

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/237285020>

# RADIAZIONE SOLARE GLOBALE GIORNALIERA: CORREZIONE DEI DATI ARCHIVIATI E STIMA DEI DATI MANCANTI PER LA STAZIONE AGRO-METEOROLOGICA DI SAN PIETRO CAPOFIUME (BO)

Article · January 2005

CITATIONS

2

READS

228

2 authors:



**Andrea Pammolli**

34 PUBLICATIONS 1,262 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Vittorio Marletto**

Arpae (Environment and Energy Agency of Emilia-Romagna, Italy)

114 PUBLICATIONS 1,739 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

## RADIAZIONE SOLARE GLOBALE GIORNALIERA: CORREZIONE DEI DATI ARCHIVIATI E STIMA DEI DATI MANCANTI PER LA STAZIONE AGROMETEOROLOGICA DI SAN PIETRO CAPOFIUME (BO)

DAILY GLOBAL SOLAR RADIATION: CORRECTION OF ARCHIVED DATA AND ASSESSMENT OF MISSING DATA FOR THE AGROMETEOROLOGICAL STATION OF SAN PIETRO CAPOFIUME, BOLOGNA, ITALY.

Andrea Pammolli<sup>1</sup>, Vittorio Marletto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>: Arpa Emilia-Romagna, Servizio IdroMeteorologico, Area Agrometeorologia e Territorio, v.le Silvani 6, 40122 Bologna

\* Corresponding author, tel. +39 051 6497564, fax +39 051 6497501, e-mail: vmarletto@arpa.emr.it

Ricevuto 4 febbraio 2005, accettato 4 luglio 2005

### Riassunto

In questo lavoro viene illustrato il metodo utilizzato per correggere e completare una serie di dati giornalieri di radiazione solare globale. L'analisi è stata condotta utilizzando un modello matematico con l'ausilio di un programma per la stima dei parametri necessari al modello; poi per mezzo di metodi statistici sono stati calcolati i coefficienti moltiplicativi necessari alla calibrazione del modello. Le stime ottenute dopo la calibrazione sono state estese ai restanti anni della serie storica. Quindi abbiamo corretto i dati misurati su tutto l'arco di tempo e completato i dati mancanti mediante valori stimati dal modello. Il metodo descritto è stato applicato ai dati misurati tra il 1986 e il 2004 su una delle stazioni della rete regionale di ARPA Emilia-Romagna, in cui le misure risultavano particolarmente lacunose e disomogenee. La procedura è stata automatizzata utilizzando il linguaggio VBA (Visual Basic for Applications) per facilitare l'estensione della metodologia anche sui dati delle restanti stazioni regionali.

**Parole chiave:** metodi statistici, calibrazione, radiazione globale, serie storica, VBA

### Abstract

*This paper shows the method used to correct and complete a series of daily global radiation data. The analysis was carried out using a mathematical model and with the help of a program providing the parameters needed by the model. One of the model parameters was calibrated and the estimates were then extended to the rest of the time series. All the measured data were corrected and completed with the estimates. The method described was applied to data measured between 1986 and 2004 in one of the stations belonging to the regional network of ARPA Emilia-Romagna, where quite a number of data were missing and the present ones looked rather inhomogeneous. The procedure used was implemented in VBA (Visual Basic for Applications) in order to make it available for application to the other regional stations.*

**Keywords:** statistical methods, calibration, global radiation, time series, VBA.

### Introduzione

Le variabili meteorologiche hanno una notevole importanza. La radiazione solare globale è misurata a terra su un piano orizzontale ed è l'integrale giornaliero del flusso di radiazione proveniente direttamente dal disco solare e di quella diffusa dal cielo per effetto delle nubi e dei gas costituenti l'atmosfera. Si tratta di una grandezza di notevole interesse climatologico e agrometeorologico, utilizzata anche in applicazioni modellistiche di simulazione della fotosintesi e del bilancio idrico. A differenza di altre grandezze misurate dai Servizi meteorologici, quali temperatura, precipitazione, umidità, ecc., per le quali è comunemente previsto un sistema automatizzato di controllo qualità dei dati basato su confronti logici, climatologici, temporali e spaziali, per la radiazione globale spesso gli unici controlli effettuati si basano su metodi soggettivi (Zinoni *et al.*, 1999; Pavan *et al.*, 2003). Inoltre, il numero delle stazioni che registrano al suolo tale variabile è molto limitato, spe-

