,10	1,12	1,11	0,99	0,74
<b>± 30°</b>	1,00	1,06	1,07	1,09	1,10	1,09	0,96	0,73
<b>± 45°</b>	1,00	1,04	1,06	1,07	1,07	1,05	0,93	0,72
<b>± 90°EST-OVEST</b>	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,89	0,77	0,57

*sud Italia*

orientamento	tilt 0°	tilt 10°	tilt 15°	tilt 20°	tilt 30°	tilt 40°	tilt 60°	tilt 90°
<b>0° SUD</b>	1,00	1,06	1,08	1,10	1,11	1,10	0,99	0,68
<b>± 15°</b>	1,00	1,06	1,08	1,09	1,10	1,09	0,99	0,68
<b>± 30°</b>	1,00	1,05	1,07	1,08	1,08	1,07	0,96	0,68
<b>± 45°</b>	1,00	1,04	1,05	1,06	1,06	1,03	0,93	0,67
<b>± 90°EST-OVEST</b>	1,00	0,99	0,97	0,96	0,92	0,87	0,75	0,55



## Esempio di calcolo della producibilità annua

Impianto fotovoltaico da 2,94 kWp installato a Nuoro

Consultando la tabella della resa per kWp, alla voce Nuoro corrisponde un valore medio annuo di **1655 kWh/kWp**

Consideriamo un impianto integrato su una copertura con la falda inclinata di 20° ed uno scostamento rispetto al sud di 15° (non importa in quale direzione)

Coefficiente correttivo = **1.09**

Ogni anno il nostro impianto produrrà  
 $2,94 \text{ kWp} \times 1655 \text{ kWh/kWp} \times 1,09 = \mathbf{5.30MWh}$   
**meno le perdite**

Le **perdite** consistono in:

- campo FV per riscaldamento celle dal 7 al 10 %
- campo FV per asimmetrie delle prestazioni moduli (mismatching) 3%
- campo FV per ombreggiamento 2%
- campo FV per riflessione 2%
- campo FV per effetto Joule 1%
- lato CA per rendimento inverter 6%

Il totale delle perdite varia dal 15 al 25%, in generale, per un impianto eseguito a regola d'arte, si può affermare che si sbaglia di poco se si assumono uguali al **20%**

Quindi l'energia annua attesa ai morsetti dell'impianto in esame diventa **5300 kWh x 0,80 = 4,24 MWh**



Per una valutazione di prima approssimazione si può tener conto del seguente valore di riferimento che fornisce una stima abbastanza attendibile della producibilità annua di un impianto FV installato "a regola d'arte" in Sardegna con **moduli orientati in maniera ottimale** e assenza di fenomeni significativi di ombreggiamento.

$$1.4 \div 1.5 \text{ MWh / kWp}$$

Ogni kwp installato produce circa 1.4/1.5 MWh annuali di energia elettrica

Ripetendo il calcolo:  $2,94 \times 1635 \times 1,11 \times 0.8 = 4.32 \text{ MWh}$

