

N. BATINI (*), F. RAPETTI (**), D. TESTI (***)

DISTRIBUZIONE DELL'IRRADIAZIONE SOLARE NEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE ROGLIO IN VAL D'ERA (TOSCANA)

Riassunto - Il bacino idrografico del torrente Roglio (160,1 km²), oggetto nei decenni passati di ricerche riguardanti la geomorfologia e i processi di erosione nelle argille del Pliocene, l'idrologia, le variazioni nell'uso del suolo, è sottoposto ad una indagine riguardante la distribuzione dell'irradiazione [J/m²], in relazione alla distribuzione dell'inclinazione dei versanti rispetto alle principali direzioni cardinali. L'irradianza [W/m²] è stata misurata presso la stazione meteorologica di Legoli (dati 2009), che occupa la parte centrale del bacino idrografico ed è posta all'interno del grande impianto di interrimento controllato di rifiuti solidi urbani del Comune di Peccioli. L'inclinazione media dei versanti del bacino del T. Roglio, a causa della bassa energia del rilievo e della tendenza delle formazioni argillose e argilloso-sabbiose a produrre forme arrotondate, presenta valori molto bassi, poiché l'82% del territorio ha inclinazione inferiori a 20 gradi e solo il 3% superiore a 30 gradi. È stata determinata l'irradiazione su tutte le superfici dell'unità fisiografica, sia pianeggianti sia acclivi: i valori giornalieri più elevati dell'irradiazione globale sulle superfici pianeggianti ($I_{10} > 30$ MJ/m²/giorno) hanno interessato un ristretto numero di giorni tra maggio e giugno, più numerosi, e compresi tra aprile e settembre, sono i giorni con $I_{10} > 25$ MJ/m²/giorno; i valori più bassi ($I_{10} < 25$ MJ/m²/giorno) si sono verificati nei mesi di gennaio, novembre e di dicembre. I valori più elevati dell'irradiazione annua sulle superfici inclinate spettano all'esposizione Sud, con il valore più elevato per l'inclinazione di 35 gradi (6,4 GJ/m²/anno). Nel complesso l'irradiazione incidente sul bacino del T. Roglio nel 2009 è stimata in 862,0 PJ. La difforme distribuzione dell'irradiazione sui versanti ha ripercussioni sulla temperatura e sull'evaporazione del suolo e sulla velocità dei processi di degradazione delle argille.

Parole chiave - Irradianza, irradiazione, bacino idrografico, torrente Roglio, Val d'Era, Toscana, Italia.

Abstract - *Solar irradiation supply on Roglio hydrographical basin (Val d'Era-Toscana)*. In the past decades, the Roglio hydrographical basin (160.1 km²) has been the object of a certain amount of analysis concerning its geomorphology, erosion processes related to Pliocene's clays, hydrology and ground variations: at present a solar irradiation analysis (J/m²) is carried on in this basin. Such analysis takes into account slope grading distribution related to main cardinal directions. Irradiation supply (W/m²) has been recorded at Legoli meteorological Station in 2009. The station is situated in the heart of the hydrographical basin and has been built as a part of the big municipal controlled solid urban waste landfill plant in Peccioli. Roglio basin slope grading shows very low average values, as 82% of the physiographic units shows grades lower than 20 degrees and only 3% are higher than 30 degrees,

due to the low energy of the relief and to the tendency of clay and sandy-clay formations to assume round shapes. Solar irradiation on all surfaces of the physiographic unit has been analyzed, both flat and sloping. Daily values related to global solar irradiation on flat countries ($I_{10} > 30$ MJ/m²/days) reached high values only during a short period between May and June; days with $I_{10} > 25$ MJ/m²/days occur more frequently and are recorded between April and September; the lowest values ($I_{10} < 25$ MJ/m²/days) have been reached in January, November and December. The highest yearly solar irradiation values on sloping surfaces have been reached on south exposures, with a maximum value for a sloping of 35 degrees (6.4 GJ/m²/year). In the whole, the 2009 Roglio basin incident solar irradiation has been estimated in 862.0 PJ. Uneven irradiation supply on the slopes influences temperature, ground evaporation and the speed of all processes of clay cover degradation.

Key words - Irradiance, irradiation, hydrographical basin, Roglio River, Val d'Era, Tuscany, Italy.