cie se confrontato con quelle che registrano temperatura e precipitazioni, e spesso le serie registrate presentano lacune anche ampie. Questo impedisce di impiegare direttamente i dati in studi di carattere agronomico e/o ambientale che prevedono serie ininterrotte e che impongono l'effettuazione di stime accurate dei dati. Per queste stime, oltre ad approcci di tipo stocastico (Richardson, 1981), la ricerca ha prodotto modelli che utilizzano relazioni statistiche fra la radiazione globale ed altre variabili meteorologiche. Di particolare rilievo il filone di ricerca che mette in relazione questa variabile con l'escursione termica diurna, iniziato da Hargreaves e Samani (1982a, 1982b) e proseguito da Bristow e Campbell (1984), con successivi sviluppi, ad esempio considerando l'incidenza sulla stima dovuta a fenomeni avvevativi (Donatelli e Bellocchi, 2001). Infine il problema è stato affrontato da alcuni autori anche da un punto di vista informatico, mettendo a disposizione, anche in Internet, programmi per la stima della radiazione

solare basati sostanzialmente sui modelli precedentemente citati e su altri similari (RadEst, Donatelli *et al.*, 2003; GSRad, Donatelli *et al.*, 2004).

L'analisi qui presentata prende sostanzialmente spunto da uno studio condotto da Rana *et al.* (2004) nel quale si evidenziano metodologie di controllo qualità dei dati basate prevalentemente su metodi statistici applicati a confronti tra i dati acquisiti da una rete e quelli acquisiti mediante apparecchiature di controllo. L'approccio seguito qui non prevede l'effettuazione diretta di misure di controllo ma si basa inizialmente su un esame generale del grafico dei dati di radiazione disponibili, che permette di individuare le discontinuità presenti nei dati, dovute a fenomeni di varia natura (cambiamento o ricalibrazione dei sensori, dei programmi di gestione, dell'hardware di stazione). Tra i dati misurati si individua, per confronto con valori tabulati o con dati di riferimento misurati da altri soggetti (istituti di ricerca), quali siano i periodi di maggiore affidabilità dei dati stessi. Segue una fase in cui i dati di temperatura minima e massima da utilizzarsi per la stima della radiazione con il modello empirico vengono vagliati e completati per mezzo di valori interpolati dalle stazioni limitrofe, al fine di avere a disposizione una serie termica continuativa e affidabile. Una volta stimata la radiazione globale, il passo successivo è quello di identificare all'interno della serie delle misure un anno particolarmente affidabile sul quale operare una regressione lineare fra la radiazione misurata e quella stimata, al fine di ottenere il moltiplicatore di calibrazione complessiva del modello per quella particolare stazione.

Successivamente le estensioni del calcolo dei moltiplicatori ai restanti anni vengono eseguite individuando graficamente e per mezzo del massimo annuale della radiazione gruppi di anni o comunque intervalli di tempo omogenei al loro interno. Quindi le ultime due fasi, correzione dei dati presenti e stima corretta dei dati mancanti, completano lo studio fornendo una serie completa e omogenea di dati di radiazione globale.

Va rilevato che la procedura qui adottata, pur essendosi dimostrata pratica ed efficace ai nostri fini, non mette al riparo da eventuali variazioni tra gli anni della trasmittanza di cielo sereno.

### Stima della radiazione solare globale

Illustreremo brevemente il procedimento seguito per la stima della radiazione globale. Dapprima analizzeremo il modello matematico, poi il programma di interpolazione dei dati di temperatura, infine mostreremo alcuni risultati relativi alla stazione oggetto di studio.

