

# METODOLOGIA PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CARTA TEMATICA DELL'IRRAGGIAMENTO AL SUOLO

M. Gasparetto\*\*, R. Gelletti\*, A. Piemonte\*\*

\*CETA Centro Ecologia Teorica e Applicata - Trieste

\*\*Centro di Eccellenza in Telegeomatica – Università di Trieste

## Riassunto

Un parametro essenziale per valutare l'economicità dell'installazione di un impianto fotovoltaico è rappresentato dal valore di radiazione al suolo. Questo dato è oggi fornito da tabelle ottenute da rilievi effettuati da centraline di rilevamento meteorologiche o da analisi satellitari, che non considerano gli effetti ambientali locali, dovuti ad esempio agli ombreggiamenti causati dall'orografia del terreno.

I valori di irraggiamento disponibili su queste tabelle risultano troppo approssimati e non utilizzabili per una valutazione economica adeguata per la scelta del sito di costruzione di un impianto fotovoltaico.

Da queste considerazioni nasce il progetto di sviluppare delle carte tematiche che rappresentino la radiazione globale reale al suolo.

Tramite strumenti software GIS si è effettuato, per un'area campione, uno studio statistico per ottenere un modello continuo della radiazione al suolo a partire dai dati discreti misurati disponibili. A tal fine si è dovuto risolvere il problema della suddivisione dei dati di irraggiamento nelle componenti di radiazione diretta e diffusa. Il modello continuo è stato quindi integrato con le informazioni sull'ombreggiamento derivanti dal modello digitale del terreno ai venticinque metri della zona considerata.

Nel lavoro vengono presentate le formule analitiche utilizzate per suddividere il dato di radiazione al suolo nelle sue due componenti e la metodologia seguita nel produrre il sistema informativo geografico della radiazione globale reale; sono inoltre riportati esempi di carte tematiche prodotte con tale metodologia.

## Abstract

In order to evaluate economical convenience of energy production by solar power, sun ground radiation values are needed. In this article are explained equations and methodology used to build maps of these values. Input data are digital terrain model of the test area and historical dataset of meteorological measurement net of Osmer FVG and ARPA Veneto.

## 1. Radiazione solare

Nel passare attraverso l'atmosfera la radiazione solare viene in parte assorbita e dispersa dai gas presenti, in particolar modo da CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, oltre che dal vapor d'acqua, dall'acqua allo stato liquido o solido presente nelle nuvole e da particelle di polvere. Questa radiazione non è completamente perduta, poichè una parte arriva al suolo come radiazione diffusa.

Per dare un ordine di grandezza dell'importanza di assorbimento e dispersione, si passa dal valore di 1353 Wm<sup>-2</sup> della costante solare (I<sub>sc</sub>) al valore massimo al suolo con cielo sereno e sole allo zenit attorno a 1000Wm<sup>-2</sup>, con valori più alti per atmosfere molto trasparenti (zone desertiche) e più bassi per atmosfere meno trasparenti (località urbane).

La radiazione globale al livello del suolo è data dalla somma della radiazione diretta (cioè quella proveniente direttamente lungo la congiungente Sole-Terra) e dalla radiazione diffusa. La frazione di radiazione diffusa dipende dall'altezza e dalla latitudine della località considerata, dalla declinazione solare, dal grado di turbidità, dalla presenza di vapor d'acqua nell'atmosfera e dalla nuvolosità.

Di solito si effettua la previsione dell'energia solare disponibile in base ai dati misurati nel passato per le località considerate. Affinchè i dati siano significativi per una previsione a lungo termine, essi devono riferirsi ad alcuni anni di rilevazioni.