$$2.94 \text{ kwp} \times 1.4 \text{ MWh/kwp} = 4.11 \text{ MWh}$$

$$2.94 \text{ kwp} \times 1.5 \text{ MWh/kwp} = 4.41 \text{ MWh}$$

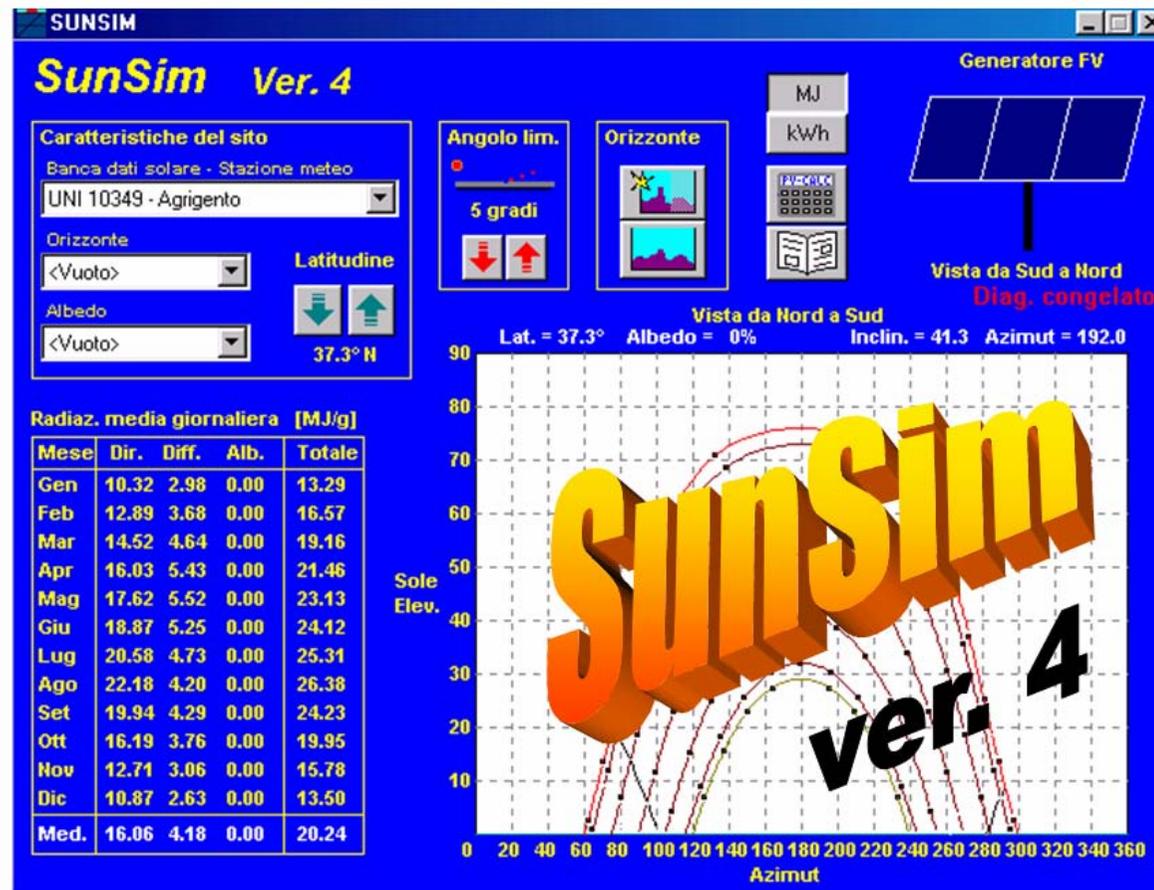
4.32 MWh



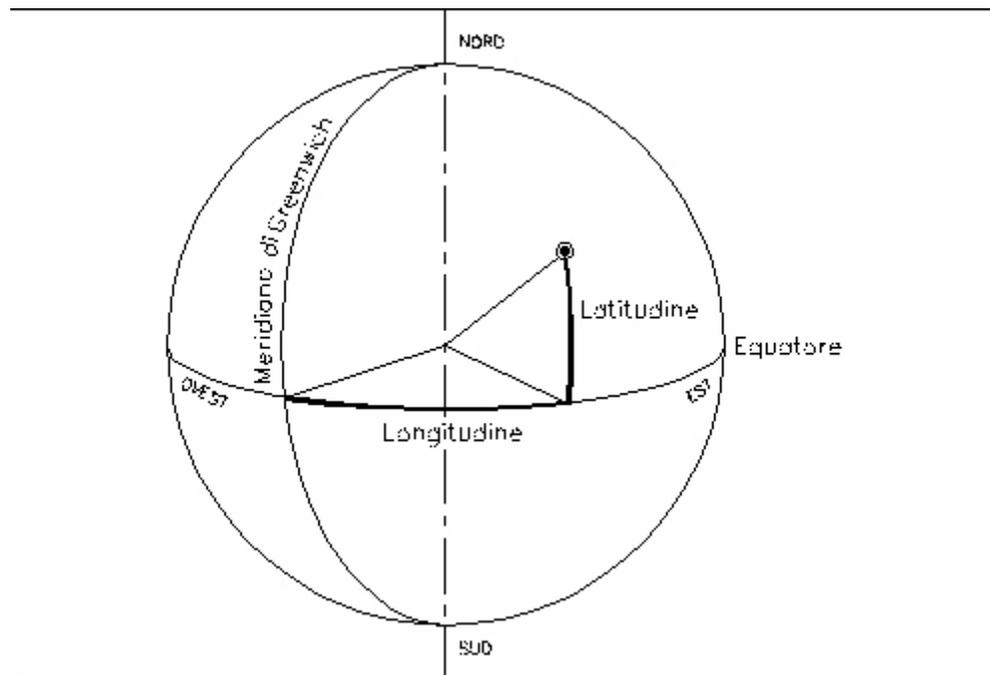
# Ora presentiamo un software per il calcolo automatico della producibilità

VERSIONE **DEMO** DISPONIBILE IN RETE

<http://www.ba.itc.cnr.it/ecolabel/SUNSIM.html>



- **La posizione dell'impianto viene specificata usando un sistema di coordinate sferiche: Latitudine e Longitudine identificano univocamente il punto di interesse.**



**Nuoro**

**40.3 LATITUDINE NORD**

**9.3 LONGITUDINE EST**

[http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate\\_click.html](http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate_click.html)

Un modo semplice per trovare la latitudine e la longitudine di un posto è andare nel sito:

[http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate\\_click.html](http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate_click.html)

Click on the map to find coordinates (Latitude and Longitude) of a location

Clicca sulla mappa per trovare le coordinate (Latitudine e Longitudine) di una località



Latitude:  Longitude:

[http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate\\_click.html](http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate_click.html)

Ci si sposta sulla cartina facendo gli opportuni zoom per arrivare al luogo di cui si desiderano conoscere latitudine e longitudine

Click on the map to find coordinates (Latitude and Longitude) of a location

Clicca sulla mappa per trovare le coordinate (Latitudine e Longitudine) di una località



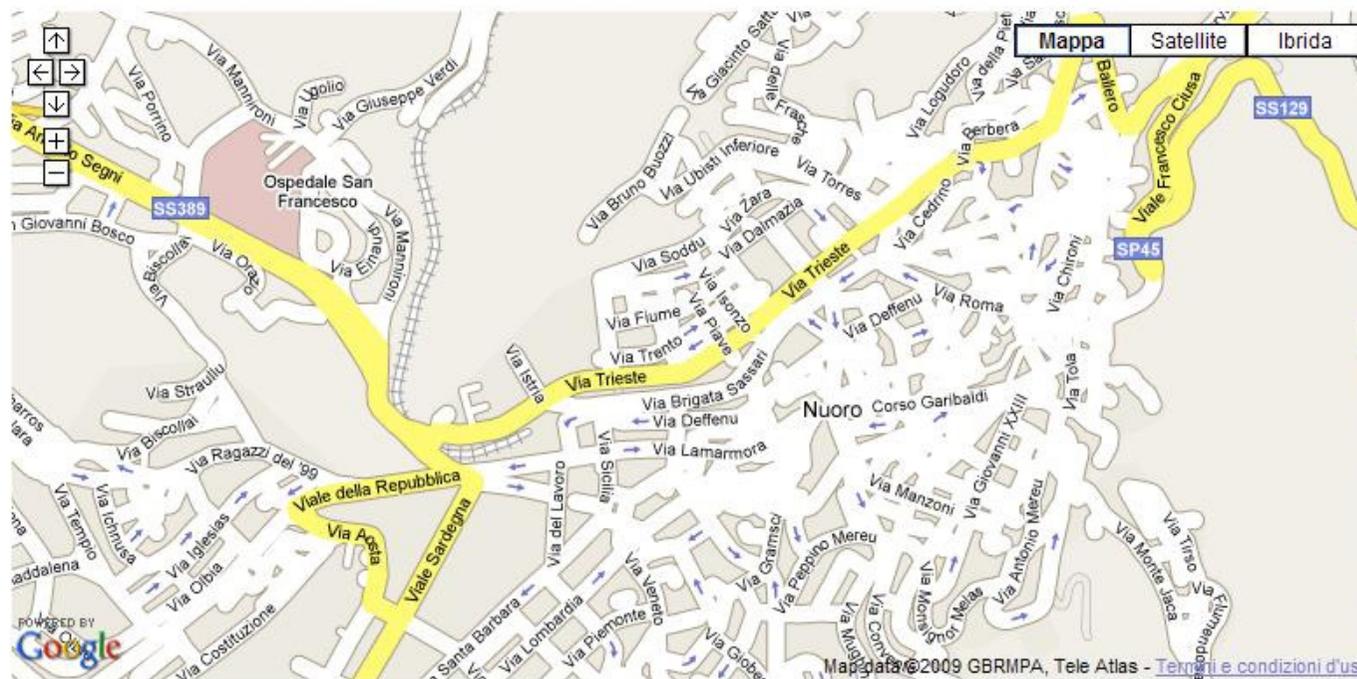
Latitude:  Longitude:

[http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate\\_click.html](http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate_click.html)

Una volta trovato il luogo di interesse si "clicca" per conoscere i valori di latitudine e longitudine

Click on the map to find coordinates (Latitude and Longitude) of a location

Clicca sulla mappa per trovare le coordinate (Latitudine e Longitudine) di una località



Latitude:  Longitude:

[http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate\\_click.html](http://kmlcollection.googlepages.com/coordinate_click.html)

