

Disponibilità energetica di origine solare in provincia di Piacenza

A cura di Gabriele Antolini, Vittorio Marletto, Francesco Dottori

Area Agrometeorologia e Territorio
Servizio IdroMeteorologico
Arpa Emilia-Romagna

Agosto 2007

Indice

Introduzione	3
La radiazione solare	3
Metodologia	4
Dati utilizzati	5
Risultati	5
Conclusioni	6
Bibliografia	12
Appendice	13
<i>Breve descrizione del software PRAGA</i>	<i>13</i>
<i>Il modulo "radiazione"</i>	<i>13</i>

Introduzione

La presente relazione intende illustrare l'attività svolta da ARPA-SIM riguardo lo sviluppo di algoritmi per il calcolo della radiazione solare in un territorio ad orografia complessa e l'applicazione degli stessi sul territorio della provincia di Piacenza. I risultati del presente studio intendono essere d'ausilio ai principali strumenti di pianificazione provinciali, come previsto nella convenzione tra ARPA-SIM e Provincia di Piacenza.

L'attività si è articolata nei seguenti punti:

- ricerca bibliografica dei diversi algoritmi per la stima della radiazione solare e individuazione di quelli più idonei per le finalità applicative;
- implementazione degli algoritmi nel software PRAGA;
- creazione di un database di dati misurati di radiazione globale oraria per la provincia di Piacenza;
- produzione di mappe di radiazione media annuale sul territorio provinciale.

La radiazione solare

La radiazione solare rappresenta il 99.9% dell'energia disponibile sulla Terra, ed è alla base dei principali processi fisici e biologici sulla Terra. Essa regola i movimenti atmosferici e oceanici, il ciclo dell'acqua e la produzione primaria attraverso i processi di fotosintesi ed evapotraspirazione. La radianza è l'energia emessa, sotto forma di onda elettromagnetica, da qualsiasi corpo a temperatura superiore a 0 K. L'energia contenuta nell'onda dipende dalla sua frequenza. L'*irradianza* è definita come la densità di flusso radiante incidente su una superficie, cioè l'energia sotto forma di onda elettromagnetica che incide sulla superficie stessa per unità di tempo e per unità di area, e si misura secondo il Sistema Internazionale in $W m^{-2}$. La *radiazione* è solitamente definita come l'integrale temporale dell'irradianza.

La radiazione solare è costituita da onde di lunghezza variabile, prevalentemente nel visibile e nell'ultravioletto. L'irradianza media alla superficie esterna dell'atmosfera è detta *costante solare* ed è pari a $1360 W m^{-2}$.

L'irradianza alla superficie terrestre dipende da diversi fattori:

- geometria del sistema Terra-Sole;
- orografia;
- attenuazione atmosferica.

I fattori geometrici dipendono dal moto di rotazione e rivoluzione della Terra, che determinano gli angoli di elevazione e di azimut del Sole. La radiazione extraterrestre è determinata esclusivamente da questi fattori, e può essere calcolata con precisi calcoli geometrici.

L'irradianza che raggiunge la superficie terrestre dipende poi dall'orografia, in particolare dalla pendenza e dall'inclinazione della superficie ricevente, e dagli effetti di ombreggiamento dovuti agli ostacoli orografici. L'altitudine inoltre determina lo spessore di atmosfera attraversato. Anche questi fattori sono modellizzabili con un elevato grado di accuratezza.

La radiazione solare che attraversa l'atmosfera è poi attenuata dai diversi costituenti atmosferici: particelle gassose, liquide e solide e nuvole, la cui modellazione è possibile con un grado di accuratezza che dipende dalla dinamicità dell'atmosfera. L'attenuazione dei componenti gassosi determina l'atmosfera limpida e asciutta, ed è parametrizzata attraverso lo spessore ottico di

Rayleigh. L'attenuazione da parte dell'aerosol atmosferico (particelle liquide e solide) è descritto dal coefficiente di torbidità di Linke, e rappresenta un'atmosfera in generale torbida e umida. In generale tale coefficiente varia tra 3 (aria pulita) e 7 (aria molto inquinata). La variabilità spaziale e temporale della torbidità e del contenuto di acqua in atmosfera può renderne problematica la modellizzazione.

La nuvolosità è la causa di maggiore attenuazione della radiazione solare. Una sua modellizzazione accurata richiederebbe la conoscenza delle proprietà ottiche istantanee delle nubi, il che è impossibile nella pratica. Perciò si ricorre solitamente ad approssimazioni basate su leggi empiriche.

La porzione di radiazione che raggiunge direttamente la superficie, e non è soggetta a fenomeni di riflessione o diffusione, è detta radiazione *diretta*. La radiazione *diffusa* è invece la porzione che è soggetta allo scattering atmosferico. Infine, la radiazione *riflessa* è quella che raggiunge una superficie inclinata dopo riflessione dal terreno. La somma di queste tre componenti costituisce la radiazione *globale*.

Metodologia

I due algoritmi per il calcolo della radiazione sono stati implementati in PRAGA, che è il programma di gestione dati e modellistica agrometeorologica attualmente utilizzato presso ARPA-SIM. Gli algoritmi derivano dal codice contenuto nel modulo R.SUN del software GRASS-GIS (<http://grass.itc.it>) e sul lavoro di Erin Brooks (2003). Per una descrizione dettagliata di PRAGA, degli algoritmi contenuti nel modulo di radiazione, e del loro utilizzo si rimanda all'appendice.

Per la produzione delle mappe per la provincia di Piacenza si sono utilizzati gli algoritmi basati su r.sun, più precisi e completi.

I parametri principali del modello sono:

- albedo superficiale;
- coefficiente di torbidità di Linke;
- distanza di calcolo per l'ombreggiamento;
- inclinazione e orientamento della superficie ricevente;
- passo temporale per l'integrazione.

