

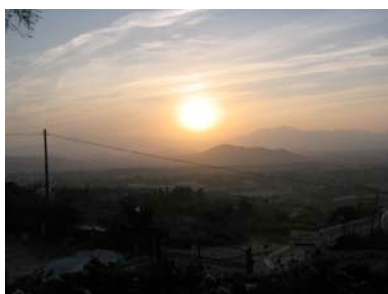
Energia Fotovoltaica : Orientamento dei Pannelli



26 Gennaio 2006, Volume 1, numero 1.

Caratteristiche di irraggiamento

In questa compendio sono presentati i principi base per calcolare l'orientamento ottimale dei pannelli solari e sono presentate le equazioni necessarie per effettuare le stime di irraggiamento di un sito localizzato ad una certa latitudine, in un determinato giorno, ad una determinata ora.



Tutti noi sappiamo che durante la stagione estiva il sole brilla per un periodo di tempo maggiore rispetto alla stagione invernale. D'altro

canto poche persone sanno che il numero totale di ore di irraggiamento all'anno è costante in qualsiasi parte della terra. Questo vuol dire che il polo Nord e il deserto del Sahara ricevono esattamente lo stesso numero di ore di irraggiamento. In effetti, se è vero che il Polo Nord ha sei mesi di notte, è altrettanto vero che è giorno durante la restante parte dell'anno. Perché allora il deserto del Sahara è molto più caldo del Polo Nord? Per rispondere a questa domanda dobbiamo considerare che i raggi solari che arrivano sul deserto del Sahara devono attraversare una parte di atmosfera molto fine, direttamente perpendicolarmente alla superficie terrestre. I raggi che arrivano al Polo Nord, al contrario, arrivano sempre con una inclinazione molto bassa rispetto all'orizzonte e devono attraversare una grande porzione di

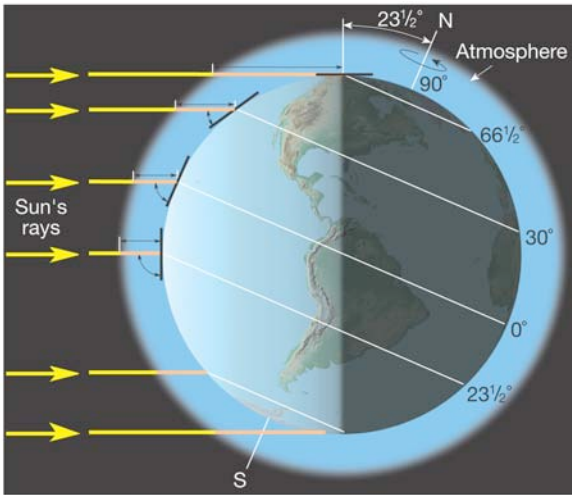
atmosfera che assorbe quasi completamente la loro energia. Risulta ora chiaro che i raggi che arrivano al Polo Nord sono molto meno energetici di quelli che rendono il deserto del Sahara uno dei luoghi più inospitali della terra.

Ma quale è la distanza del sole dalla Terra?

La terra ruota continuamente intorno al sole e la sua distanza dipende dal periodo dell'anno. In linea generale, la distanza tra la terra e il sole può essere calcolata con la formula:

$$d = 1,5 \times 10^{11} \left\{ 1 + 0,0117 \sin \left[\frac{360(n - 93)}{365} \right] \right\}$$

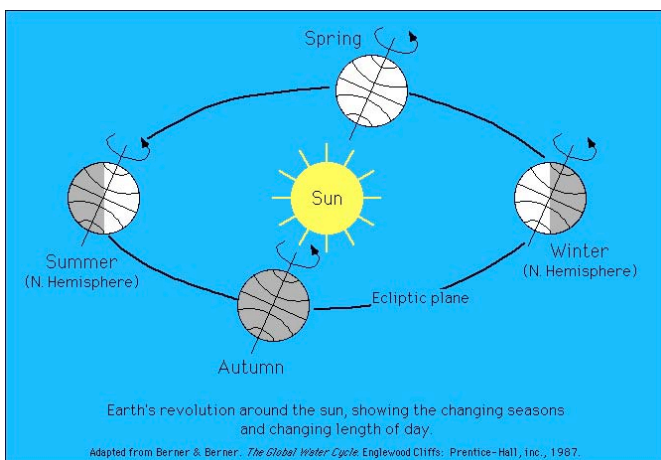
In questo caso n rappresenta il numero di giorni dall'inizio dell'anno e n = 1 è il primo Gennaio. La Terra non ruota solo attorno al sole, ma anche attorno al proprio asse. L'asse terrestre è inoltre inclinato di $\Phi_T = 23,45^\circ$ rispetto al piano di rotazione attorno al sole. Per questo motivo il sole è più alto



nel cielo durante la stagione estiva che durante la stagione invernale.