Una volta trovato il luogo di interesse si "clicca" per conoscere i valori di latitudine e longitudine

Click on the map to find coordinates (Latitude and Longitude) of a location

Clicca sulla mappa per trovare le coordinate (Latitudine e Longitudine) di una località



**Nuoro**

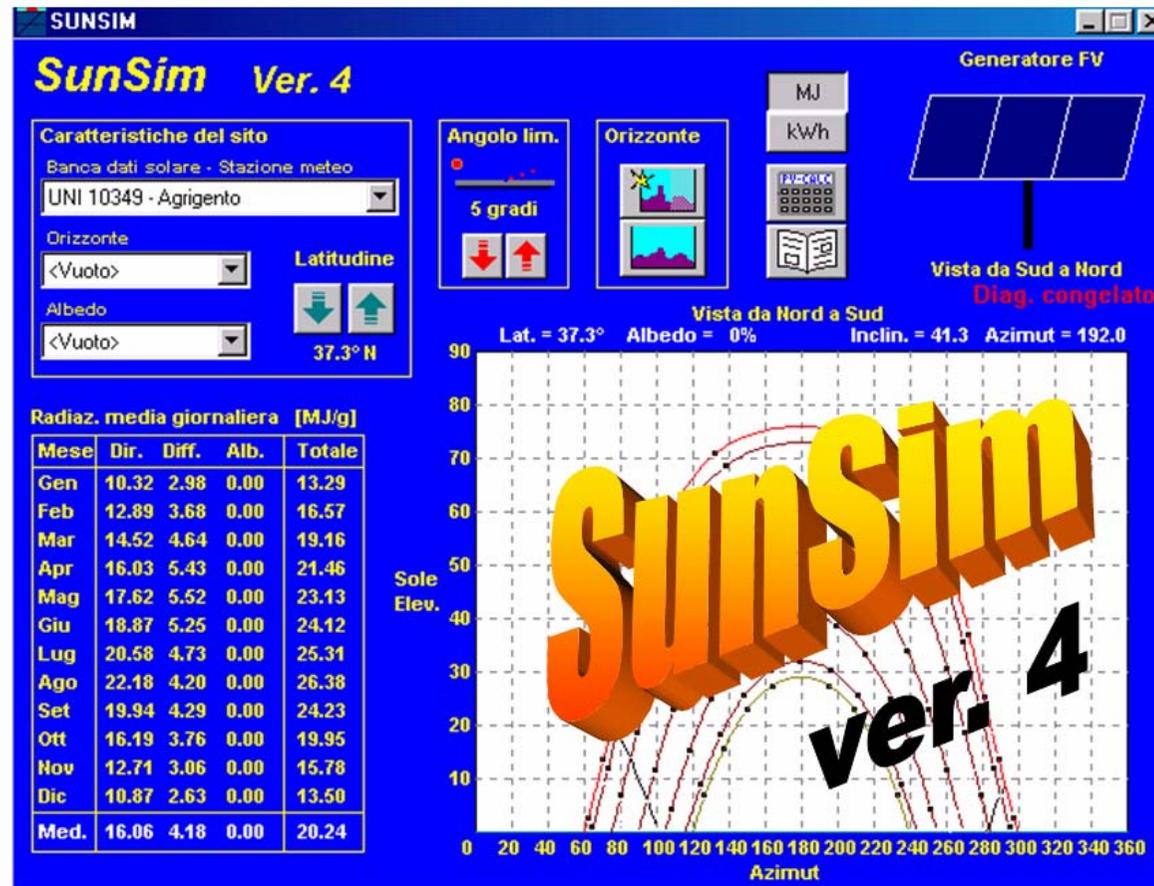
**40.3 Latitudine**

**9,3 Longitudine**

Latitudine:  Longitudine:

VERSIONE DEMO DISPONIBILE IN RETE

<http://www.ba.itc.cnr.it/ecolabel/SUNSIM.html>



**SunSim** è un software ideato per la valutazione dell'energia solare disponibile e dell'energia elettrica producibile da un selezionato generatore fotovoltaico nel sito di installazione scelto. Affianca alla rigorosità delle elaborazioni richieste dai professionisti (progettisti, installatori) una semplicità d'uso ideale anche per i neofiti o per uso didattico

**SUNSIM** svolge le elaborazioni sulla base di:

- ❑ una banca di dati di irraggiamento ufficiali rilevati in località sparse sul territorio italiano ed elaborati su medie statistiche (Norma UNI 10349)
- ❑ caratteristiche di disposizione del generatore fotovoltaico (inclinazione ed azimuth) nel sito di installazione (latitudine)
- ❑ eventuali superfici con caratteristiche riflettenti nell'intorno del punto di installazione
- ❑ un profilo dell'ombreggiamento dei moduli rispetto ad un orizzonte libero
- ❑ una banca dati di 300 moduli fotovoltaici commerciali fra i quali scegliere la composizione del proprio generatore



## **SUNSIM** consente di:

- navigare con il mouse nel diagramma dei percorsi solari simulando l'orientamento dei moduli fotovoltaici reale ed ottenendo on-line i valori di radiazione media giornaliera su base mensile
  
- ricercare l'ottimale esposizione (massima energia solare captabile) nel sito di installazione dei moduli fotovoltaici includendo le eventuali perdite dovute all'ombreggiamento
  
- salvare ed esportare (formato bmp) il diagramma dei percorsi solari alla latitudine selezionata e nel sito di installazione in coincidenza dei solstizi ed equinozi con già sovrapposto il profilo dell'ombreggiamento ed i limiti di captazione dei raggi solari dovuti all'inclinazione del piano dei moduli