L'albedo superficiale e il coefficiente di Linke determinano rispettivamente la componente radiativa riflessa e l'attenuazione dovuta alla torbidità dell'aria, di cui ancora non si hanno a disposizione mappe per descriverne la variabilità spaziale. La radiazione riflessa come vedremo è comunque una percentuale molto bassa rispetto alle componenti diretta e diffusa. Per questo l'albedo superficiale è stato fissato a 0.2 su tutto il territorio, in attesa di valori più accurati e precisi. Il coefficiente di Linke è un parametro più critico poiché determina le componenti radiative più rilevanti. La sua variabilità spaziale è legato sostanzialmente all'uso del suolo, risultando più torbida l'aria in corrispondenza di aree urbane e industriali, e alla quota. Tale coefficiente è caratterizzato anche da una certa variabilità interannuale. In questo studio si sono utilizzati due zone di riferimento, per i quali i dodici valori mensili sono stati ottenuti dal sito <http://www.soda-is.com>, uno per la zona corrispondente alla zona di Piacenza ad una quota di 100 m sul livello del mare, e uno nella zona sud del territorio provinciale a quota 1000 m. I valori su ogni punto del territorio sono interpolati linearmente all'interno del modello in base a questi due valori e alla quota.

La distanza di calcolo per l'ombreggiamento è stata fissata pari alla risoluzione del modello digitale del terreno (DTM), cioè 900 m o 90 m.

Le elaborazioni sono state realizzate con inclinazione orizzontale e ottimale. L'inclinazione ottimale è stata calcolata a passo di 900 m, individuando per ogni punto di calcolo quella che massimizza la radiazione globale reale (sul periodo 2006).

Il passo temporale per l'integrazione è stato scelto pari alla frequenza dei dati di radiazione misurata, vale a dire 1 ora. Il calcolo della trasmittività è stato eseguito a passo giornaliero, tramite

il confronto tra valore integrato delle misure di irradianza globale oraria e il corrispondente valore integrato potenziale.

Dati utilizzati

I dati disponibili provengono dall'archivio ARPA-SIM. Le stazioni piacentine (fig. 1) che dispongono di misure di irradianza globale media oraria sono due: la stazione di Piacenza, appartenente alla rete urbana ARPA-SIM, a quota 125 m, e la stazione di Teruzzi, comune di Morfasso, a quota 1077 m, della rete SIMN (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale). I dati delle stazioni sono sottoposte a controllo di qualità di tipo sintattico, climatologico e spaziale. In più si sono eseguiti confronti a coppie di stazioni per verificarne la coerenza spaziale. La consistenza dei dati è variabile da stazione a stazione, pertanto per garantire una certa omogeneità spaziale si è deciso di effettuare le elaborazioni per l'anno 2006, per il quale sono disponibili pressoché tutti i dati orari di tutte le stazioni considerate.

In figura 1 è mostrato anche il modello digitale di elevazione del terreno utilizzato nelle elaborazioni presentate, di risoluzione 90 m ed esteso anche 5 km fuori dal territorio in esame per considerare meglio gli effetti ai bordi. Il dato di quota è necessario per una corretta stima dello spessore ottico dell'atmosfera, e per considerare l'ombreggiamento.

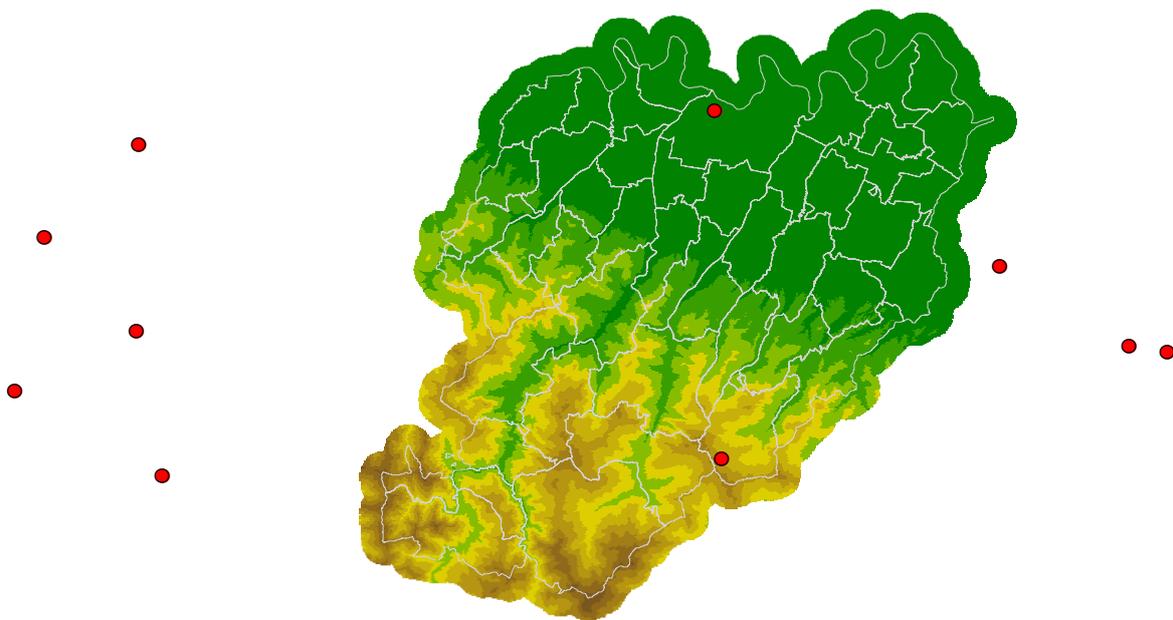


Figura 1 - Stazioni e modello digitale del terreno (DEM).

Risultati

Al fine di evidenziare i processi fisici che contribuiscono alla variabilità spaziale della radiazione disponibile alla superficie, si sono eseguite elaborazioni per passi successivi, aumentando la complessità della modellazione.

Considerando l'elevato tempo di calcolo necessario, tali elaborazioni sono state eseguite alla risoluzione di 900 m, mentre a 90 m è stata realizzata la mappa di radiazione annua reale con inclinazione ottimale.

In figura 2 è rappresentata la mappa di radiazione annua extraterrestre orizzontale, cioè su una superficie tangente la sfera terrestre. La variabilità spaziale è dovuta solo al gradiente latitudinale, la differenza tra nord e sud del territorio piacentino è di soli 23 kWh m⁻².