La figura seguente mostra chiaramente come, durante il periodo invernale (winter), l'emisfero settentrionale sia più lontano dal sole: i raggi solari arrivano con una maggiore inclinazione, attraversano più atmosfera e quindi trasportano meno energia sulla superficie.

Dalla figura seguente risulta anche chiaro come i raggi solari, nel primo giorno d'estate, arrivino perpendicolari solo nella zona del tropico del Cancro, e cioè nelle zone con una latitudine di 23,45° Nord, pari all'inclinazione dell'asse terrestre. Chiaramente, nel primo giorno d'inverno, i raggi solari saranno perpendicolari alla zona del Tropico del Capricorno, che corrisponde ad una latitudine di 23,45° Sud rispetto all'equatore.



Nel primo giorno di primavera e d'autunno il sole è direttamente perpendicolare all'equatore.

Declinazione δ

Il sole è a Sud dell'equatore dall'autunno alla primavera ed è a Nord dell'equatore dalla primavera all'autunno.

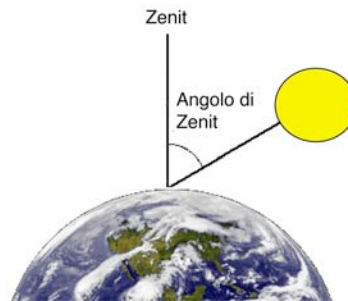
L'angolo di deviazione del sole da direttamente sopra l'equatore si chiama declinazione e si indica con δ . Se consideriamo positivo l'angolo che esprime la declinazione del sole quando è a Nord dell'equatore (e negativa quando è a Sud) possiamo allora esprimere la declinazione in ogni giorno dell'anno n con la formula:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360(n - 80)}{365} \right]$$

Questa formula ovviamente è solo una approssimazione perché l'anno non è sempre di 365 giorni. In ogni caso la nostra formula è più che sufficiente per i calcoli che verranno effettuati in seguito.

Zenit

Lo zenit è una linea perpendicolare alla superficie terrestre in ogni suo punto. L'angolo di zenit θ_z esprime l'angolo tra il sole e lo zenit.



La declinazione e l'angolo di zenit possono essere messi in relazione quando il sole è nel suo punto più alto, il mezzogiorno solare.

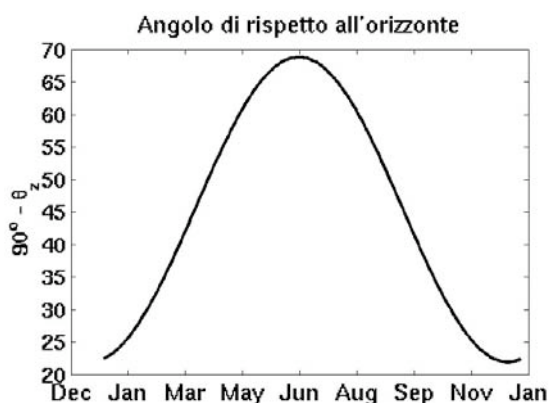
Consideriamo di essere in estate, a mezzogiorno, e facciamo l'ipotesi di essere seduti sul tropico del cancro. In questo caso il sole sarebbe direttamente sopra di noi, esattamente nella direzione dello Zenit. Siccome noi non siamo in estate e non siamo seduti sul tropico del cancro, ma in una zona con una latitudine ϕ (44° 38' 50" Saluzzo; 38° 44' N Lisbona), possiamo esprimere l'angolo di zenit in ogni giorno dell'anno n come:

$$\theta_z = \phi - \delta = \phi - 23,45^\circ \sin \left[\frac{360(n - 80)}{365} \right]$$

Ovviamente la relazione precedente è valida solo a mezzogiorno di ogni singolo giorno n , quando il sole è nel suo punto più alto.

La relazione precedente permette di calcolare il punto più alto raggiunto dal sole nel giorno n ad una qualsiasi latitudine Φ .

Il complementare dell'angolo di zenith è denominato elevazione solare α e rappresenta l'angolo tra l'orizzonte e il raggio solare incidente sulla terra.



Come convertire misure in gradi minuti e secondi in gradi decimali

Con l'uso del GPS si è anche diffuso l'uso di coordinate diverse dalle classiche in gradi minuti e secondi. Quindi è utile saper convertire. In questo caso, per esempio per convertire la latitudine di Saluzzo $44^{\circ} 38' 50''$ possiamo procedere e trasformare tutto in secondi e in seguito dividere il risultato per il numero totale di secondi per ogni grado (= 3600) e quindi ottenere $[(44 \cdot 60 + 38) \cdot 60 + 50] = 44.6472^{\circ}$.