### 1.1 Radiazione al di fuori dell'atmosfera

Il primo passo riguarda la ricerca dei dati che rappresentano le medie mensili della radiazione giornaliera incidente su una superficie orizzontale in assenza di atmosfera ( $H_0$ ). Questi dati sono stimabili con buona approssimazione dall'equazione [1], scegliendo per ogni mese il giorno indicato in letteratura, riportato successivamente in Tabella 1.

$$\bar{H}_0 = \frac{24}{\pi} * r * I_{sc} (\cos \phi * \cos \delta * \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} * \omega_s * \sin \phi * \sin \delta) \quad [1]$$

Mese	giorno	Data	R	$\delta$
Gennaio	17	17G	1.032	-20.9
Febbraio	47	16F	1.023	-13.0
Marzo	75	16M	1.009	-2.4
Aprile	105	15A	0.992	9.4
Maggio	135	15M	0.977	18.8
Giugno	162	11G	0.969	23.1
Luglio	198	17L	0.968	21.2
Agosto	228	16A	0.977	13.5
settembre	258	15S	0.991	2.2
Ottobre	288	15O	1.008	-9.6
novembre	318	14N	1.023	-18.9
dicembre	344	10D	1.031	-23.0

Tabella 1 - Giorno progressivo dell'anno per il calcolo delle medie mensili

Dove:

$I_{sc}$  è costante solare (energia solare incidente nell'unità di tempo su di una superficie di area unitaria disposta normalmente ai raggi in assenza di atmosfera ed alla distanza media fra Sole e Terra. Il valore considerato attualmente più attendibile è  $1353 \text{ W/m}^2$  ( $4871 \text{ kJ/m}^2\text{h}$  ;  $1164 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ ).

$r$  è il quadrato del rapporto fra distanza media Sole-Terra e la distanza nel giorno  $n$  dell'anno, è esprimibile analiticamente con buona approssimazione dall'equazione [2].

$$r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \quad [2]$$

$\phi$  è la latitudine ( emisfero settentrionale da  $0^\circ$  a  $90^\circ$ )

$\omega$  è l'angolo orario (mezzogiorno solare nullo, positivo al mattino, negativo al pomeriggio,  $15^\circ$  per ogni ora). Gli angoli d'alba e tramonto sono simmetrici rispetto al mezzogiorno solare e si possono calcolare in corrispondenza ad un angolo di incidenza di  $90^\circ$  del raggio solare con una superficie orizzontale, con l'equazione [3].

$$\cos \omega_s = -\text{tg} \phi * \text{tg} \delta \quad [3]$$

$\delta$  è la declinazione (angolo fra il raggio solare e il piano equatoriale per il piano meridiano passante per il Sole, cioè al mezzogiorno solare al meridiano considerato, assumendo il Nord positivo). Per calcolare la declinazione esiste una relazione empirica in funzione del giorno  $n$  dell'anno:

$$\delta = 23,45 * \text{sen} \left[ 360 \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad [4]$$

## 1.2 Radiazione al livello del suolo

Un dato quasi sempre disponibile ove ci sia una stazione di rilevamento agrometeorologica è il valore medio mensile della radiazione solare giornaliera incidente su di una superficie orizzontale ( $H$ ). Da questo valore è possibile stimare le componenti diretta e diffusa della radiazione solare.

Il valore medio mensile misurato  $H$  è sempre inferiore evidentemente al valore medio mensile in assenza di atmosfera  $H_0$  e si avvicina tanto più a questo quanto più il cielo è sereno; viceversa è tanto più piccolo rispetto ad  $H_0$  quanto più aumenta la nuvolosità. Si definisce l'indice di nuvolosità medio mensile  $K_h$  come il rapporto fra  $H$  e  $H_0$  [5].

$$\bar{K}_h = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad [5]$$

Questo indice può assumere valori compresi fra poco più di zero ed un massimo di circa 0.75. Dato che si può pensare che la frazione di radiazione diffusa cresca all'aumentare della nuvolosità, si è usata una relazione fra il rapporto  $H_d/H$  della media mensile della radiazione diffusa  $H_d$  e della radiazione globale  $H$  con l'indice di nuvolosità  $K_h$ .