La mappa di figura 3 risulta dall'elaborazione in cui è considerato la radiazione di cielo sereno (senza nuvole) e con torbidità nulla ($Linke = 1$), su superficie orizzontale introducendo solo l'effetto

della differenza di spessore ottico e l'ombreggiamento dovuti all'orografia. La variabilità è molto più accentuata, con valori più alti in pianura e nei rilievi più esposti e valori più bassi in corrispondenza delle valli meno esposte. In alta montagna la variabilità è particolarmente variabile, con aree contigue che presentano differenze di oltre 400 kWh m⁻² all'anno.

Se s'inserisce un fattore di torbidità decrescente con la quota, si ottiene la mappa di figura 4. I valori di radiazione al suolo subiscono una sensibile riduzione, in pianura fino a oltre il 20%. Da qui è evidente come sia necessario conoscere dettagliatamente e accuratamente i valori di torbidità nel territorio in esame e la sua variabilità temporale e spaziale. La radiazione è globalmente crescente con la quota. Nel territorio in esame, l'effetto della torbidità sul gradiente Nord-Sud si somma a quello della latitudine, anche se il primo è nettamente predominante.

Introducendo la stima della nuvolosità reale, si osserva un cambiamento nei pattern spaziali della radiazione globale su superficie orizzontale: l'attenuazione della radiazione globale annua dovuta alla nuvolosità e alle nebbie (stimata ora in base alle misure di radiazione globale giornaliera) è di circa il 23-25% in pianura, mentre in montagna la differenza è più variabile, nell'intervallo 26-33%.

In figura 6 è riportato il grafico cartesiano in cui si confrontano i dati di radiazione globale oraria misurata nelle due stazioni piacentine (Piacenza e Teruzzi), che rappresenta uno strumento di validazione e analisi dei dati: il coefficiente di determinazione R² superiore a 0.8 e il coefficiente della retta di regressione molto vicino a 1 indicano un'elevata correlazione tra le due stazioni. Le misure che si discostano dalla retta di regressione sono legate a condizioni di nuvolosità diverse tra pianura e montagna; tra queste sono più frequenti le giornate di nuvolosità ad alta quota.

In figura 7 è riportata la mappa d'inclinazione ottimale della superficie ricevente. È evidente l'elevata variabilità spaziale, che non è dovuta alla latitudine, il cui effetto a questa scala è trascurabile, ma al rapporto tra radiazione diretta e diffusa. La prima è massimizzata infatti da una superficie perpendicolare ai raggi solari, la seconda è massima a inclinazione nulla. Ne consegue pertanto che la pendenza ottimale dipende dalla nuvolosità media.

La mappa di radiazione reale globale annua ottenuta con un'inclinazione ottimale (fig. 8) evidenzia il guadagno energetico che è possibile guadagnare di circa il 20% in pianura e fino al 23% in montagna (fig. 9).

Conclusioni

I risultati ottenuti con la metodologia descritta differiscono in maniera abbastanza sostanziale da quelli presentati nello studio preliminare condotto dalla Provincia di Piacenza, secondo cui *"tutto il territorio provinciale risulta positivamente adatto all'utilizzo dell'energia solare, in particolare in collina e montagna, dove con esposizione meridionale ed orizzonte libero si può arrivare ad avere circa il 12-13% di radiazione solare in più rispetto alla pianura più settentrionale"*. Dai risultati ottenuti emerge invece che la pianura è l'area in cui la disponibilità radiativa globale è mediamente maggiore rispetto alla montagna, anche se di poco (circa il 5%), a causa della frequente nuvolosità della zona più elevata. Per quanto riguarda i valori assoluti, dal presente studio emerge che in pianura la disponibilità energetica annua su superficie orizzontale è mediamente di circa 1400 kWh m⁻², superiore rispetto allo studio precedente, in cui si sono stimati valori tra 1250 e 1300 kWh m⁻²; in montagna i valori ottenuti sono mediamente tra i 1360 e i 1320 kWh m⁻², anche se localmente (soprattutto in alta quota con versante ben esposto si possono raggiungere i 1400 kWh m⁻²).

Utilizzando un'inclinazione fissa che rappresenta la media annuale ottimale è possibile guadagnare circa il 20% di guadagno energetico. In questo caso in pianura e in alta quota si ottengono circa 1700 kWh m⁻², (valore superiore a quello stimato da PVGIS per quanto riguarda la pianura), in collina circa 1600 kWh m⁻².

Lo studio preliminare era basato sulla banca dati PVGIS (PhotoVoltaic Geographical Information System), realizzato dal JRC (Joint Research Centre), il centro ricerche della Commissione Europea, in base ad una metodologia adeguata alla scala Europea, pertanto differente da questa. Le differenze fondamentali sono legate al passo temporale di analisi e nella metodologia di calcolo della radiazione reale: il metodo PVGIS lavora su scala media mensile, mentre il nostro metodo esegue

l'analisi della nuvolosità ora per ora; inoltre in PVGIS si ricostruisce la nuvolosità media in base alla quota, in base ad una regressione calcolata su tutte le stazioni europee disponibili. Tra queste però non si utilizza nessuna misura di radiazione nel territorio piacentino. Pertanto è lecito supporre che il metodo presentato sia più descrittivo e produca risultati più verosimili sulla scala provinciale. Tuttavia, l'elevata sensibilità del modello nei confronti dei dati misurati, la disponibilità di sole due stazioni sul territorio provinciale e di un solo anno di dati deve far propendere per una certa cautela nel valutare i risultati. Per garantire un'affidabilità maggiore, sarebbe necessario dotarsi di altri radiometri (almeno 2 in più) rispetto agli attuali per una stima più accurata e precisa della nuvolosità.

Ulteriori sviluppi nel modulo radiazione riguarderanno la stima del potenziale fotovoltaico a livello territoriale, in base alle caratteristiche dell'impianto, inseribili dall'utente, e considerando la variabilità spaziale delle perdite per dissipazione termica.