#### Il modello Donatelli - Bellocchi

L'approccio usato consiste nell'applicare un coefficiente adimensionale di trasmittanza atmosferica  $t$  alla radiazione potenziale giornaliera  $R_a$  ( $\text{MJ m}^{-2}$ ), definita come la radiazione che si avrebbe allo strumento in assenza di atmosfera, dipendente da soli fattori geometrici e astronomici. Il modo in cui viene stimata la trasmittanza caratterizza questo modello e lo differenzia dai precedenti.

Per calcolare  $R_a$  si definisce il fattore di correzione della distanza terra-sole come

$$E_0 = 1 + 0.0334 \cos(0.01721i - 0.0552) \quad (1)$$

dove  $i$  rappresenta il giorno dell'anno (1 - 366). Poi si calcola l'angolo di declinazione solare (rad):

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left\{ 0.39785 \text{sen} \left[ 4.869 + 0.0172i + 0.03345 \text{sen}(6.224 + 0.0172i) \right] \right\} \quad (2)$$

e il fotoperiodo (rad):

$$N_i = \text{cos}^{-1} \left[ -\text{tg}(\delta) \text{tg}(\phi) \right] \quad (3)$$

dove  $\phi$  rappresenta la latitudine della stazione espressa in radianti. La radiazione potenziale risulta dalla

$$R_a = 117.5 E_0 \left( \frac{N_i \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\phi) \text{cos}(\delta) \text{sen}(N_i)}{\pi} \right) \quad (4)$$

La stima della radiazione globale viene ottenuta come prodotto fra la trasmittanza e la radiazione potenziale

$$R = t R_a \quad (5)$$

dove  $t$  risulta definita come

$$t_i = \tau \left[ 1 + f(i) \right] \left[ 1 - e^{\left( \frac{-b \Delta T_i^2}{\Delta T_w} \right)} \right] \quad (6)$$

con  $\tau$  trasmittanza atmosferica in condizioni di cielo sereno,  $b$  coefficiente dell'escursione termica,  $\Delta T$  e  $\Delta T_w$  rispettivamente escursione termica giornaliera ( $^{\circ}\text{C}$ ) e sua media mobile semplice centrata di ordine sette, e con

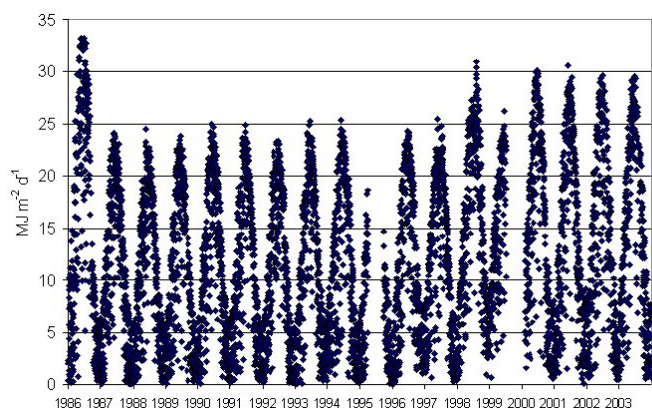
$$\Delta T_i = T_x(i) - \frac{(T_n(i) + T_n(i+1))}{2} \quad (7)$$

dove  $T_x(i)$  e  $T_n(i)$  sono rispettivamente la temperatura massima e quella minima del giorno  $i$ -esimo mentre  $T_n(i+1)$  rappresenta la temperatura minima del giorno successivo. Definiamo infine il calcolo delle rimanenti quantità adimensionali

$$f(i) = c_1 \left[ \text{sen} \left( i c_2 \frac{\pi}{180} \right) + \text{cos} \left( i f(c_2) \frac{\pi}{180} \right) \right] \quad (8)$$

$$f(c_2) = 1 - 1.90 c_3 + 3.83 c_3^2 \quad (9)$$

con  $c_1$  e  $c_2$  coefficienti di calibrazione e  $c_3$  parte frazionaria di  $c_2$ . La media delle minime nell'espressione (7) viene effettuata per tener conto di variazioni sostanziali delle temperature minime tra un giorno e il successivo, dovute a eventuali fenomeni avvevivi (cioè di trasporto di calore associato al movimento di masse d'aria). L'escursione settimanale media  $\Delta T_w$  ha invece il compito di destagionalizzare la formula, dato che il valore di escursione termica del giorno  $i$  viene messo a rapporto con quello della settimana corrente.