INTRODUZIONE

La radiazione solare intercettata dalla superficie terrestre produce molteplici effetti di interesse scientifico ed applicativo: tra i primi possono essere compresi la temperatura del suolo e dell'aria, l'evapotraspirazione, i processi di degradazione elementare delle rocce e di modellamento dei versanti, l'ablazione glaciale; tra i secondi la produttività forestale ed agricola e l'utilizzazione della radiazione solare a fini energetici. In questa ricerca, mediante lo sviluppo dell'algoritmo presentato in appendice, si stima l'irradiazione intercettata dal bacino idrografico del T. Roglio, sulla base dei valori dell'irradianza misurati presso il paese di Legoli in Val d'Era nell'anno 2009 (dati A.R.S.I.A.). Si assume che l'irradianza misurata in questo luogo sia virtualmente rappresentativa dell'intera unità fisiografica.

Il bacino idrografico del T. Roglio è stato oggetto di numerosi studi riguardanti la geomorfologia e i processi di erosione nelle formazioni argillose e argilloso-sabbiose del Pliocene inferiore-medio, con particolare riguardo alla genesi dei calanchi (Vittorini, 1971; Vittorini, 1981; Rapetti *et al.*, 2006a; 2006b), l'idrologia (Rapetti, 1978), le variazioni dell'uso del suolo (Mannucci *et al.*, 2008), la suscettività al dissesto idrogeologico (Testi *et al.*, 2010).

(*) Via T. Cristiani 179, 56022 Castelfranco di Sotto (Pisa), Italy.

(**) Università di Pisa, Dipartimento di Scienze della Terra, via S. Maria 53, 56126 Pisa, Italy. E-mail: rapetti@dst.unipi.it

(***) Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia e dei Sistemi (DESE), largo Lucio Lazzarino, 56122 Pisa, Italy. E-mail: daniele.testi@ing.unipi.it

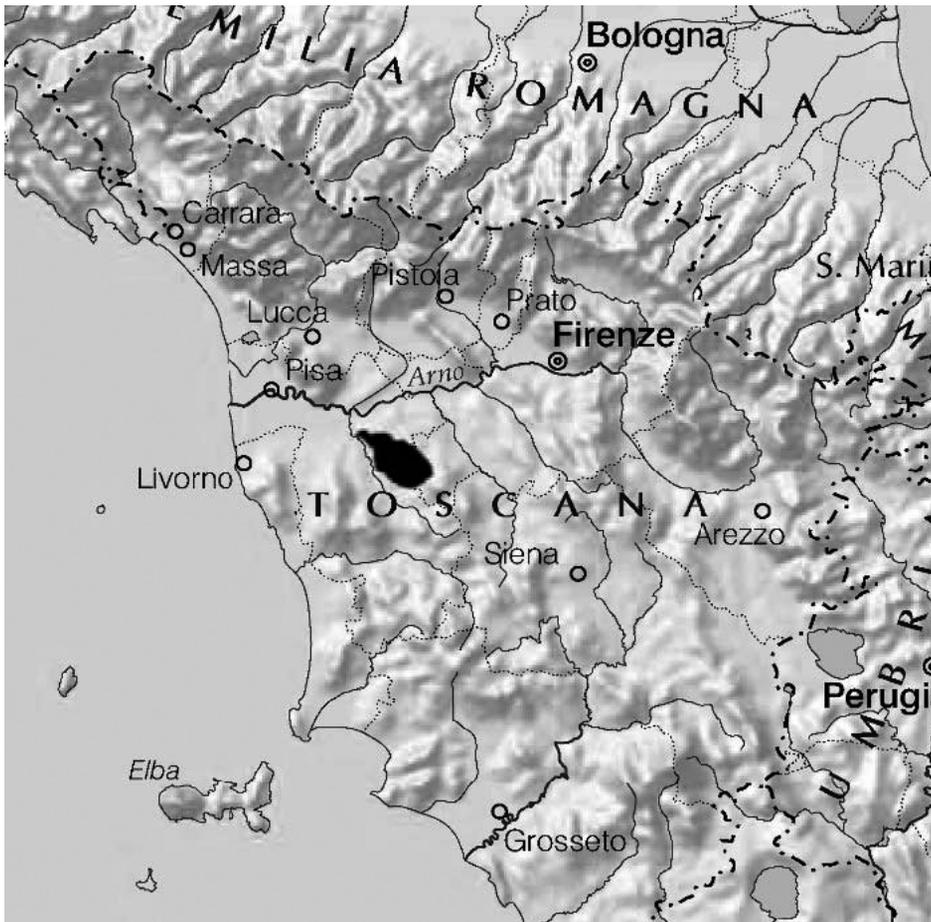


Fig. 1 - Posizione geografica del bacino del T. Roglio (in nero).