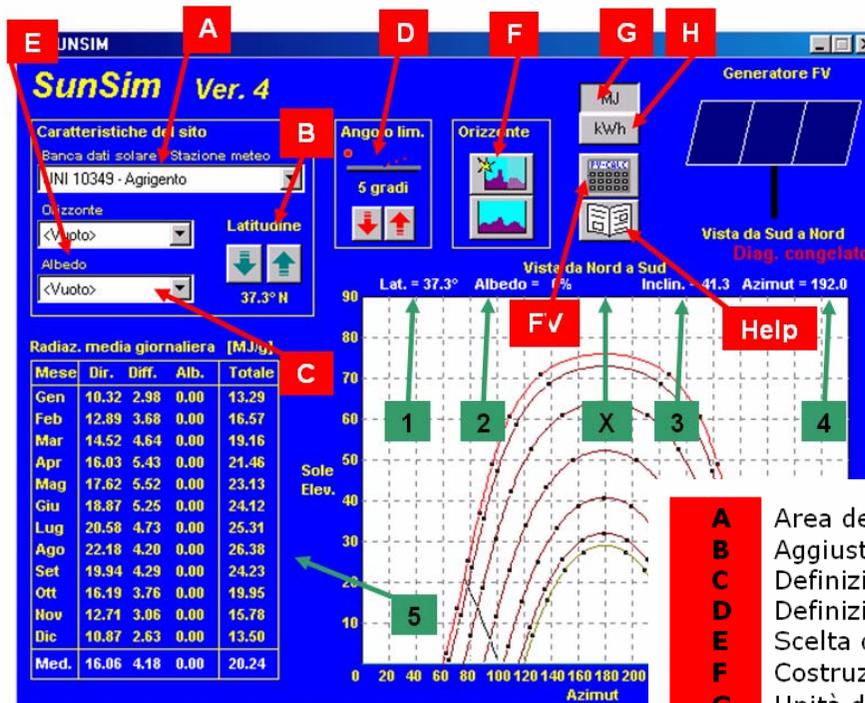


## **SUNSIM** consente di:

- salvare ed esportare (formato txt) il riassunto dei dati d'impianto selezionati completo della tabella della radiazione media giornaliera su base mensile e la media annua
- stimare l'energia elettrica annua prodotta dal generatore fotovoltaico costruito con i moduli fotovoltaici proposti nella banca dati di SunSim (380 modelli) nel sito di installazione selezionato
- costruire facilmente il proprio diagramma dell'ombreggiamento in relazione a dati acquisiti nel sito di installazione del generatore fotovoltaico o modificare uno fra i modelli precostruiti



## FINESTRA PRINCIPALE



- A** Area delle caratteristiche del sito: banca dati SunSim e stazione meteo
  - B** Aggiustamento della latitudine della zona al sito di installazione
  - C** Definizione delle caratteristiche di albedo del sito di installazione
  - D** Definizione dell'angolo limite di riflessione del piano dei moduli
  - E** Scelta del profilo dell'orizzonte (diagramma delle ombre)
  - F** Costruzione di un nuovo diagramma delle ombre
  - G** Unità di misura MJ ( $10^6$  Joule)
  - H** Unità di misura kWh (1 kWh = 3,6 MJ)
  - Help** HELP per la navigazione nel diagramma
  - FV** Calcolo dell'energia elettrica annua producibile
- 
- 1** Latitudine del sito di installazione (gradi) scelto nella casella B
  - 2** Indicazione del valore percentuale d'albedo scelto nell'area caratteristiche
  - 3** Inclinazione del piano dei moduli rispetto all'orizzontale
  - 4** Azimuth del piano dei moduli ( $180^\circ$  = Sud)
  - 5** Tabella della radiazione media giornaliera su base annua
  - X** Punto con inclinazione zero e azimuth  $180^\circ$



**Potenza e energia dai moduli FV**

Scelta del modulo FV

BP-Solar \_\_\_ BP3160 **M**

160.0 Wp      N. di moduli FV: 124 **6**

Potenza di picco: 19840.0 Wp **7**

Energia annua totale: 30292.9 kWh/a **8**

OK

- M** Scelta del modello di modulo fotovoltaico
- 6** Numero di moduli che compongono il generatore fotovoltaico
- 7** Potenza nominale totale del generatore (somma della potenza dei moduli)
- 8** Valore dell'energia elettrica annua producibile espressa nell'unità di misura selezionata

Caratteristiche del sito

Banca dati solare - Stazione meteo

UNI 10349 - Nuoro

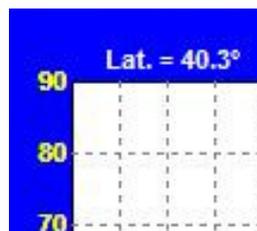
La tendina (A) contiene l'elenco delle provincie italiane che la normativa UNI 10349 considera e calcola da [stazioni meteorologiche](#) di acquisizione dei dati di radiazione solare di riferimento.

(1)



Es. Nuoro = 40.3° Lat N

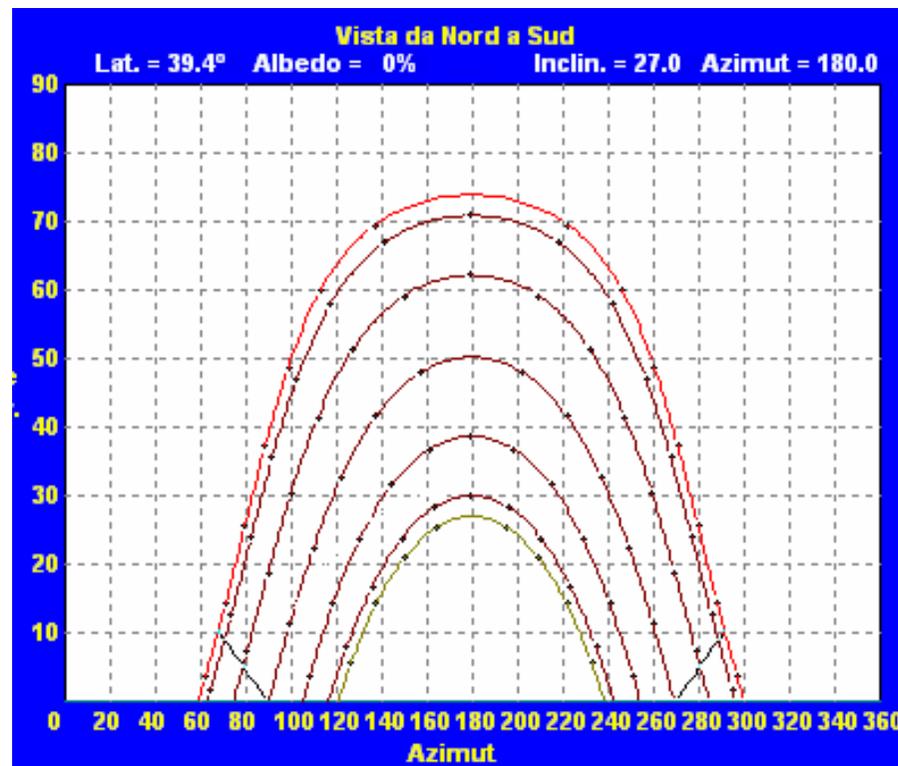
(2)



- b) per passare dalla zona selezionata al sito di installazione occorre rilevare la latitudine di quest'ultimo consultando la carta geografica. Poi basterà cliccare su bottoni (1) (step prefissati in  $\pm 0,2$  gradi) fino a far comparire nello spazio la latitudine esatta del sito.



*N.B. Le tracce dei percorsi solari sull'omonimo diagramma vengono aggiornate automaticamente da SunSim ad ogni variazione di latitudine impostata.*



c) il programma considera le caratteristiche del sito di installazione anche con la specificità prevalente dell'ambiente circostante e, in particolare, l'influsso che le stesse hanno sulle prestazioni dell'impianto fotovoltaico. Queste caratteristiche sono denominate caratteristiche d'albedo.