**Fig. 1** – Radiazione solare globale giornaliera misurata nella stazione di S. Pietro Capofiume (BO) nel periodo 8/1/1986-21/6/2004.

**Fig. 1** – Daily solar global radiation measured at the station of S. Pietro Capofiume (BO) in the period 8/1/1986-21/6/2004.

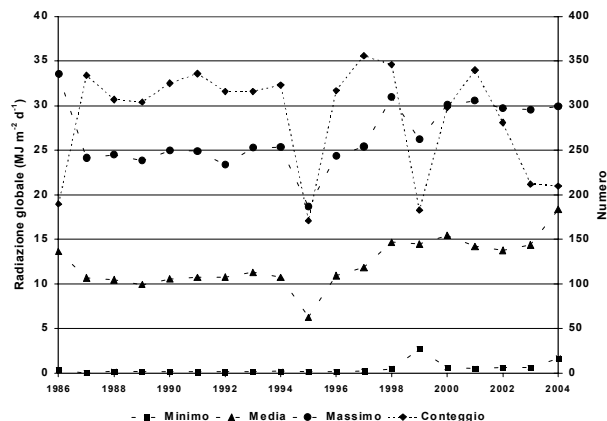
Il coefficiente  $\tau$  caratterizza la trasparenza massima dell'aria nella zona oggetto di studio, mentre  $b$  determina quanto velocemente cresce  $t$  al crescere di  $\Delta T$ . I coefficienti  $b$ ,  $c_1$  e  $c_2$  sono da calibrare zona per zona ma nello studio in questione sono stati adottati i valori forniti da Donatelli e Bellocchi per Modena S. Prospero (risp. 0,103, -0,02 e 1,38), sito centrale rispetto alla rete regionale dell'Emilia-Romagna. Questi valori risultano tutti sostanzialmente centrali rispetto agli intervalli di variazione riscontrati da Donatelli *et al.* (2003) nelle calibrazioni da loro effettuate su 25 stazioni radiometriche italiane (pari risp. a  $0,083 \div 0,140$  per  $b$ ,  $-0,120 \div 0,097$  per  $c_1$  e  $0,008 \div 1,410$  per  $c_2$ ).

#### Metodo di interpolazione IDWA

(Inverse Distance Weighted Average)

Al fine di ottenere una serie storica continuativa di radiazione, dobbiamo disporre di un vettore continuo di temperature minime e massime. Per ovviare ai problemi di discontinuità delle misure, è stato utilizzato il software di bilancio idrico geografico Criteria (Marletto e Zinoni, 1996), dotato di un interpolatore spaziale che, dai dati di temperatura di stazioni vicine, restituisce quelli mancanti per la stazione in questione.

Solo i dati giornalieri della temperatura che derivavano da un numero di rilevazioni orarie non inferiori a 24 sono stati interpolati per mezzo di Criteria. Il metodo di interpolazione utilizzato prende nome dal modo in cui vengono calcolati i pesi da attribuirsi a ogni misura circostante per determinarne l'effetto sulla stima: i pesi variano con l'inverso di una potenza della distanza dal punto in questione. In Criteria viene creata una griglia a maglie quadrate di lato fissato a piacere, di solito corrispondente alla distanza media tra le stazioni disponibili, e l'interpolazione viene eseguita con i dati di tutte le stazioni situate all'interno di una circonferenza con centro nella maglia dove cade la stazione oggetto di studio e con raggio fissato dall'utente. Il sistema verifica che le stazioni interpolanti siano presenti in ognuno dei quadranti del piano cartesiano centrato sulla maglia di riferimento in



**Fig. 2** – Radiazione solare massima annua, minima annua, media annua (asse verticale sinistro) e conteggio dei valori misurati per anno (asse verticale destro) nella stazione di San Pietro Capofiume (BO) tra l'8/1/1986 e il 21/6/2004.