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il torrente Roglio è il principale affluente di destra del F. Era, ultimo tributario di sinistra del F. Arno. Il bacino idrografico, che si sviluppa nel paesaggio collinare della Toscana centro-settentrionale, ha un'estensione di 160,1 km² (Fig. 1). L'altimetria, per oltre la metà dell'area, è compresa tra i 90 e i 140 m s.l.m.m.; la quota massima è raggiunta nel Poggio dei Cipressini (501 m s.l.m.m.), posto sullo spartiacque sud-orientale del bacino; la quota minima corrisponde ai circa 20 m s.l.m.m. del punto di immissione nel F. Era, ad Est di Ponsacco.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il bacino del T. Roglio è parte dell'assetto strutturale della Toscana centro-meridionale, caratterizzato da un insieme di depressioni tettoniche di direzione appenninica, la cui formazione viene messa in relazione alla dinamica estensionale che ha determinato l'apertura del bacino tirrenico, seguente le fasi di corrugamento

e sollevamento della catena nord-appenninica (Trevisan, 1952; Carmignani & Kligfield, 1990; Bertini *et al.*, 1991). Il substrato, cronologicamente riferibile al Pliocene inferiore e medio, è costituito in prevalenza da argille marine, da sabbie argillose marine e siltmastre e da sabbie marine. L'assetto strutturale, che presenta giaciture della stratificazione sub-orizzontali, generalmente con pendenze inferiori a 10 gradi, non pare esercitare un controllo significativo sui processi di modellamento del rilievo.

INQUADRAMENTO CLIMATICO

Il clima termico prevalente appartiene al tipo «temperato caldo», con la temperatura media annua compresa tra 14,5 e 16,9 °C, la minima tra 6,0 e 9,9 °C e l'escursione annua tra 15,0 e 17,0 °C (Gazzolo & Pinna, 1969). Gli afflussi idrometeorici raggiungono 700-800 mm annui, distribuiti secondo un regime stagionale di tipo «tirrenico» (Fazzini, 2005). Nel sistema di classificazione di Thornthwaite e Mather (1957) risulta che il paese di Ghizzano, situato nella parte nord-occidentale del

Tab. 1 - Distribuzione assoluta (km²) e percentuale delle superfici con inclinazione minore di 10 gradi per orientamento cardinale.

Inclinazione	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Aree
0-10°	21,6	6,0	3,5	5,0	6,4	9,5	9,5	10,6	72,1
%	29,9	8,3	4,9	6,9	8,9	13,2	13,1	14,7	100,0

bacino, è compreso nel tipo C₁ B'₂ s₂ b'₄ (clima subarido, secondo mesotermico, con eccedenza in inverno); Volterra, posta sullo spartiacque che divide la Val d'Era dalla Val di Cecina, ha un clima «umido».

L'andamento interannuale del bilancio idrico-climatico di Volterra (1926-1999) indica che le caratteristiche idro-climatiche dell'area si stanno evolvendo in senso arido, a causa dell'incremento tendenziale del «deficit» e la diminuzione del «surplus» idrici, come risposta all'aumento tendenziale della temperatura dell'aria e alla diminuzione delle piogge (Rapetti *et al.*, 2006a), con intensità più marcate dalla metà degli anni Ottanta (Cortemiglia *et al.*, 2011). Tale fluttuazione climatica, accompagnata da significative riduzioni del contenuto idrico dei suoli, ha importanti riflessi sui processi di erosione, sui deflussi idrici superficiali e sul trasporto in sospensione e sul fondo del T. Roglio.