Zone Polari

Utilizzando le equazioni precedenti siamo ora in grado di calcolare l'angolo di zenith, e cioè l'angolo di sfasamento tra l'altezza del sole a mezzogiorno e la linea immaginaria che entra perpendicolarmente dentro la superficie terrestre. A questo punto possiamo già intuire che se l'angolo di zenith è superiore a 90° in un dato giorno significa che quel giorno il punto più alto del sole sarà sotto l'orizzonte: il sole non sorgerà. Se consideriamo le zone con una latitudine

$$\phi > 90 - 23,45^{\circ} = 66,55^{\circ}$$

allora sappiamo che, per esempio in inverno (quando la declinazione $\delta < 0$) nell'emisfero settentrionale, ci saranno dei giorni per cui l'angolo di zenith sarà superiore a 90 . Maggiore è la latitudine, maggiore è il periodo di tempo in cui il sole non si alza sopra l'orizzonte. Ovviamente in estate si verifica il processo inverso, con il sole che non tramonta per lunghi periodi.

Inseguire il sole

I raggi solari devono attraversare l'atmosfera prima di raggiungere la superficie terrestre. Maggiore è lo strato di atmosfera attraversato minore sarà l'intensità dei raggi solari che raggiungeranno il suolo. Tutti noi possiamo intuire che quando il sole è basso sull'orizzonte i suoi raggi devono attraversare molta più atmosfera che quando il sole è a picco. Possiamo quindi dire che il grado di smorzamento dei raggi solari sarà proporzionale all'altezza solare α . Se definiamo $AM(90^{\circ})$ i raggi solari che arriverebbero a terra se il sole fosse perfettamente a picco su di noi, possiamo calcolare l'inten-

$$AM = AM(90^{\circ}) \csc(\alpha)$$

sità dei raggi quando il sole è ad una altezza α con la formula:

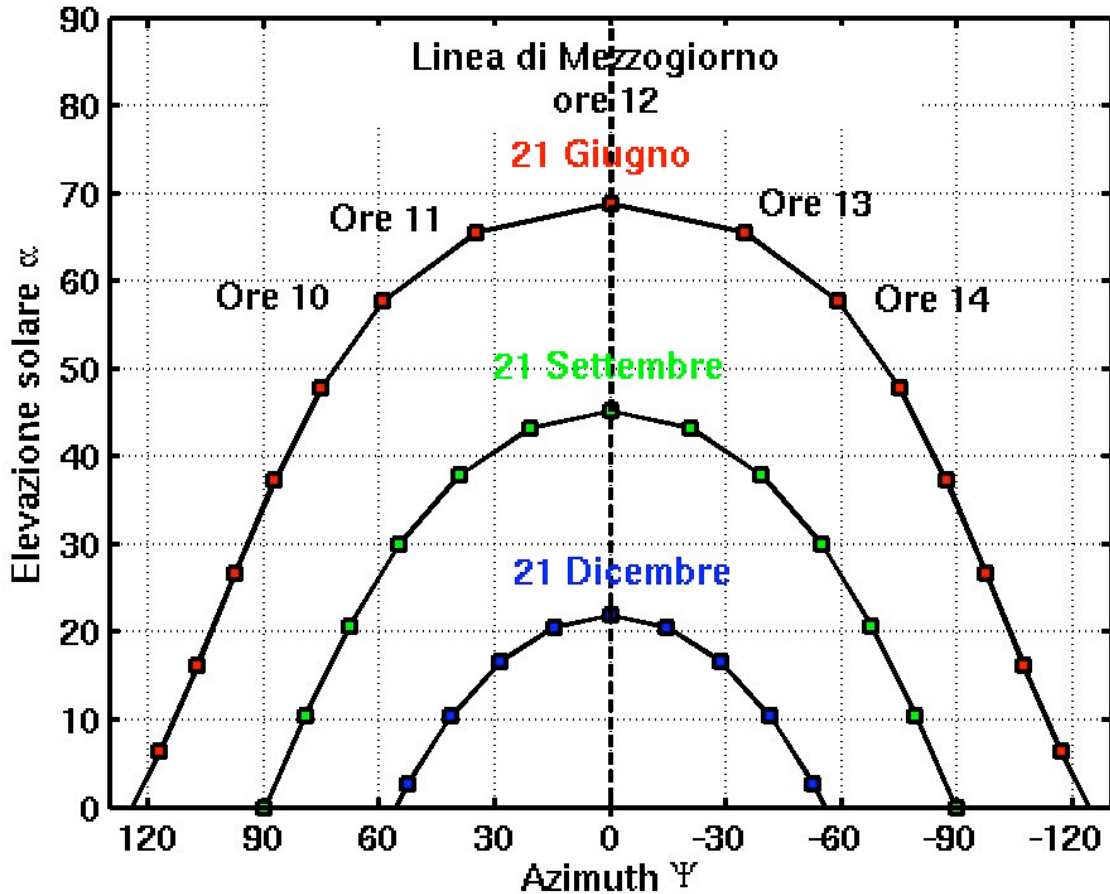
Si definisce A_0 l'irraggiamento che riceve un oggetto subito fuori dall'atmosfera terrestre ed è pari a 1367 W/m^2 . Si definisce A_1 la parte di irraggiamento che raggiunge la terra dopo essere stata assorbita dall'atmosfera ed è pari a 1000 W/m^2 .