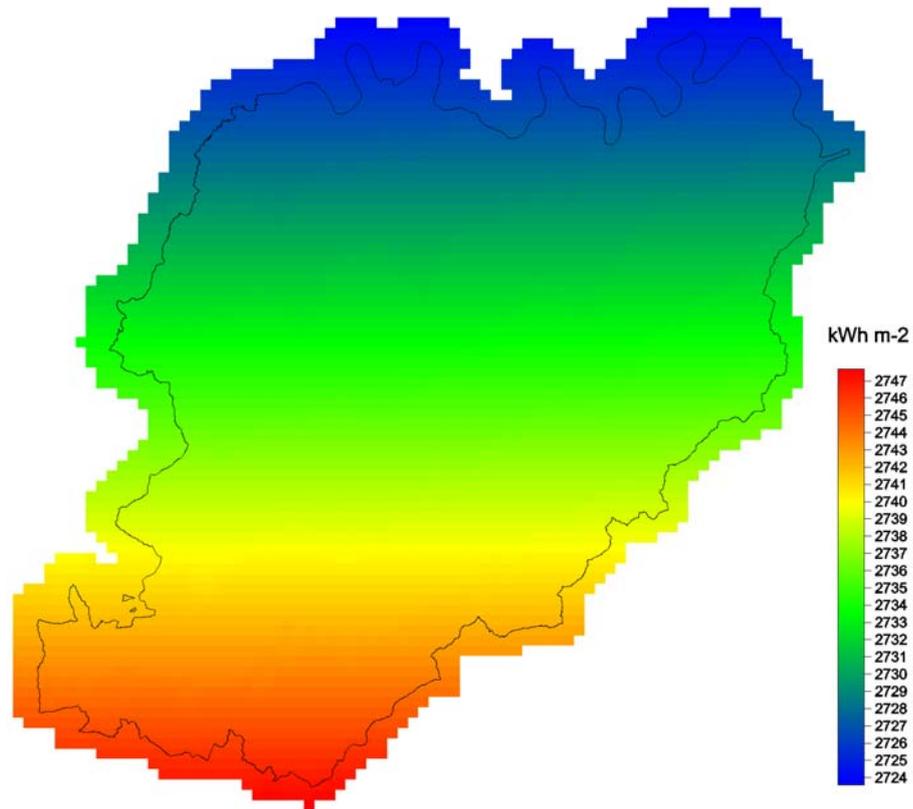


Figura 2 - Radiazione annua extraterrestre orizzontale.

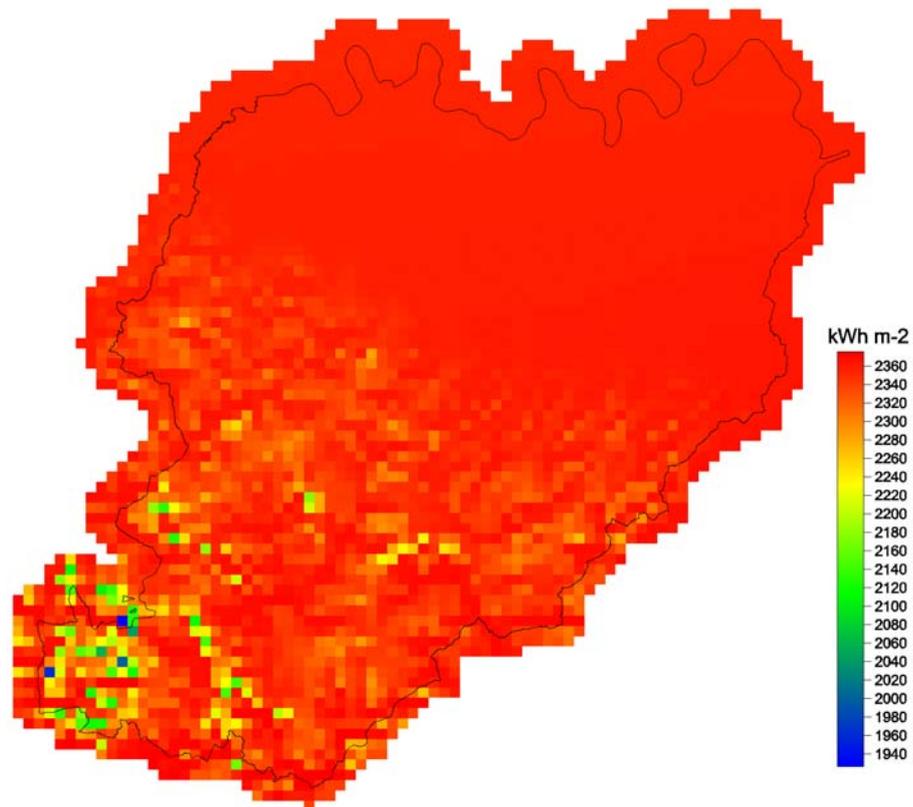


Figura 3 - Radiazione globale annua potenziale orizzontale: cielo limpido e atmosfera non torbida (coefficiente di Linke uguale a 1).