USO DEL SUOLO

La distribuzione delle categorie di uso del suolo (2003) mostra la netta prevalenza dei seminativi (42,2%), dei boschi misti (31,6%), dei cespuglieti (10,0%); nettamente subordinati sono gli oliveti (5,7%), le arbori-

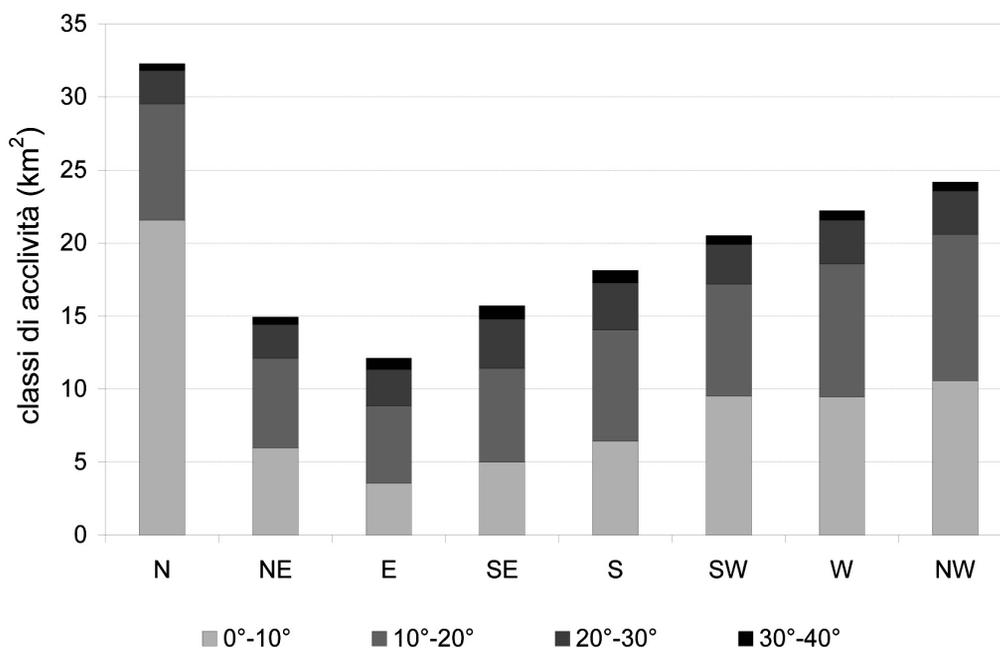
colture (2,9%), gli orti e i giardini (2,5%), i vigneti (2,3%) e le aree urbanizzate (2,0%). Dal 1954 al 2003 le modificazioni più significative nell'uso del suolo hanno riguardato l'incremento delle aree coperte dai boschi misti (+19,1 km²), mentre si sono ridotte le aree destinate a seminativi (-16,0 km²) e oliveti (-16,2 km²) (Mannucci *et al.*, 2010).

INCLINAZIONE ED ESPOSIZIONE DEI VERSANTI

L'inclinazione dei versanti del bacino del T. Roglio, a causa della bassa energia del rilievo e della tendenza delle formazioni argillose e argilloso-sabbiose a modellarsi secondo forme arrotondate (Rapetti *et al.* 2006b), ha valori inferiori a 20 gradi nell'82% dell'unità fisiografica e superiori a 30 gradi solo nel 3%.

Le superfici sub-orizzontali (0-10°), costituite dai fondovalle alluvionati e dalle superfici sommitali di spianamento, presentano un orientamento nettamente prevalente verso Nord; seguono le direzioni di NW e SE (Tab. 1; Fig. 2). Nella distribuzione per quadranti la massima frequenza spetta al IV (36,3%), seguita dal I (25,7%), dal III (24,2%) e dal II (13,8%).

Le superfici con inclinazione maggiore di 10 gradi han-

Fig. 2 - Distribuzione delle classi di inclinazione per orientamento cardinale (km²).

Tab. 2 - Distribuzione cardinale assoluta (km²) delle inclinazioni maggiori di 10 gradi.

Classi	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	km ²	%
10-20°	8,0	6,2	5,3	6,4	7,6	7,7	9,1	10,0	60,3	68,5
20-30°	2,3	2,3	2,5	3,3	3,2	2,7	3,0	3,0	22,3	25,3
30-40°	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	4,8	5,5
40-50°	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,6
50-60°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale	10,7	9,0	8,6	10,7	11,7	11,0	12,8	13,6	88,0	100,0

no invece una distribuzione nel complesso omogenea: il massimo principale spetta al NW (13,6 km²) e il minimo all'E (8,6 km²) (Tab. 2; Fig. 2).