**Fig. 2** – Yearly maximum, minimum, and mean solar radiation (left vertical axis), and number of measures available (right vertical axis) at San Pietro Capofiume (BO) between 8/1/1986 and 21/6/2004.

numero fissato dall'utente e, infine, opera una media che assegna maggior peso alle stazioni più vicine e minore a quelle lontane ottenendo i valori stimati  $\hat{z}$  come segue:

$$\hat{z} = \sum_i w_i z_i \quad (10)$$

dove  $z_i$  è il valore misurato nell' $i$ -esima stazione disponibile e i pesi  $w$  sono definiti come

$$w_i = \frac{1}{d_i^\alpha \cdot \sum_i \frac{1}{d_i^\alpha}} \quad (11)$$

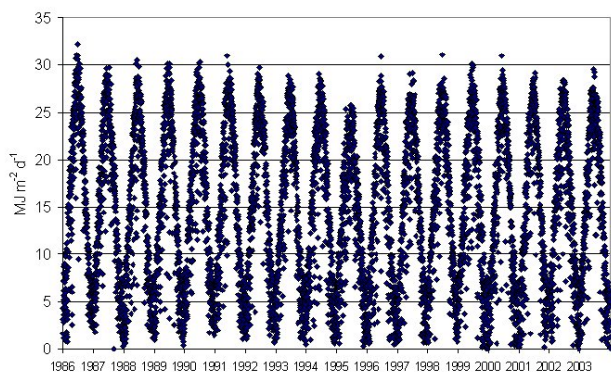
con  $\alpha$  esponente della distanza tra le stazioni, a scelta dell'utente (di solito 2 o 3).

Il metodo di interpolazione utilizzato è semplice ma senz'altro adatto al problema in questione, data la densità spaziale piuttosto elevata (ca. 20 km) della rete termometrica regionale, la sua disposizione in territorio pianeggiante nell'intorno del sito di lavoro, collocato in posizione centrale rispetto al territorio della regione, quindi senza particolari problemi legati ad effetti di bordo, che comunque in altre applicazioni di Criteria sono mitigati grazie all'accesso ai dati nazionali della rete dell'Aeronautica Militare.

#### Applicazione alla stazione di S. Pietro Capofiume (BO)

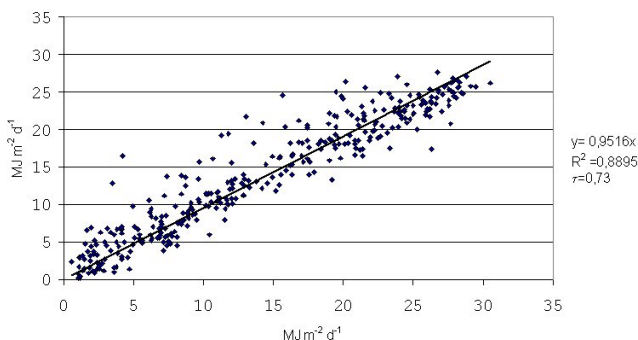
Inizialmente abbiamo riportato su un foglio MS Excel l'intera serie storica estratta dall'archivio dei dati giornalieri ARPA-SIM per la stazione di S. Pietro Capofiume (44,65 N; 11,62 E; 10 m s.l.m.), scelta in quanto sede della più lunga serie di misure di radiazione effettuate dal Servizio Idrometeorologico (8/01/1986 – 21/06/2004), per i seguenti gruppi di variabili:

- 1)  $T_n$ ,  $n$ ,  $T_{ni}$ , temperatura minima giornaliera e numero di rilevazioni orarie, temperatura minima interpolata;
- 2)  $T_x$ ,  $x$ ,  $T_{xi}$ , temperatura massima giornaliera e numero di rilevazioni orarie, temperatura massima interpolata;
- 3)  $R_m$ ,  $m$ , radiazione misurata e numero di rilevazioni orarie.