La relazione usata per ricavare la componente di radiazione diffusa  $H_d$  è dovuta a Page, ed è riportata in equazione [6]

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.00 - 1.13 \bar{K}_h \quad [6]$$

## 2. Metodologia

Analizzando i dati delle medie mensili di irraggiamento al suolo degli ultimi cinque anni (1999 – 2003), forniti dall'Osmer del Friuli Venezia Giulia e dall'ARPA Veneto, sono state individuate per il punto baricentrico della regione, rappresentato dalla stazione meteorologica di Fagagna (UD), le giornate mensili che fornivano la curva di irraggiamento ideale (Fig.1).

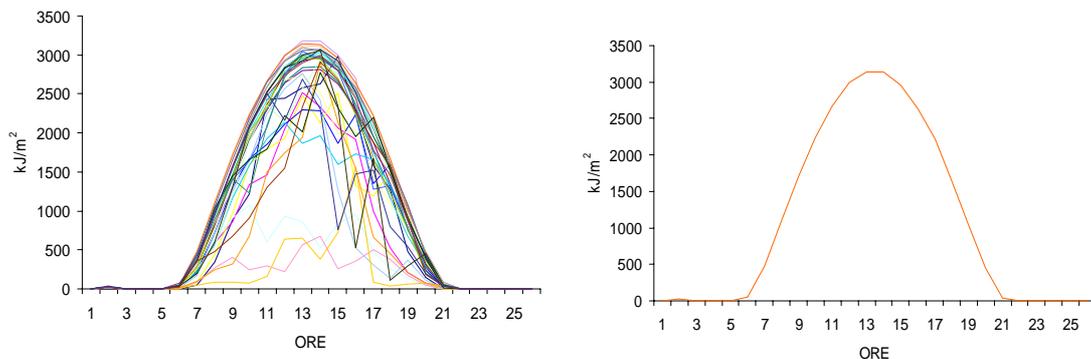


Figura 1 - Esempi di curva ideale del mese di maggio

Dalle dodici curve di radiazione al suolo, rappresentative di tutti i mesi dell'anno è stato calcolato il valore percentuale orario di radiazione globale. Il valore medio di radiazione mensile medio in assenza di atmosfera  $H_0$  per tutti i mesi dell'anno è stato ricavato per il punto baricentrico della regione, individuato sulla stazione meteorologica di Fagagna (UD), e applicato per i calcoli dell'indice di nuvolosità e di radiazione diffusa per tutti i dati delle stazioni considerate.

Le operazioni per separare la radiazione globale al suolo nelle componenti di radiazione diffusa e radiazione diretta sono state effettuate sui dati medi mensili (1999 – 2003) per tutte le stazioni in esame, utilizzando le formule riportate nella trattazione vista precedentemente. I valori delle due componenti (radiazione diretta e diffusa) sono stati divisi secondo le percentuali orarie calcolate per le giornate ideali mese per mese.

I dati così ottenuti per tutte le centraline meteorologiche dell'OSMER del Friuli Venezia Giulia e per quelle considerate dell'ARPA Veneto, le cui coordinate cartografiche sono date nel sistema Gauss-Boaga, riferite al Datum Roma40, rappresentano il nostro database.

Tali dati sono stati utilizzati per la costruzione di carte tematiche a curve di livello, relative ai valori medi mensili della radiazione globale reale al suolo.

Per realizzare le mappe a curve di livello rappresentative della distribuzione della radiazione diretta e diffusa sul territorio regionale è stato necessario procedere all'interpolazione dei dati puntuali forniti dagli strumenti di monitoraggio dell'OSMER ed è stato utilizzato il modulo Spatial Analyst di ArcGIS 8.1.2.