IRRADIAZIONE SULLE SUPERFICI ORIZZONTALI

Stazione di misura

L'irradianza è stata misurata presso la stazione meteorologica di Legoli (Lat.: 43° 34' 25" N, Long.: 10° 47' 55" E, H: 230 m s.l.m.m.), situata in posizione centrale nel bacino idrografico del torrente Roglio, all'interno del grande impianto di interrimento con-

trollato di rifiuti solidi urbani del Comune di Peccioli (Fig. 3). Lo strumento che ha fornito i dati radiometrici è costituito da un diodo sensibile alla radiazione nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 0,3 e 3 μm (gli Autori ringraziano l'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo-Forestale della Toscana (A.R.S.I.A.) per i dati radiometrici messi a disposizione).

Durata astronomica del dì e del soleggiamento

Nel giorno medio mensile il soleggiamento misurato, per l'assenza di ingombri orografici nelle vicinanze del-



Fig. 3 - Stazione meteorologica di Legoli (orientamento verso NNE), posta all'interno dell'impianto di interrimento controllato di rifiuti solidi urbani del Comune di Peccioli (foto: F. Rapetti, 3 aprile 2011).

Tab. 3 - Levata, culminazione e tramonto del Sole (ore e minuti). Durata astronomica del dì e del soleggiamento misurato. Irradiazione globale mensile [MJ/m²/mese].

Mesi	Levata	Culminazione	Tramonto	Durata astron. (ore)	Soleggiamento misurato (ore)	Irradiazione [MJ/m ² /mese]
G	07:47	12:28	17:07	09:20	09:04	6,2
F	07:17	12:32	17:46	10:29	10:08	8,5
M	06:28	12:27	18:25	11:57	10:54	13,2
A	05:40	12:18	19:02	13:22	12:01	16,0
M	04:52	12:15	19:37	14:45	14:04	23,9
G	04:35	12:19	20:00	15:25	14:09	23,4
L	04:52	12:23	19:56	15:04	14:27	26,0
A	05:24	12:22	19:20	11:56	11:27	23,5
S	05:58	12:13	18:28	12:30	11:41	16,5
O	06:40	12:04	17:34	10:54	10:14	11,7
N	07:13	12:03	16:54	09:41	08:38	6,4
D	07:46	12:14	16:43	08:58	07:24	4,2

la stazione di misura e per la bassa nuvolosità dell'area, è di poco inferiore a quello astronomico. L'irradiazione globale raggiunge i valori più elevati da maggio ad agosto, con il massimo principale in luglio (26,0 MJ/m²/mese); dall'inizio dell'autunno si verifica una rapida discesa dei valori fino al minimo di dicembre (4,2 MJ/m²/mese). Il regime stagionale indica che in estate viene intercettata il 38,4% dell'energia annua; seguono la primavera (27,9%), l'autunno (18,2%) e l'inverno (15,4%) (Tab. 3).

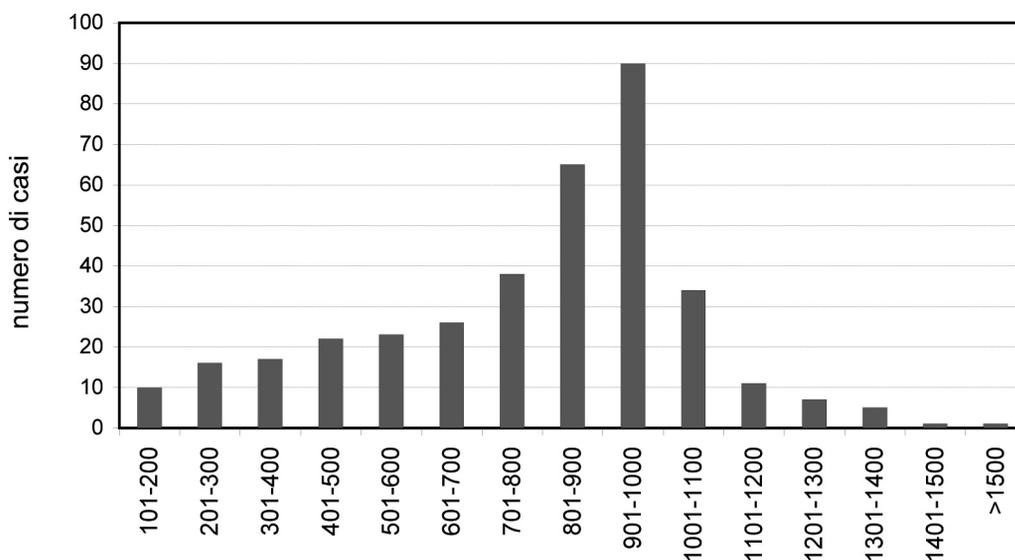
Valori massimi giornalieri dell'irradianza