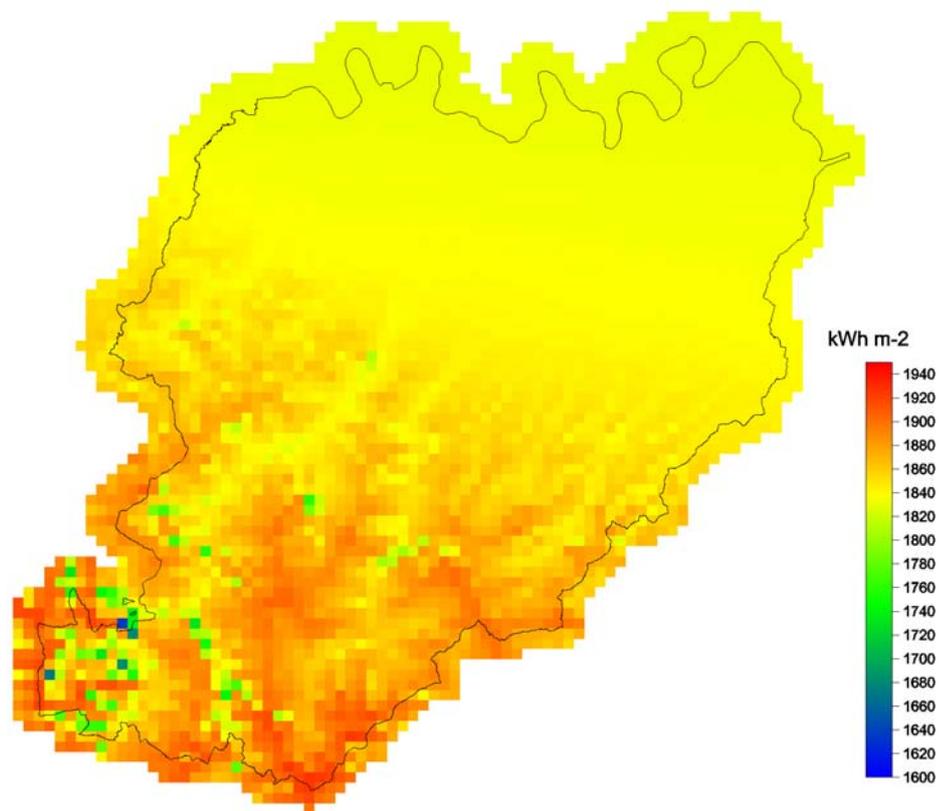


Figura 4 - Radiazione globale annua potenziale orizzontale: cielo limpido e torbidità decrescente con la quota (valori di Linke da <http://www.soda-is.com>).

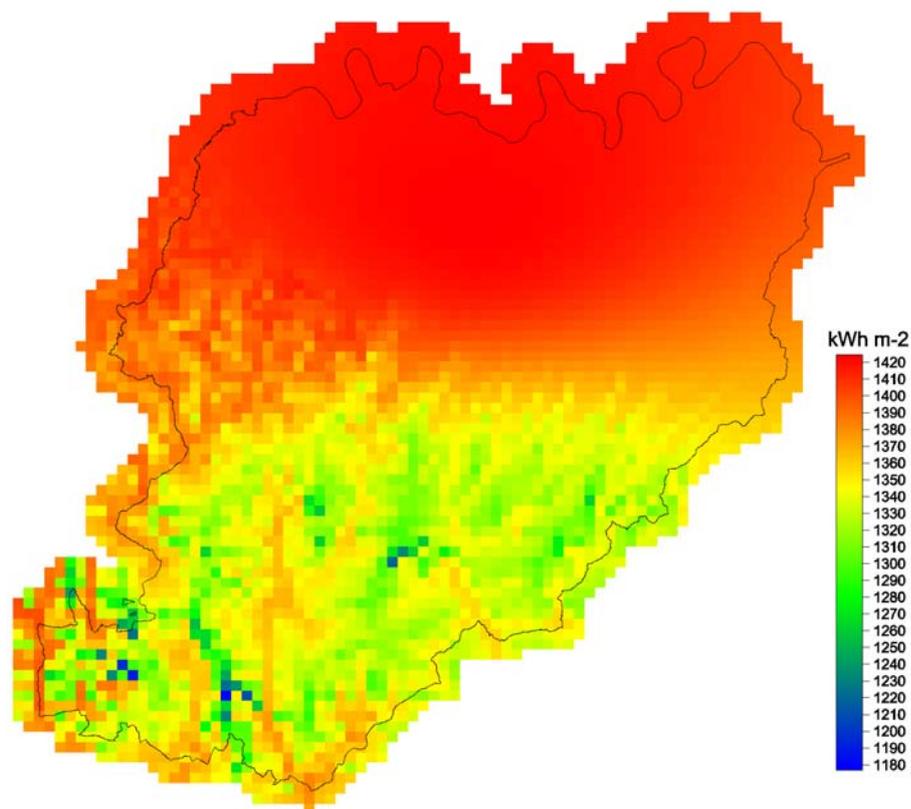


Figura 5 - Radiazione globale annua reale (anno 2006) orizzontale, torbidità decrescente con la quota (valori di Linke da <http://www.soda-is.com>).

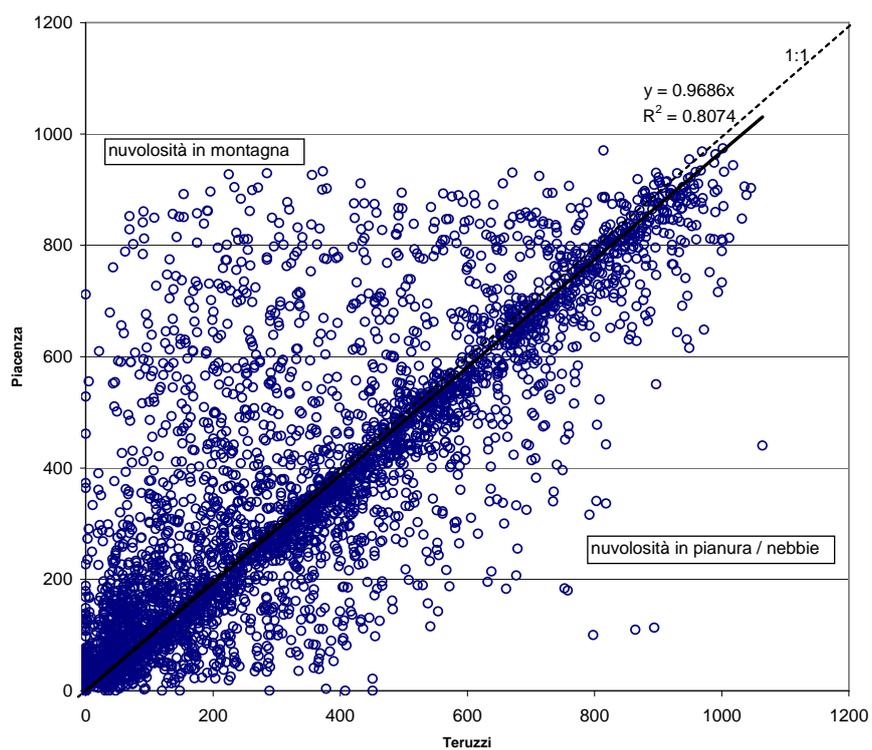


Figura 6 - Confronto tra le misure di radiazione globale oraria nelle stazioni meteorologiche di Piacenza e Teruzzi.