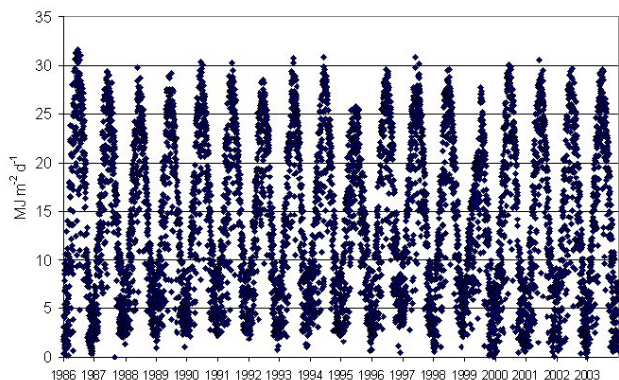
**Fig. 3** – Radiazione stimata a S. Pietro Capofiume con il modello Donatelli-Bellocchi (DB) nel periodo 8/01/1986-21/06/2004.

**Fig. 3** – Radiation assessed at San Pietro Capofiume with the Donatelli-Bellocchi (DB) model in the period 8/01/1986-21/06/2004.



**Fig. 4** – Regressione lineare fra la radiazione misurata a S. Pietro Capofiume nel 2001 (in ascissa) e quella stimata con il modello DB (in ordinata).

**Fig. 4** – Linear regression between daily global radiation measured at San Pietro Capofiume in 2001 (horizontal axis) and the one assessed with the DB model (vertical axis).



**Fig. 5** – Ricostruzione della serie storica della radiazione globale a S. Pietro Capofiume nel periodo 8/01/1986-21/06/2004.

**Fig. 5** – Reconstruction of the global radiation time series for San Pietro Capofiume in the period 8/01/1986-21/06/2004.

Il grafico in Fig. 1 riporta la situazione iniziale della radiazione globale misurata sulla stazione dopo la rimozione di alcuni valori palesemente assurdi. Come si può vedere la serie presenta delle discontinuità e delle brusche variazioni, in particolare tra il 1986 e il 1987 e tra il 1997 e il 2004. Nei dati sono ben evidenti due situazioni dissimili nei periodi 1987-1997 e 2000-2004. Dalle notizie disponibili queste variazioni sembrano dovute sia a banali errori nei fattori adottati in passato per la conversione dei segnali elettrici in valori di radiazione sia alla sostituzione dello strumento di misurazione (solarimetro Kipp & Zonen) con altro simile opportunamente ricalibrato dalla ditte costruttrice, sia infine alla presenza di un nuovo software di gestione della stazione. Dal 2000 in avanti comunque i dati disponibili risultano sostanzialmente affidabili, salvo la presenza in archivio di numerosi valori giornalieri derivanti da misure orarie incomplete ( $m < 24$ ).

Da alcune prove effettuate (Fig. 2) si è verificato che un buon indicatore oggettivo utilizzabile per individuare le discontinuità nell'andamento della radiazione globale risulta essere la radiazione massima annua. Il suo esame conferma quanto evidenziato in precedenza.

Poiché la serie iniziale conteneva più di seicento valori di radiazione globale derivanti da un numero di rilevazioni orarie inferiori a 24 abbiamo scartato questi dati riducendo la numerosità dei dati disponibili dagli iniziali 5619 presentati in Fig. 1 a 4990. La selezione è stata compiuta senza distinguere se i dati erano mancanti di giorno o di notte perché il recupero di questa informazione avrebbe comportato un lungo lavoro di accesso e manipolazione dei file dei dati orari originali, incompatibile con il tempo disponibile.

La figura successiva (Fig. 3) presenta invece il risultato dell'applicazione del modello Donatelli-Bellocchi alla serie completa delle temperature estreme giornaliere di cui in precedenza. Si può vedere come il modello fornisca una serie molto omogenea di dati, con discontinuità locali nei valori massimi, dovute evidentemente ad anomalie termiche negli anni 1986 e 1995, e una lieve tendenza alla diminuzione nei valori minimi invernali.