(C)



Albedo  
Neve

(3)



90 Lat. = 39.4° Albedo = 75%

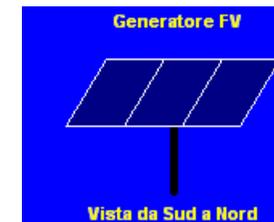
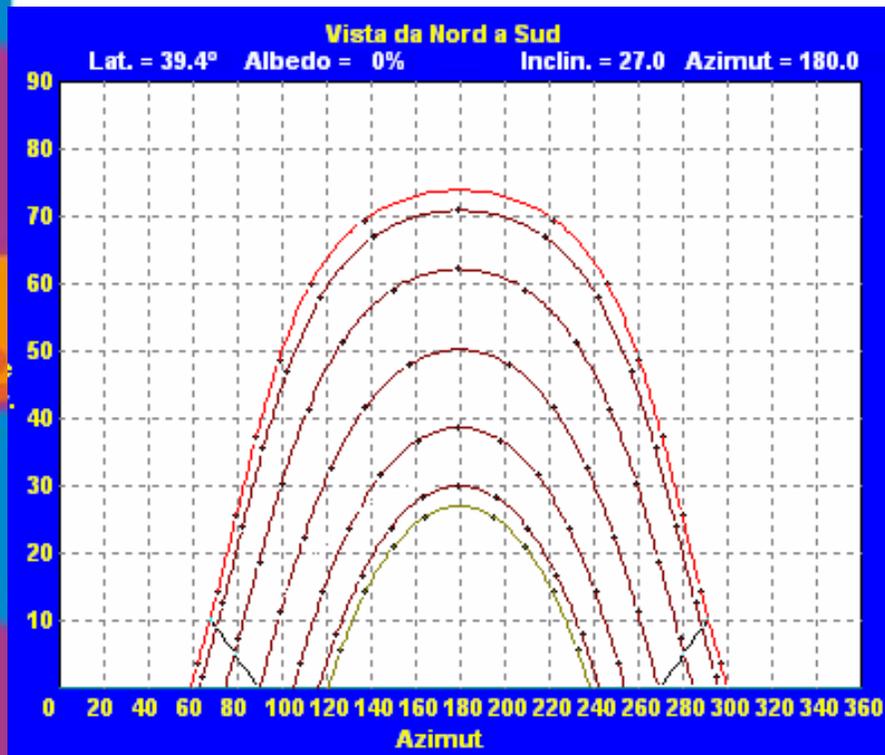
La tendina (C) <Albedo> propone alcuni esempi di ambiente circostante prevalente per i quali, una volta selezionati, appare nello spazio (3) l'indicazione del valore percentuale corrispondente. In alternativa, è possibile selezionare dalla tendina direttamente un valore compreso tra 10 e 100%.



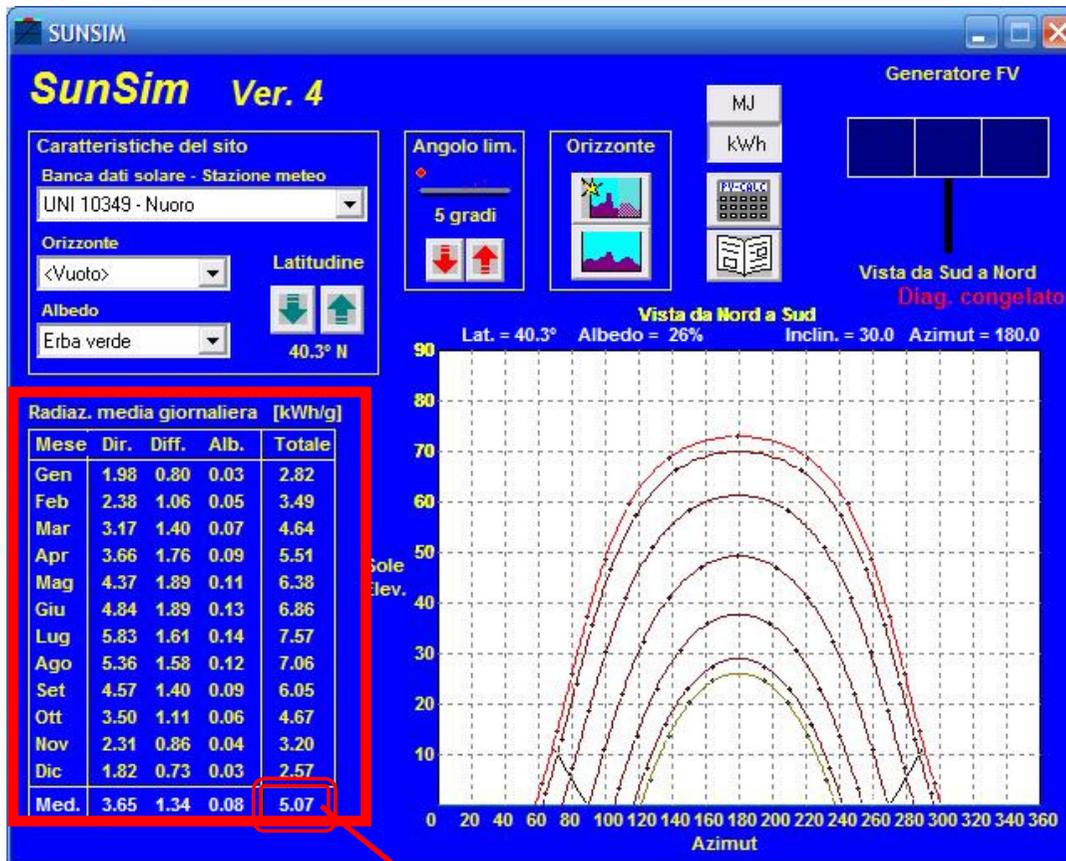


Muovendosi con il mouse sopra il grafico dei percorsi solari equivale a “orientare” i pannelli FV secondo gli angoli di azimuth ed elevazione letti in ascissa e ordinata rispettivamente

Il valore corrente viene riportato nella parte destra dell’intestazione, e in alto a destra nella finestra viene riportata la “vista” da S verso N di un ipotetico modulo



Si puo navigare anche con le frecce



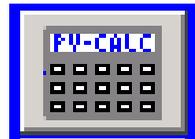
Al variare della posizione del mouse , cioè al variare della orientazione della superficie dei moduli, viene **istantaneamente** generato e modificato un diagramma sulla sinistra che riporta, mese per mese, i valori delle tre componenti della radiazione (diretta, diffusa, albedo), il loro totale, e nella ultima riga i valori medi su base annuale.