Nel modello fin qui utilizzato però il territorio regionale è stato assimilato ad una superficie piana e non si è in alcun modo tenuto conto della presenza dei rilievi che sono responsabili di un ombreggiamento. Per integrare l'influenza dell'orografia regionale con i dati di radiazione disponibile al suolo è stato utilizzato lo strumento Hillshade, disponibile nel sottomenù Surface Analyst di ArcGIS 8.1.2. Lo strumento è usato per determinare l'illuminamento di una superficie in funzione della posizione della sorgente luminosa considerata. Nel caso in studio si è provveduto a calcolare la posizione del sole nel corso dei mesi rispetto alla stazione agrometeorologica di Fagagna (UD). Per utilizzare lo strumento Hillshade è inoltre indispensabile disporre di un DTM del territorio in analisi, disponibile per il FVG con una maglia di 25 metri; rispetto a questo il software effettua il calcolo dell'inclinazione del raggio incidente sulle superfici e riproduce le zone d'ombra che si sviluppano.

Di default, le zone di luce ed ombra sono classificate con una scala di valori compresi tra 0 e 255 (a crescere dal nero al bianco). E' invece necessario produrre una griglia binaria che possa identificare i pixel in ombra e quelli illuminati senza distinzione rispetto all'intensità di illuminamento. E' necessario quindi, per ciascuna posizione della sorgente solare, ovvero per ciascuna ora del giorno scelta, riclassificare l'immagine raster mantenendo il valore 0 per le celle a cui è stato assegnato tale valore (ombra) e attribuendo invece il valore 1 a tutte le celle che hanno un valore compreso tra 1 e 255 (illuminate) (Fig.2).

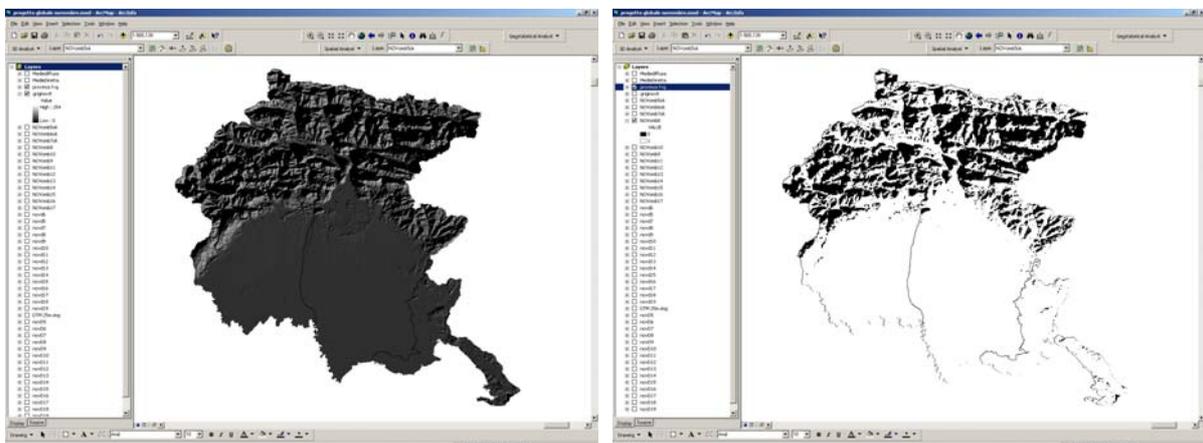


Figura 2 - Carta di ombreggiamento medio orario in scala di grigi e con classificazione binaria

Il risultato complessivo dell'analisi è costituito dal raster rappresentativo della radiazione complessiva al suolo ottenuta sommando alla componente di radiazione diffusa la componente diretta corretta in funzione dell'ombreggiamento del territorio.