Il passo successivo è stato quello di selezionare tra le misure un anno particolarmente affidabile su cui calibrare il modello con una regressione lineare passante per l'origine. È stato scelto il 2001, per la completezza e l'accuratezza dei dati disponibili. I risultati della regressione sono evidenziati nella Fig. 4.

Come si vede il modello DB con i coefficienti di Modena S. Prospero tende a sottostimare i valori misurati. Per riportare le stime sulla diagonale 1:1 il coefficiente di trasmittanza  $\tau$  originariamente fornito per Modena S. Prospero è stato ricalibrato come  $\tau = \tau / 0,9516$ . Il nuovo valore così ottenuto (0,77) è stato verificato sugli anni successivi (2002-4) ed è risultato valido, producendo coefficienti angolari delle regressioni tra misure e stime molto prossimi all'unità con coefficienti di determinazione sempre superiori a 0,80.

#### Ricostruzione della serie storica

Avendo analizzato il fenomeno nell'arco temporale 2000-2004 e visti i soddisfacenti risultati ottenuti, si è ritenuto opportuno estendere il metodo ai restanti anni lavorando sui cinque periodi individuati come omogenei con la pro-



cedura descritta in precedenza, basata sull'esame visivo del grafico dei dati giornalieri e dei valori di radiazione massima annua, che sono risultati i seguenti: 1986, 1987 – 1997, 1/01/1998 – 31/07/1998, 1/08/1998 – 31/12/1998, 1999.

Una volta ottenuti i coefficienti angolari delle varie regressioni siamo passati alla calibrazione dei dati misurati e al completamento dei dati mancanti con quelli stimati dal modello. Così facendo, abbiamo ricostruito l'intera serie storica della stazione (Fig. 5).

Confrontando questo risultato, con i valori del grafico iniziale (Fig. 1), si può notare la mancanza di bruschi "scalini" nei valori massimi annuali e quindi la maggiore omogeneità della serie nel tempo, anche se ora è visibile una certa disomogeneità nei valori minimi, che potrebbe essere probabilmente corretta evitando di forzare a zero l'intercetta della retta di regressione.

Il processo è stato reso semiautomatico grazie ad un programma realizzato in VBA, il quale stima il valore della radiazione solare per una data serie storica sulla base dei dati di temperatura e radiazione misurata e/o interpolata inseriti in un foglio Excel.

## Conclusioni

Il presente lavoro ha permesso di ottenere un database completo ed omogeneo di dati di radiazione solare globale per la stazione di San Pietro Capofiume (BO), nella quale le misure, iniziate nel 1986 e tuttora in corso, risultavano particolarmente lacunose e disomogenee, specie fino all'anno 1999. Il modello di Donatelli e Bellocchi (2001) si è rivelato in grado di fornire buone stime della radiazione solare per la stazione oggetto di studio. Sono stati impiegati per le stime i parametri forniti dal software RadEst 3.00 (Donatelli et al., 2003) per il sito di Modena - S. Prospero, dimostrando l'affidabilità degli stessi anche per la stazione in esame, salvo la necessità di calibrare la trasmittanza di cielo sereno. Poiché il modello si basa prevalentemente su dati termici, è stato necessario predisporre un insieme completo di valori di temperatura massima e minima giornaliera sul punto stazione utilizzando CriteriA, un sistema modellistico per il bilancio idrico dei suoli agricoli (Marletto, Zinoni, 1996) che, tra le sue varie funzionalità, permette di interpolare i dati mancanti con quelli rilevati nelle stazioni circostanti.