Il dato importante ai fini della massimizzazione della produttività è il dato medio totale

**5.07**



Trovato il valore ottimale per l'orientazione dei pannelli, prima di poter portare a termine l'analisi di producibilità si deve "congelare" il diagramma facendo click con il tasto destro. Poi si clicca su



Si sceglie il modulo in un ampio menu, si determina, attraverso la scelta del numero dei moduli, la potenza di picco totale dell'installazione, e si legge infine la producibilità annua attesa.

**Potenza e energia dai moduli FV**

Scelta del modulo FV

Mitsubishi\_Superstratum140

140.0 Wp      N. di moduli FV: 18

**Potenza di picco: 2520.0 Wp**

Energia annua totale: 3496.6 kWh/a

OK

**Ora illustriamo le funzionalità di un sito web sviluppato dalla comunità europea con funzionalità avanzate e dati estremamente affidabili**

**Ente sviluppatore:  
Institute for Energy del Joint Research Center (JRC) della comunità europea**

## **Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)**

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

**PVGIS home - Mozilla Firefox**

File Modifica Visualizza Cronologia Segnalibri Strumenti ?

http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

Più visitati WEBMAIL-DIEE simulatore solare clas... Come iniziare WEBMAIL-SARDEGNA ... MED

simulatore solare classe C - Cer... PVGIS home Area di Progetto spa

You are here: EC / JRC / IE / RE / SOLAREC / PVGIS / Home [Important legal notice](#)

PVGIS Home

**Interactive maps**

Country maps

FAQ

Solar radiation

Temperature

About PVGIS

Publications

Download

Site map

Joint Research Centre

## Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology

**Interactive access to solar resource and photovoltaic potential:**

See also aggregated data of solar and PV potential for **European countries and regions**.

The **old system** with French, German Italian, Spanish, and Slovak language interface still works.

**Posters and maps of solar resource and photovoltaic electricity potential (Europe, Africa)**

**CLICK**

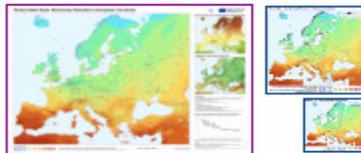
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

**European countries and regions:**

[AL] [AT] [BA] [BE] [BG] [CH] [CY] [CZ] [DE] [DK] [EE] [ES] [FI] [FR] [GR] [HR] [HU] [IE] [IT] [NL] [LV] [LT] [LU]  
[MT] [PL] [PT] [RO] [SE] [SI] [SK] [TR] [UK]

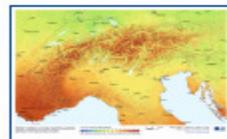
[Europe] [Alpine region] [West Balkan region] [Benelux]

**Non-European countries and regions**

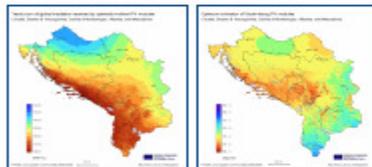


Europe - global irradiation & PV potential for optimum angle

- A2 **poster** (pdf 11.5 mb)
- graphic file for **publications** (png 5.2 mb)
- graphic file for **presentations** (png 0.7 mb)



Europe, the Alpine region - Global irradiation and PV potential for optimum angle (full view)



West Balkan  
global irradiation for optimally inclined surface  
optimum inclination angle



Benelux countries  
global irradiation on optimally-inclined plane (full view)



<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

**CLICK**

**Europe**

**Africa**

**Interactive access to solar resource and photovoltaic potential:**

See also aggregated data of solar and PV potential for **European countries and regions**.

The **old system** with French, German Italian, Spanish, and Slovak language interface still works.

**Posters and maps of solar resource and photovoltaic electricity potential (Europe, Africa)**

Nuoro  
"Search"



http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#

simulatore solare classe C - Cer... PV potential estimation utility Area di Progetto spatial solar databas

**JRC** Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > [Contact](#) [Important legal notice](#)

cursor position: 58.692, 31.025  
selected position:

e.g., "Ispra, Italy" or "45.256, 16.9589"

Search

Europe Africa

**PV Estimation** Monthly radiation Daily radiation

**Performance of Grid-connected PV**

PV technology:

Installed peak PV power  kWp

Estimated system losses [0;100]  %

Module inclination [0;90]  deg.

Module orientation [-180;180]  deg.  
(East=-90, South=0)

- Use given inclination and orientation
- Find optimal inclination for given orientation
- Find optimal inclination and orientation
- Show performance for 2-axis tracking system
- Show horizon
- Show in-plane irradiation
- Show graphs

**Output formats**

- Output in new window
- Export to text
- Save as PDF

[\[help\]](#)

PVGIS © European Communities 2001-2007

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>

**JRC** PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM - Interactive Maps

EUROPA > EC > JRC > IES > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps >

Contact Important legal notice

e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"

Nuoro

cursor position: 40.313, 9.422  
selected position: 40.321, 9.330

Europe Africa

**PV Estimation** Monthly radiation Daily radiation

**Performance of Grid-connected PV**

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 1 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

**Fixed mounting options:**

Mounting position: Free-standing

Slope [0;90] 35 °  Optimize slope

Azimuth 0 °  Also optimize azimuth

(Azimuth angle from -180 to 180, East=-90, South=0)

**Tracking options:**

Vertical axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

Inclined axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

2-axis tracking

**Output options**

Show graphs  Show horizon

Web page  Text file  PDF

[\[help\]](#)

Solar radiation Temperature Other maps

POWERED BY Google

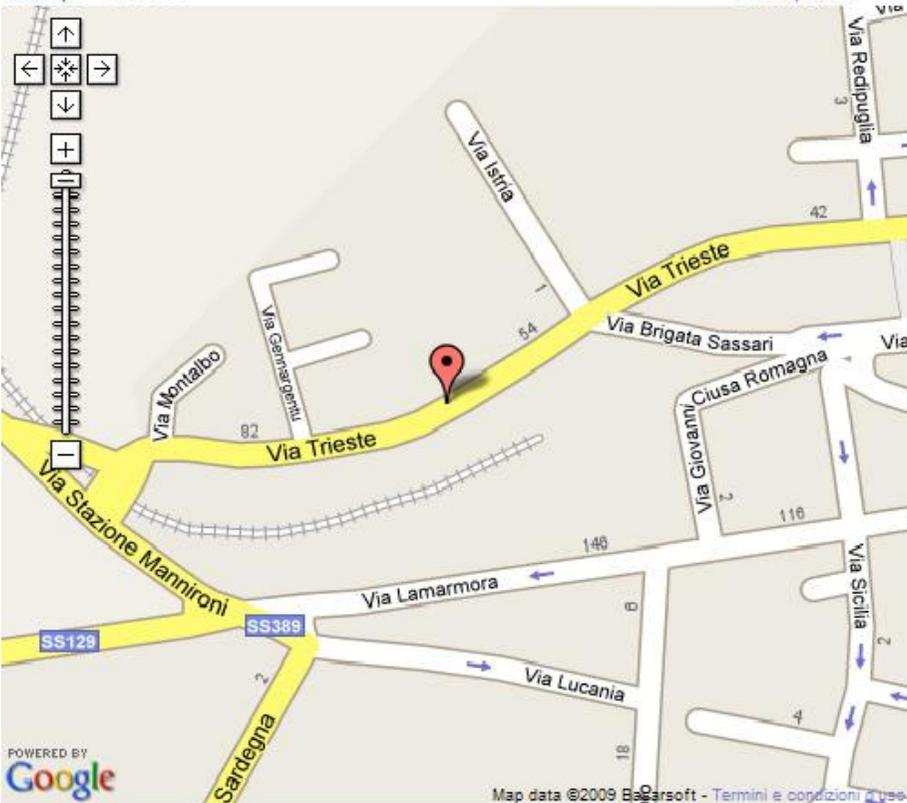
Map data ©2009 Basarsoft - Termini e condizioni d'uso