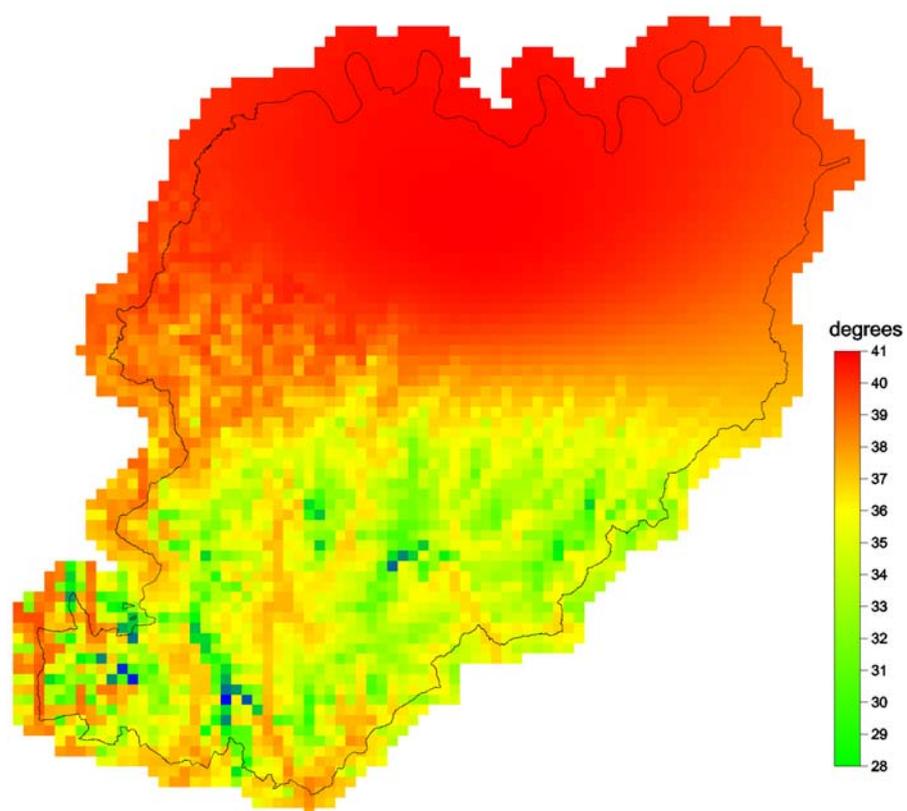


Figura 7 - Inclinazione media ottimale della superficie ricevente (periodo di calcolo 2006).

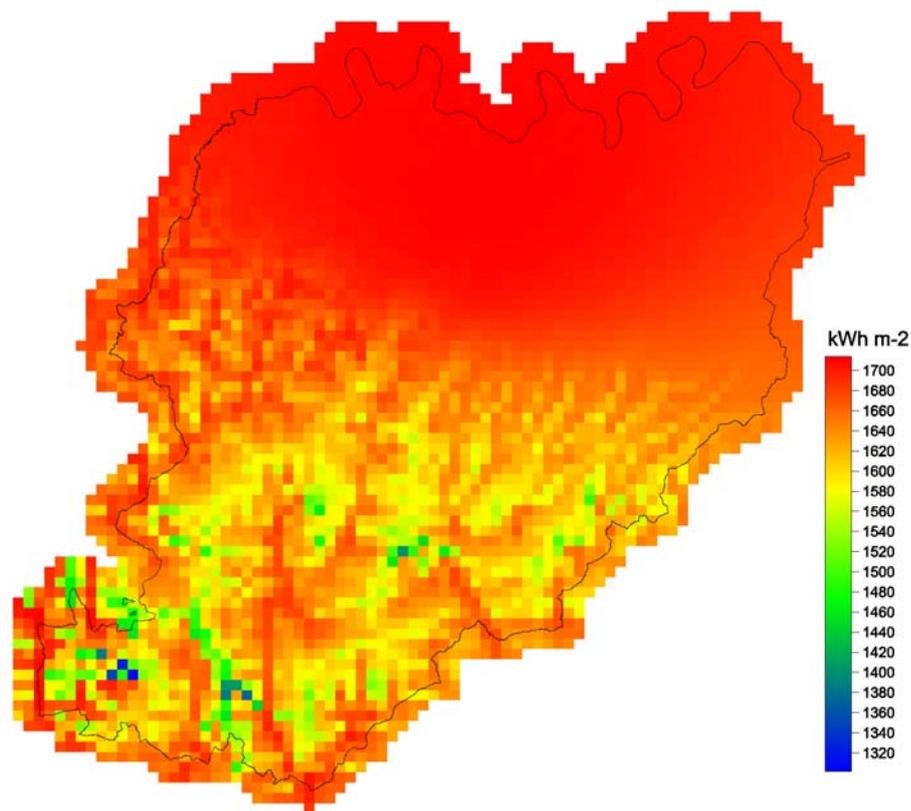


Figura 8 - Radiazione globale annua reale (anno 2006) orizzontale, torbidità decrescente con la quota (valori di Linke da <http://www.soda-is.com>).