Per realizzare la somma di layer si è utilizzato lo strumento Raster Calculator dello Spatial Analyst. Nel lavoro sviluppato si sono utilizzati gli operatori matematici di somma di layer e di prodotto per una costante (fig. 3). In particolare è stata calcolato il valore orario della radiazione globale reale secondo la formula:

$$(\text{LAYER OMBRA } h * \text{LAYER RAD. DIRETTA } h) + \text{LAYER RAD. DIFFUSA } h = \text{LAYER RAD. GLOBALE } h$$

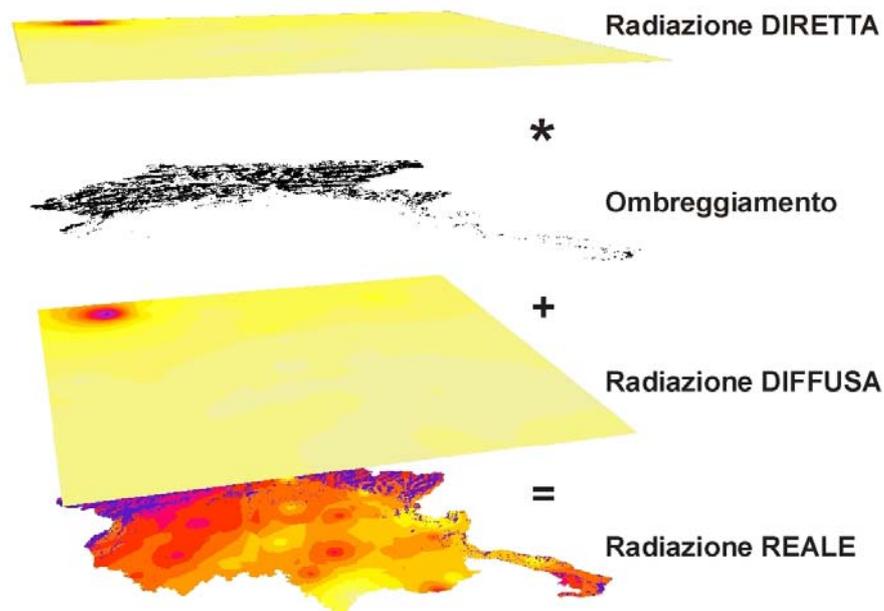


Figura 3 - Esempio di carta di radiazione reale media oraria

Per ottenere infine il valore complessivo medio mensile della radiazione globale reale al suolo è stata effettuata una somma dei layer ottenuti per fasce orarie che vanno dal sorgere al tramontare del Sole.

In figura 4 è riportato un esempio di carta tematica finale, in particolare si tratta della carta di radiazione globale reale media del mese di giugno.

## Conclusioni

Lo sviluppo della metodologia elaborata per la produzione del Sistema Informativo Geografico sulla radiazione globale reale al suolo ha dato come risultato una serie di carte tematiche per la Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia. Sono state sviluppate le carte relative a tre mesi rappresentativi dell'anno solare (marzo, giugno e novembre).

In seguito sarà possibile completare questo studio, al fine di ottenere la mappatura della radiazione globale reale per tutti i mesi di un intero anno solare ed inoltre, ricavare un dato di ingresso fondamentale, ancora non disponibile, da inserire nel software di valutazione economica per l'eventuale utilizzo della tecnologia fotovoltaica. Tale software, denominato " FV PROJECT", è stato sviluppato dal Centro di Ecologia Teorica Applicata dell' AREA Scienze Park.