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>

e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"

Nuoro

cursor position: 40.320, 9.323  
selected position: 40.321, 9.322



**PV Estimation** Monthly radiation Daily radiation

**Performance of Grid-connected PV**

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 1 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

**Fixed mounting options:**

Mounting position: Free-standing

Slope [0;90] 35 °  Optimize slope

Azimuth 0 °  Also optimize azimuth  
(Azimuth angle from -180 to 180, East=-90, South=0)

**Tracking options:**

Vertical axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

Inclined axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

2-axis tracking

**Output options**

Show graphs  Show horizon

Web page  Text file  PDF

[\[help\]](#)

Ora posso selezionare la tecnologia dell'impianto e la potenza di picco installata.

PV Estimation	Monthly radiation	Daily radiation
<b>Performance of Grid-connected PV</b>		
PV technology: Crystalline silicon		
Installed peak PV power 10 kWp		

Per effettuare le analisi di producibilità si deve fornire una stima delle perdite (al netto di quelle per il riscaldamento dei moduli, che vengono valutate automaticamente). Valori intorno al 14 % [valore di default] sono plausibili.

Si ha poi la possibilità di inserire l'angolo di inclinazione dei moduli e l'orientazione (valori per i quali si propone anche il calcolo automatico ottimale da parte del software), e di scegliere tra :

- Free standing
- Building integrated

PV Estimation	Monthly radiation	Daily radiation
<b>Performance of Grid-connected PV</b>		
PV technology: Crystalline silicon		
Installed peak PV power 10 kWp		
Estimated system losses [0;100] 14 %		
<b>Fixed mounting options:</b>		
Mounting position: Free-standing		
Slope [0;90] 35 <input type="checkbox"/> Optimize slope		
Azimuth 0 <input type="checkbox"/> Also optimize azimuth		



PV Estimation

Monthly radiation

Daily radiation

### Performance of Grid-connected PV

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 10 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

#### Fixed mounting options:

Mounting position: Building integrated

Slope [0;90] 33 °  Optimize slope

Azimuth -1 °  Also optimize azimuth

(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

#### Tracking options:

Vertical axis Slope [0;90] 54 °  Optimize

Inclined axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

2-axis tracking

#### Output options

Show graphs  Show horizon

Web page  Text file  PDF

Calculate

[help]



### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 40°19'14" North, 9°19'19" East, Elevation: 544 m a.s.l.,  
Nearest city: Nuoro, Italy (1 km away)

Nominal power of the PV system: 10.0 kW (crystalline silicon)  
Estimated losses due to temperature: 15.5% (using local ambient temperature)  
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%  
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
Combined PV system losses: 29.3%





Fixed system: inclination=33°, orientation=-1°

Month	$E_d$	$E_m$
Jan	24.50	760
Feb	27.50	770
Mar	37.00	1150
Apr	42.30	1270
May	43.00	1330
Jun	45.70	1370
Jul	46.10	1430
Aug	45.20	1400
Sep	40.90	1230
Oct	33.80	1050
Nov	26.50	795
Dec	22.30	692
Yearly average	36.3	1100
Total for year		13200

Vertical axis tracking system : inclination=54°

Month	$E_d$	$E_m$
Jan	31.70	984
Feb	35.40	990
Mar	49.30	1530
Apr	58.30	1750
May	62.80	1950
Jun	69.40	2080
Jul	68.90	2140
Aug	64.40	2000
Sep	55.40	1660
Oct	44.40	1380
Nov	34.60	1040
Dec	28.90	896
Yearly average	50.4	1530
Total for year		18400

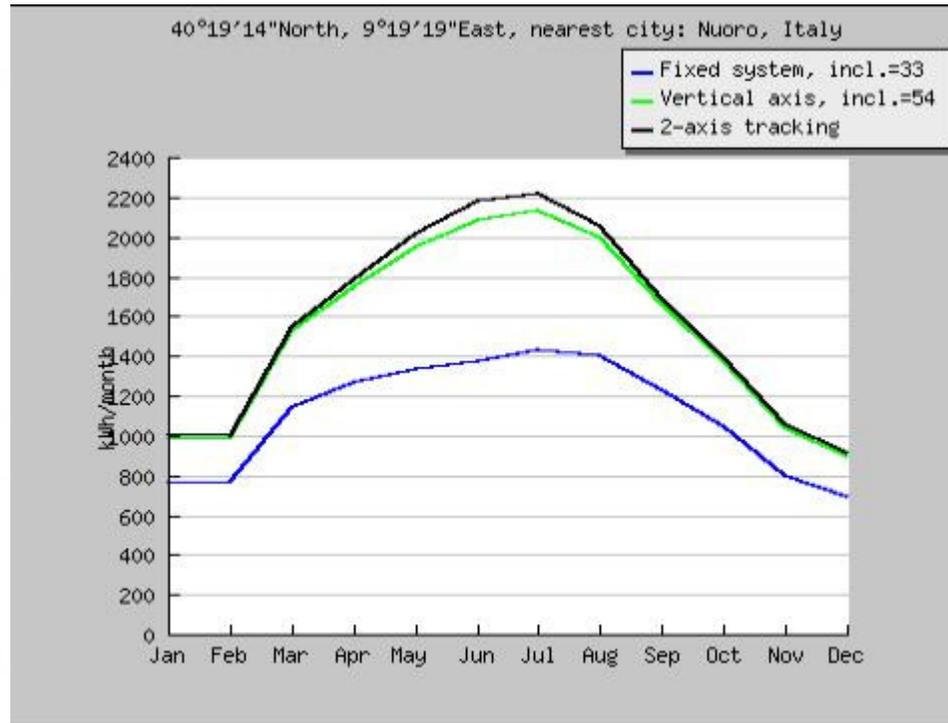
2-axis tracking system

Month	$E_d$	$E_m$
Jan	32.40	1000
Feb	35.70	1000
Mar	49.90	1550
Apr	59.50	1790
May	65.00	2020
Jun	72.50	2170
Jul	71.70	2220
Aug	66.20	2050
Sep	56.20	1690
Oct	44.90	1390
Nov	35.30	1060
Dec	29.60	916
Yearly average	51.7	1570
Total for year		18900