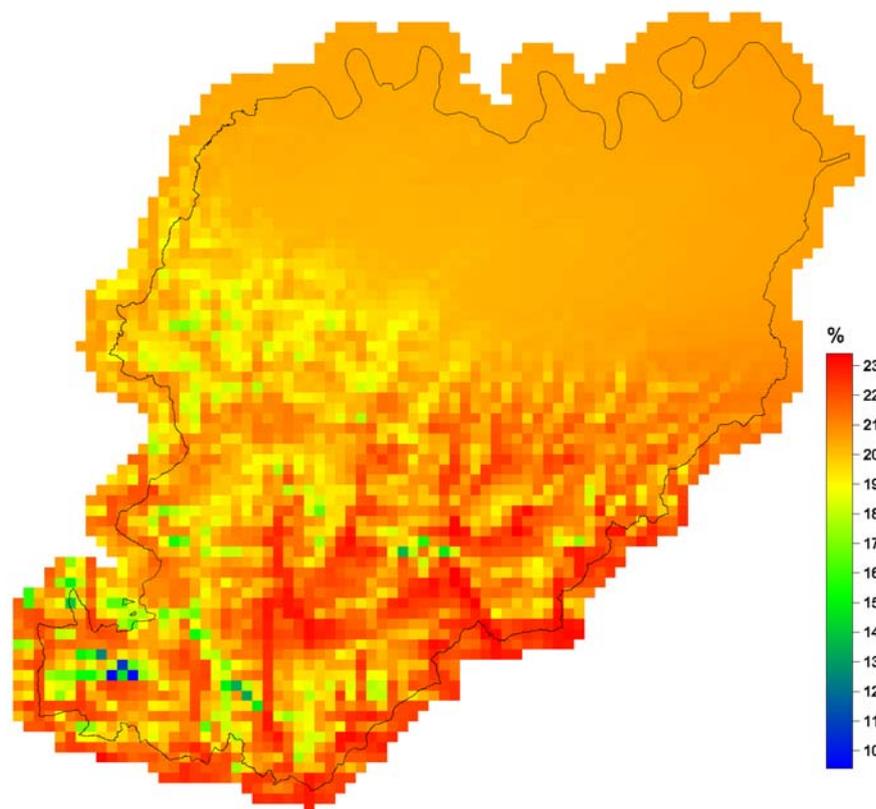


Figura 9 - Guadagno energetico percentuale che si ottiene con un'inclinazione media ottimale.

Bibliografia

Antolini G., Tomei F., 2006. PRAGA - PRogramma di Analisi e Gestione di dati Agrometeorologici. Poster presentato al convegno AIAM "Agrometeorologia e gestione delle colture agrarie", Torino, 6-8 giugno.

Brooks E., 2003. Distributed hydrologic modeling of the eastern palouse. Dissertation presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy with a major in biological and agricultural engineering. College of Graduate Studies, University of Idaho.

Hofierka J., Sári M., 2002. The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002, Trento, Italy, 11-13 september.

Winslow J.C., Hunt R.E.Jr., Piper S.C., 2001. A globally applicable model of daily solar irradiance estimated from air temperature and precipitation data.

<http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/>

<http://www.satel-light.com/>

<http://www.sipeaa.it/tools/GSRad/GSRad.htm>

<http://www.soda-is.com/eng/index.html>

Appendice

Breve descrizione del software PRAGA

PRAGA è uno strumento di gestione di dati agrometeorologici, nel tempo e nello spazio. Esso è stato sviluppato presso ARPA-SIM, dall'area ricerca e sviluppo del gruppo Agrometeorologia e Territorio. Il software permette di scaricare dati direttamente dall'archivio del Servizio IdroMeteorologico, ma può gestire anche formati di diversa provenienza

Sui dati sono effettuati controlli sintattici, climatologici e spaziali, al fine di valutarne la qualità ed eventualmente escluderli dalle analisi. PRAGA permette di interpolare sul territorio dati puntuali mediante algoritmi sviluppati e calibrati per ogni specifica grandezza. Lo strato informativo di base è costituito dal Modello Digitale del Terreno (DTM). Il processo d'interpolazione è automatizzabile, permettendo la realizzazione di banche dati in un periodo definito a priori. Da queste è possibile ottenere valori climatologici a diverse cadenze (giornalieri, decadali, mensili e annuali). Il programma è stato utilizzato sul territorio della regione Emilia-Romagna per la produzione della banca dati GIAS (Servizio Informativo Globale per l'Agricoltura) relativa al periodo 1987-2005. La flessibilità della sua struttura ne permette l'applicazione su qualunque altro territorio per il quale siano disponibili i dati necessari. Ultimamente sono stati inseriti in PRAGA alcune componenti modellistiche.

Il modulo "radiazione"

Le opzioni e i parametri per il calcolo della radiazione sono selezionabili dalla finestra attivabile dal menù Radiation→Settings, e descritta di seguito.

The screenshot shows the 'Radiation settings' dialog box with the following configuration:

- Algorithm:** Brooks, R.SUN (GRASS)
- Albedo:** Fixed (0.2), Map (Load)
- Linke turbidity:** Fixed (1), Map (Load), Monthly (Land use: Mountain)
- Period:** Istantaneous, Integration over period. From: 09/02/2007, To: 09/02/2007, Time step (h): 1. Compute annual average
- Sun position:** Compute shadowing, Distance factor: 1
- Surface tilt:** Horizontal (degrees), Inclined (Inclination: 30, Orientation: 180), Compute from DEM, Map (Load). min: 30, max: 40, step: 1. Optimize button.
- Output maps:** Beam, Diffuse, Global, Reflected, Extraterrestrial
- Real sky parameters:** Compute real data, Real data confident, Update points climatology. Clear sky transmissivity: Fixed (0.75), Modeled (Winslow et al., 200). Real sky transmissivity model: From hourly actual/potential radiatio. Transmissivity period: Daily, Dynamic.

Algorithm

Per il calcolo della radiazione è possibile scegliere fra il metodo di Brooks e il metodo R.SUN utilizzato nel programma GIS GRASS. Il metodo di Brooks contiene alcune semplificazioni: non è calcolata l'ombreggiatura, prende come riferimento la radiazione extraterrestre, non considera la torbidità atmosferica.

Albedo

Il valore di albedo della superficie topografica può essere fisso (il valore standard è 0.2), oppure tratto da una mappa di valori (caricabile con l'apposito pulsante [Load](#)).

Linke turbidity

Nota: La torbidità è utilizzata solo quando non è selezionata l'opzione [real data confident](#).