La distribuzione dei valori massimi istantanei giornalieri dell'irradianza globale presenta la massima fre-

quenza nella classe (901-10.00) W/m² (90 casi), seguita dalla classe (801-900) W/m² (65 casi); nel complesso l'irradianza globale ha superato l'intensità di 1.000 W/m² in 58 giorni (Fig. 4).

Irradiazione giornaliera

I valori dell'irradiazione solare diretta, diffusa e globale sulle superfici pianeggianti sono stati ottenuti con le procedure descritte nella norma UNI/TR 11328-1 (2009), consistenti nell'integrazione dei valori dell'irradianza dal sorgere al tramonto del Sole in tutti i giorni del 2009. I valori giornalieri più elevati dell'irradiazione globale ($I_{to} > 30$ MJ/m²/giorno) si sono verificati in un ristretto numero di giorni tra maggio e giugno;

Fig. 4 - Distribuzione dei valori massimi istantanei dell'irradianza globale [W/m²].

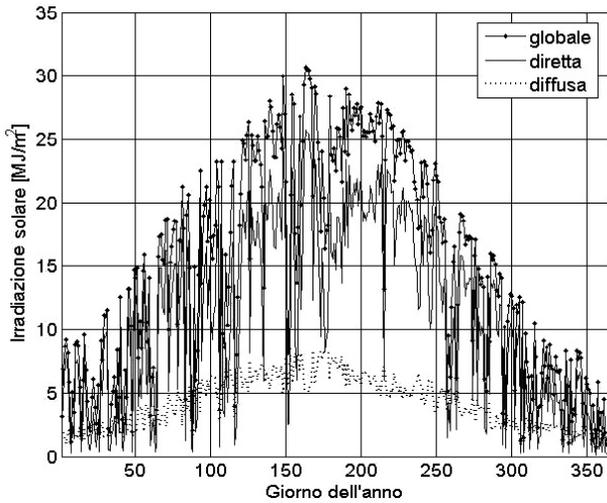


Fig. 5 - Irradiazione solare giornaliera diretta, diffusa e globale [MJ/m²/giorno].

più numerosi, e compresi tra aprile e settembre, sono i giorni con $I_{t0} > 25$ MJ/m²/giorno; i valori più bassi ($I_{t0} < 25$ MJ/m²/giorno) hanno interessato il periodo da novembre a gennaio (Fig. 5).

IRRADIAZIONE SULLE SUPERFICI ACCLIVI

Algoritmo di calcolo

L'algoritmo utilizzato per il calcolo dell'irradiazione sulle superfici inclinate e orientate consiste nell'adattamento al caso in studio della procedura descritta nella norma UNI/TR 11328-1 (2009) (vedi Appendice). Si utilizza come dato di ingresso l'irradianza misurata con frequenza semi-oraria sul piano orizzontale, con lo scopo di calcolare l'irradiazione giornaliera sulle superfici acclivi orientate (l'irradiazione è stata scissa nelle sue componenti diretta e diffusa: per la ripartizione tra le componenti è stato necessario calcolare il valore dell'indice di soleggiamento, dato dal rapporto fra l'irradiazione solare giornaliera su superficie orizzontale e il suo valore corrispondente al di fuori dell'atmosfera). La componente diretta è stata moltiplicata per il valore giornaliero del rapporto tra l'irradiazione diretta sulla superficie e quello sull'orizzontale; le componenti diffuse e riflessa sono ottenute dai valori della radia-