La correzione dei dati misurati è avvenuta su intervalli omogenei all'interno della serie, quindi uno dei problemi consisteva nell'individuare i punti di discontinuità estremi di tali regioni. Come primo indicatore di discontinuità abbiamo utilizzato la radiazione massima annuale, la quale, come mostra la Fig. 2, non presenta fenomeni di ciclicità. Per interpretare le variazioni di questo indicatore tra un anno e l'altro è necessario però disporre anche del conteggio dei dati rilevati. Le variazioni negative della radiazione massima sono infatti talvolta riconducibili all'assenza di misure estive dovute ad avaria dello strumento o della stazione (come ad esempio nel 1995), più che ad altre cause, quali il cambiamento degli strumenti di misura, dell'hardware di stazione o del software di ge-

stione. E' bene comunque disporre della serie giornaliera dei dati al fine di poter attribuire con giusta causa all'uno o all'altro fattore le variazioni della radiazione massima.

Le procedure di correzione e stima della radiazione solare sono state implementate in Excel dato che il citato programma RadEst 3.00 prevede una gestione impegnativa dei dati in file annuali completi. La procedura realizzata ed applicata al caso di S. Pietro Capofiume, verrà utilizzata per produrre un database completo ed omogeneo di dati di radiazione solare globale per tutte le rimanenti stazioni della rete regionale.

## Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del Master di Matematica Applicata dell'Università di Bologna durante uno stage trimestrale svolto presso l'ARPA Emilia-Romagna. Si ringraziano per il cortese aiuto Andrea Pasquali, tecnico di ARPA-SIM, che ha fornito importanti informazioni relative alla storia della stazione, Gabriele Antolini, collaboratore di ARPA - SIM, che ha riletto criticamente il manoscritto, e i ricercatori dell'Istituto Sperimentale di Colture Industriali Marcello Donatelli e Gianni Bellocchi, che hanno fornito preziose informazioni sull'utilizzo del loro modello.

## Bibliografia

- Bristow, K., Campbell, G.S., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agric. For. Meteorol.* 31, 159-166.
- Donatelli, M., Bellocchi, G., 2001. Estimates of daily global solar radiation: new developments in the software RadEst 3.00. *Proc. 2nd Int. Symp. Modelling Cropping Syst., 16-18 July, Florence, Italy*, 213-214.
- Donatelli, M., Bellocchi, G., Fontana, F., 2003. RadEst 3.00: software to estimate daily radiation data from commonly available meteorological variables. *Eur. J. Agron.*, 18, 369-372.
- Donatelli, M., Carlini, L., Bellocchi, G., 2004. GSRad, un componente software per la stima della radiazione solare. *Riv. Ital. Agromet.* 9(1), 24-30.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1982a. Estimating potential evapotranspiration. *Tech. Note, J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE*, 108(3):225-230.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1982b. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Engrg. in Agric.*, 1(2):96-99.
- Iqbal, M., 1983. *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press Canada.
- Marletto, V., Zinoni, F., 1996. The CRITERIA project: integration of satellite, radar, and traditional agroclimatic data in a GIS-supported water balance modelling environment. In: EUR 18328, Dalezios, N.R. (ed.), 1998. *Proc. COST 77, 79, 711 Int. Symp. on Applied Agrometeorology and Agroclimatology, Volos, Grecia, 24-26 aprile 1996*, ISBN 92-828-4137-5, 173-178.
- Pavan, V., Tomozeiu, R., Selvini, A., Marchesi, S., Marsigli, C., 2003. Controllo di qualità dei dati giornalieri di temperatura minima e massima e di precipitazione. *Quaderno Tecnico Arpa-Sim n°15/2003* (accessibile dal sito [www.arpa.emr.it/sim](http://www.arpa.emr.it/sim)).
- Rana, G., Introna, M., Rinaldi, M., 2004. Metodologie per il controllo di qualità di dati orari e giornalieri acquisiti da una rete agrometeorologica: applicazioni alla rete lucana SAL. *Riv. Ital. Agromet.* 9(1), 31-35.
- Richardson, C.W., 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resour. Res.*, 17, 182-190.
- Zinoni, F., Cacciamani, C., De Simone G., Filippini F., Magi, C., Marletto V., Mulazzani, C., Nanni, S., Pasquali, A., Stanzani, R., 1999. *Meteo-GIAS: Relazione annuale 1999. Nota interna ARPA-SMR*.