I metodi di calcolo selezionabili sono i seguenti:

- **fixed:** è utilizzato un valore costante nel tempo su tutta la mappa;
- **map:** si fa riferimento a una mappa dei valori di torbidità; è necessario caricare la mappa (pulsante [Load](#))
- **monthly:** la torbidità è calcolata mese per mese in funzione dell'uso del suolo scelto dal menu a tendina; al momento è possibile assegnare un solo uso del suolo a tutta la mappa di calcolo;
nota: la voce [Piacenza](#) permette di stimare Linke in base alla quota ed è valido per il territorio piacentino (base dati <http://www.soda-is.com>)

Period

PRAGA integra il calcolo della radiazione (in $Wh\ m^{-2}$) per il periodo di tempo scelto con i due menu a tendina, utilizzando il passo temporale scelto ([time step](#)). Scegliendo un periodo di più anni, è possibile calcolare il valore medio annuo di radiazione invece del totale sull'intero periodo. Selezionando l'opzione [Instantaneous](#), viene invece calcolata l'irradianza (espressa in $W\ m^{-2}$) alla data e all'ora selezionate.

Nota: PRAGA utilizza di default l'ora di Greenwich (Universal Time Convention) e il fuso 32 UTM come sistema di riferimento geografico; per modificare tali valori occorre utilizzare il menu [GIS / Settings](#).

Output maps

Consente di scegliere le mappe visualizzabili dopo i calcoli tramite il menu [View/Radiation](#); quelle disponibili sono:

- radiazione globale;
- radiazione diretta;
- radiazione diffusa;
- radiazione riflessa;
- radiazione extraterrestre orizzontale.

Sun position

In PRAGA è possibile considerare nei calcoli l'ombreggiatura dovuta al rilievo topografico; per ogni punto (pixel) il programma verifica la presenza di rilievi in direzione del sole, in grado di produrre ombra sufficiente a schermare la radiazione diretta, fino ad una distanza pari alla risoluzione della mappa moltiplicato per un fattore di distanza. In questo riquadro è possibile attivare o disattivare il calcolo dell'ombreggiatura e decidere il fattore di distanza.

Surface tilt

Il menu consente di assegnare l'inclinazione della superficie ricevente, scegliendo fra diverse opzioni:

- superficie orizzontale;
- assegnando un'inclinazione e un orientamento (rispetto al nord) fissi;
- calcolando inclinazione e orientamento dal DEM;

- assegnando i valori da una mappa precalcolata.

In alternativa è possibile calcolare l'inclinazione ottimale, che massimizza la radiazione su tutti i punti della mappa per il periodo considerato; in questo caso PRAGA calcola una serie di valori di radiazione, variando l'angolo di inclinazione verticale entro due valori con il passo assegnato (l'orientamento è fissato al valore scelto nella casella prima descritta); i valori che per ogni punto massimizzano la radiazione vengono salvati in una mappa a parte.

Real sky parameters

Disattivando l'opzione **Real sky** PRAGA esegue il calcolo della radiazione senza considerare l'effetto della copertura nuvolosa; altrimenti il programma calcola la radiazione reale seguendo le procedure selezionate in questo riquadro.

Per il calcolo della radiazione reale è necessario avere a disposizione dati di radiazione globale misurata a livello orario o giornaliero.

PRAGA può stimare la radiazione reale in due modi:

- in base alla radiazione potenziale, cioè la radiazione attenuata dalla sola torbidità dell'atmosfera, quindi discriminando tra torbidità e nuvolosità;
- in base alla radiazione extraterrestre, considerando globalmente l'attenuazione atmosferica (trasmissività totale), quindi senza discriminare tra torbidità e nuvolosità.

L'algoritmo R.SUN agisce in entrambe le modalità, secondo lo stato del controllo **Trasmissività totale**; il metodo di Brooks funziona solo nella seconda modalità.

Metodo trasmissività totale

In questo caso si fa riferimento ad un valore massimo di trasmissività totale. La procedura di calcolo della trasmissività massima è selezionabile dal riquadro **Clear sky transmissivity**:

- scelta di un valore fisso (**fixed**) (default da letteratura: 0.75);
- calcolo tramite il metodo di Winslow, basato sull'escursione termica giornaliera misurata, corretta dai valori climatologici calcolabili selezionando l'opzione **update point climatology**. Il calcolo della climatologia necessaria all'algoritmo di Winslow può essere effettuata una sola volta per un medesimo periodo di calcolo.

Nota: la climatologia impiegata è riferita al periodo selezionato nel riquadro **Period**; nel caso questo sia minore di un anno, PRAGA utilizza i dati climatologici dell'intero anno solare in cui ricade il periodo selezionato. Se il database meteo non contiene i dati per tutto l'anno solare, non sarà possibile effettuare i calcoli.

Metodo trasmissività parziale (solo da nuvolosità)

La radiazione reale è ottenuta moltiplicando il valore potenziale (già corretta per la torbidità) per la trasmissività reale, attraverso la procedura scelta nel riquadro **Real sky transmissivity model**.

Nota: per uniformare e poter confrontare i valori di trasmissività (totale e potenziale) ottenibili con i due metodi, la trasmissività potenziale viene sempre normalizzata con il valore di trasmissività massima presente nel riquadro **clear sky transmissivity**.

La radiazione reale si ottiene in entrambe le modalità moltiplicando la radiazione massima (extraterrestre o potenziale) per la trasmissività reale; il riquadro **Real sky transmissivity model** consente di scegliere il metodo di calcolo di questo parametro:

- **from hourly actual/potential radiation ratio:** i dati di radiazione globale oraria misurati sono confrontati con i corrispondenti valori potenziali per ottenere una serie di valori di trasmissività reale: attraverso l'interpolazione di questi si ottiene una mappa della trasmissività reale dell'area di studio;

nota: scegliendo questo metodo i valori notturni di trasmissività sono calcolati a partire da quelli diurni; le procedure possibili sono due, selezionabili dal riquadro **transmissivity**

period: **daily period** prende in esame una finestra fissa (dalle ore 0 alle ore 23), mentre con l'opzione **dynamic** si utilizza una finestra di ampiezza variabile a seconda della nuvolosità registrata (al fine di ottimizzare l'utilizzo dei dati reali);

- **from daily actual/potential radiation ratio:** si usa lo stesso procedimento del punto precedente, ma adoperando misure giornaliere di radiazione reale;
- **Winslow:** il metodo (Winslow, 2001) usa l'escursione termica giornaliera per ottenere una stima della nuvolosità e calcolare quindi la trasmissività reale.