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)





Confronto tra i kWh /mese prodotti nelle medesime condizioni dalle 3 tipologie di impianti:

- Sistema FV fisso incl=33°  
orientazione=-1°
- Sistema FV ad inseguimento ad asse verticale incl =\_54°
- Sistema FV ad inseguimento a 2 assi



PV Estimation **Monthly radiation** Daily radiation

**Monthly global irradiation data**

- Horizontal irradiation
- Irradiation at opt. angle
- Irradiation at chosen angle:  deg.
- Linke turbidity
- Dif. / global radiation
- Optimal inclination angle

**Monthly ambient temperature data**

- Average daytime temperature
- Daily average of temperature
- Number of heating degree days
- Show graphs

**Output formats**

- Output in new window
- Export to text
- Save as PDF

[\[help\]](#)

PV Estimation Monthly radiation **Daily radiation**

**Average Daily Solar Irradiance**

Select month:

**Irradiance on a fixed plane**

Inclination [0;90]  deg. (horizontal=0)

Orientation [-180;180]  deg. (east=-90, south=0)

- Average global irradiance
- Clear-sky global irradiance

**Irradiance on a 2-axis tracking plane**

- Average global irradiance, 2-axis tracking
- Clear-sky global irradiance, 2-axis tracking
- Daytime temperatures
- Show horizon outline graph
- Show graphs

**Output formats**

- Output in new window
- Export to text
- Save as PDF

[\[help\]](#)



## Esempio di output dalla finestra di analisi "monthly radiation"

### Monthly Solar Irradiation

#### PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 40°19'14" North, 9°19'19" East, Elevation: 544 m a.s.l.,  
Nearest city: Nuoro, Italy (1 km away)  
Optimal inclination angle is: 34 degrees  
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %

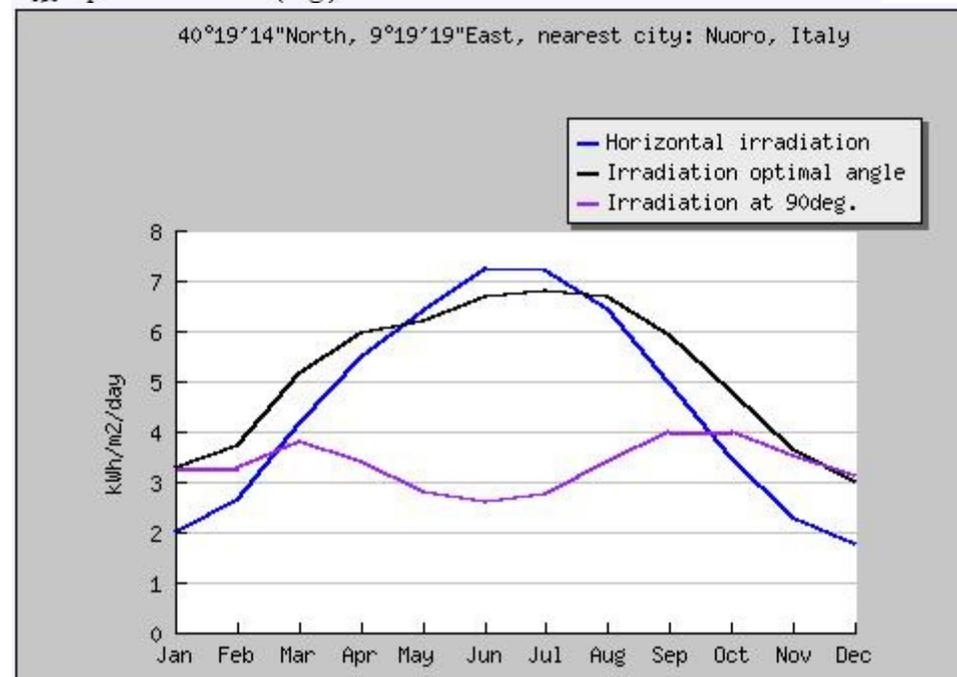
Month	$H_h$	$H_{opt}$	$H(90)$
Jan	2010	3280	3280
Feb	2660	3740	3280
Mar	4140	5140	3780
Apr	5500	5940	3390
May	6390	6190	2810
Jun	7240	6670	2590
Jul	7200	6810	2770
Aug	6430	6690	3410
Sep	4960	5930	3990
Oct	3460	4790	4010
Nov	2280	3630	3540
Dec	1770	3010	3120
Year	4510	5160	3330

$H_h$ : Irradiation on horizontal plane ( $Wh/m^2$ )

$H_{opt}$ : Irradiation on optimally inclined plane ( $Wh/m^2$ )

$H(90)$ : Irradiation on plane at angle: 90deg. ( $Wh/m^2$ )

$I_{opt}$ : Optimal inclination (deg.)



variazione dell'irradiazione su un piano orizzontale, su un piano con inclinazione ottimale ( 33°) e su un piano a 90°



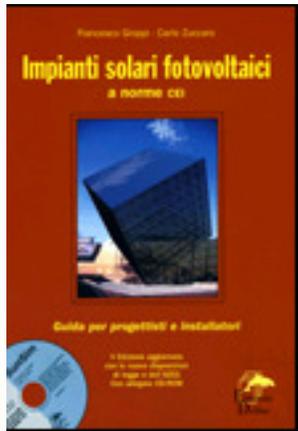
## Grazie per l'attenzione

**Seminario tecnico sugli impianti fotovoltaici per amministrazioni ed enti pubblici**  
20 Aprile 2009- Locali dell'ex Comunità montana  
Viale Trieste, 66  
Nuoro - Italia



Carla Sanna  
sanna@sardegna ricerche.it

## Letture consigliate



Francesco Groppi, Carlo Zuccaro  
**Impianti Solari Fotovoltaici a Norme CEI.**  
**Guida per progettisti e installatori**  
V Edizione Aggiornata 2008  
Editoriale Delfino - maggio 2008



Antony Falk; Duerschner Christian, Karl Hein Remmers  
**Il fotovoltaico per professionisti**  
Ed. SOLARPRAXIS AG

- Un dato sorprendente ...

■ Superficie di moduli FV sufficiente per coprire l'attuale fabbisogno mondiale di energia elettrica