Azimut Ψ e angolo orario ω

Definiamo angolo di azimut l'angolo di deviazione del sole rispetto al Sud. A mezzogiorno l'angolo di azimut è zero. Di mattina sarà verso Est (levante) e di sera verso Ovest (ponente).

Un'altra grandezza utile anche se ridondante è l'angolo orario ω che descrive la differenza tra la posizione a mezzogiorno e la posizione in una determinata ora rispetto al piano apparente di movimento del sole. L'angolo orario varia come:

Grafico Elevazione Solare α vs Azimuth Ψ



utile in quanto ci permette di calcolare le ore di sole che ci saranno in un dato giorno n ad una determinata latitudine. Le ore di luce saranno quindi:

$$\omega = \frac{12 - T}{24} \times 360^\circ = 15(12 - T)^\circ$$

dove T è l'ora del giorno espressa rispetto alla mezzanotte in unità di 24 ore.

$$DH = \frac{2\omega_s}{360} \times 24 = \frac{\cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)}{7.5} \text{ ore}$$

Quindi per esempio alle 00:00 o alle 24 il sole sarà a $\pm 180^\circ$ e cioè esattamente dall'altra parte della terra rispetto al nostro mezzogiorno.

Diagramma altezza :: azimuth.

Un diagramma molto utile è quello che esprime l'altezza solare e l'angolo di azimuth in un dato locale, ad un dato giorno, ad una data ora del giorno.

È possibile relazionare la latitudine e la declinazione per ottenere l'angolo di nascita del sole in un dato locale al giorno n secondo la formula:

In particolare le formule sono:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$\alpha = \sin^{-1} [\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega]$$

e

Sappiamo inoltre che l'angolo che corrisponde al tramonto sarà pari a $-\omega_s$. In questo modo possiamo sapere con precisione quando sorgerà e quando tramonterà il sole. Questa formula è molto

$$\cos \psi = \left[\frac{\sin \alpha \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi} \right]$$

La figura soprastante esprime il grafico dell'elevazione solare rispetto all'azimuth. Per quest'ultimo

angolo dobbiamo ricordare che l'azimuth è zero a mezzogiorno, positivo quando è verso est e cioè di mattina mentre ed è negativo di pomeriggio.

Contatti:

Geom. Mauro Bellino Roci,
Div. Amministrazione e Logistica.
mauro.bellino@iscat.com

Dr. Ing. Gian Luca Delzanno,
Div. Ricerca e Sviluppo.
delzanno@iscat.com

Dr. Ing. Gianfranco Sorasio,
Sistemi Energetici.
sorasio@iscat.com

Riferimenti

Le note raccolte in questa newsletter sono state redatte utilizzando informazioni presenti sui libri di testo che trattano le problematiche relative allo sviluppo dei sistemi energetici da fonte rinnovabile. In particolare si consigliano le seguenti referenze:

- I. Photovoltaic Systems Engineering, seconda edizione, Roger A. Messenger e Jerry Ventre, CRC Press, 2003.

Redatto da:

Prof. Dr. Gianfranco Sorasio

Lisbona, 29 Gennaio, 2006.

ISCAT s.r.l.

ISCAT s.r.l. è una società di ricerca e sviluppo.

ISCAT s.r.l. esegue studi di fattibilità, progetta, richiede le licenze, vende e costruisce sistemi e impianti di produzione energetica sia di piccole (1 kW) che di medie dimensioni (< 50 kW).

ISCAT s.r.l. progetta sistemi e modelli innovativi per i clienti più esigenti e garantisce uno standard unico sul mercato utilizzando solo materiali di ultima generazione.

Chi acquista una centrale energetica solare ISCAT compra qualità, competenza, affidabilità e innovazione.

I modelli più avanzati, il design unico, la ricerca dell'efficienza più elevata per un ambiente migliore.