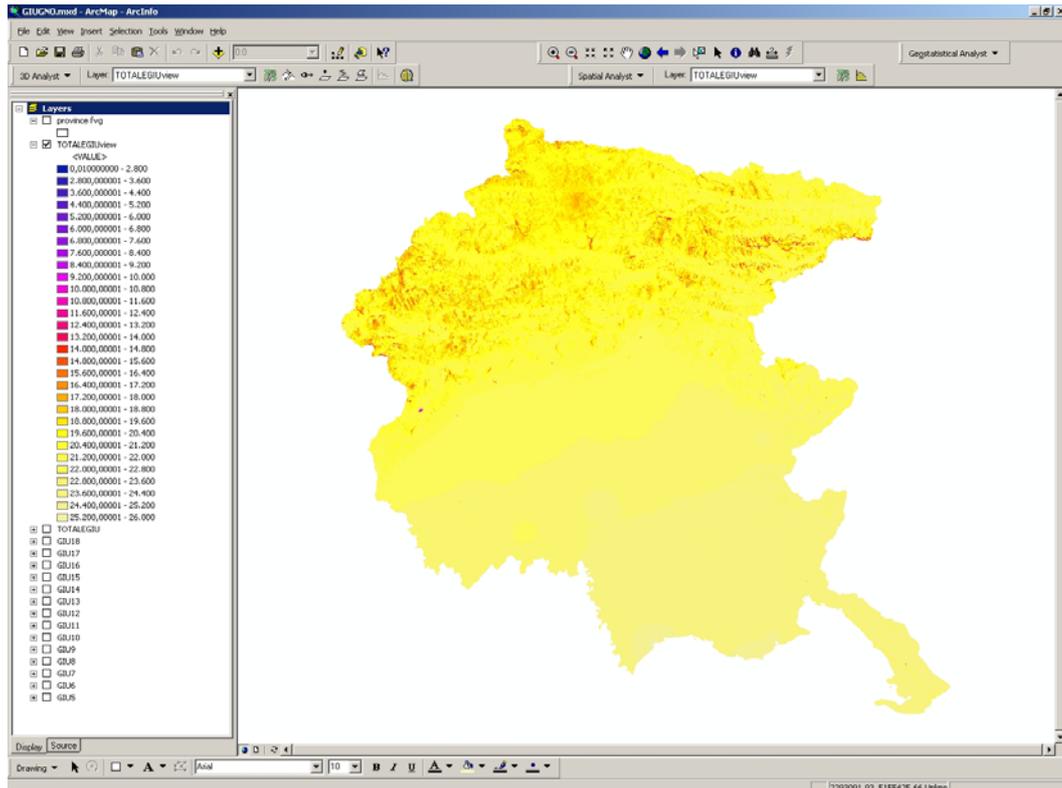


Fig. 4.10: Carta di radiazione globale reale media del mese di giugno

## Ringraziamenti

Si ringraziano l'Osmer FVG e l'ARPA Veneto, che hanno gentilmente concesso i loro dati storici, registrati dalle reti agrometeorologiche, per la realizzazione di questo studio.

## Bibliografia

- Bassoli R., Messina C. & Vigotti R. *“ENERGIA DAL SOLE - Prospettive dell'energia fotovoltaica in Italia”* Collaborazione ISES, HYPOTHESIS, Leonardo Editore, 1992.
- Cogliani E., Mancini M., Petrarca S. & Spinelli F. *“La radiazione solare globale al suolo in Italia nel 1995”* ENEA. In: Petrarca S., Cogliani F. & Spinelli F., LA RADIAZIONE SOLARE GLOBALE AL SUOLO IN ITALIA - Anni 1998 - 1999 e media 1994 - 1999.
- Cortellessa C.M., Biallo G., Di Domenico A., Faggioni R., Schiuma G. & Soravito de Franceschi C. *“Breve introduzione ai Sistemi Informativi Geografici”* Supplemento a Mondo Autocad, Anno VII, numero 3, Franco Ziviani Editore, 1995.
- Gelleti R. *“La tecnologia fotovoltaica - stato dell'arte e potenzialità di impiego nei processi produttivi”* AREA Scienze Park, n° 20, 2003.
- Gelleti R. *“Progetto D4 Miglioramento delle risorse umane nel settore della ricerca e dello sviluppo tecnologico - Tecnologie fotovoltaiche in ambito urbano”* SPA - Centro Servizi Polivalenti di Ateneo, Centro di Eccellenza Per la Ricerca in Telegeomatica - Università di Trieste, settembre 2004.
- Lazzarin R. *“SISTEMI SOLARI ATTIVI - manuale di calcolo”* Franco Marzio & C. Editore, 1981.
- Prosperi M. & Minelli C. *“SOLARE FOTOVOLTAICO - Progetto RES&RUE Disseminatin”* ACCOMANDITA.
- Vivoli F.P. *“Energia elettrica dal Sole”* ENEA, 1998.