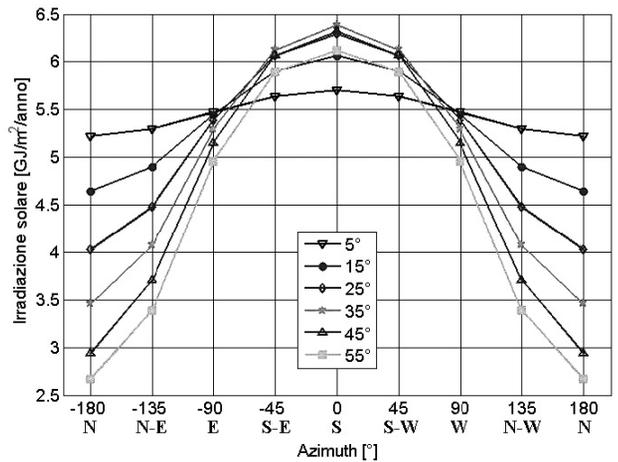


Fig. 6 - Irradiazione solare globale annua [GJ/m²/anno] a varie inclinazioni ed esposizioni cardinali.

zione su superficie orizzontale tramite una relazione trigonometrica. In particolare, la componente riflessa è funzione del coefficiente di riflessione del suolo, che è stato assunto pari a 0,2 (tipico di erba secca o pietrisco).

Risultati del calcolo

L'algoritmo di calcolo dell'irradiazione solare globale è stato applicato alle otto direzioni cardinali ed alle inclinazioni da 5 a 55 gradi (Tab. 4; Fig. 6):

Il campo di variazione dell'irradiazione annua ha presentato il valore minimo nell'esposizione Nord e nell'inclinazione di 55 gradi (2,7 GJ/m²/anno) e il valore massimo nell'esposizione Sud e nell'inclinazione di 35 gradi (6,4 GJ/m²/anno) (Tab. 4; Fig. 6).

La Figura 7 esprime l'andamento dell'irradiazione solare annua intercettata dai versanti esposti a Sud secondo i valori dell'inclinazione: determinato il valore massimo a 35 gradi, si verificano deviazioni inferiori al 5% nell'intervallo 15-55 gradi.

Per tutte le inclinazioni, si osserva la simmetria nei valori di irradiazione solare quando l'esposizione varia in direzione E-W. La distribuzione dell'irradiazione in funzione dell'azimuth varia in misura più contenuta per le inclinazioni più basse, mentre, al suo aumentare, si osserva una maggiore variabilità. Identificando in 5 gradi l'angolo di massimo per le esposizioni a Nord,

Tab. 4 - Irradiazione solare annua [GJ/m²/anno], in relazione all'orientamento cardinale e alle inclinazioni dei versanti.

Inclinazione	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
5°	5,2	5,3	5,5	5,6	5,7	5,6	5,5	5,3
15°	4,6	4,9	5,4	5,9	6,1	5,9	5,4	4,9
25°	4,0	4,5	5,4	6,1	6,3	6,1	5,4	4,5
35°	3,5	4,1	5,3	6,1	6,4	6,1	5,3	4,1
45°	2,9	3,7	5,2	6,1	6,3	6,1	5,2	3,7
55°	2,7	3,4	5,0	5,9	6,1	5,9	5,0	3,4

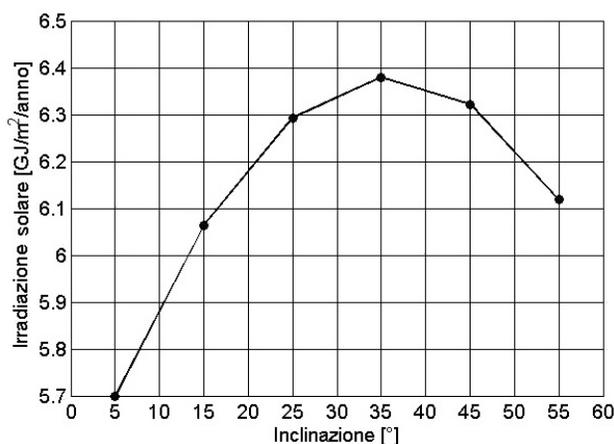


Fig. 7 - Irradiazione solare globale annua [GJ/m²/anno] per l'esposizione Sud e per le varie inclinazioni.

si riscontra che per il Sud a tale valore corrisponde il minimo. L'inversione dell'angolo del valore massimo si ripete anche ad altri livelli di inclinazione.

Irradiazione solare globale sulle superfici del bacino del T. Roglio

Il prodotto tra i valori di irradiazione relativi alle otto direzioni cardinali, le inclinazione tra 5 e 55 gradi e l'area delle superfici competenti, consente la stima dell'irradiazione totale annua intercettata dal bacino del T. Roglio (2009).

Sui versanti di inclinazione maggiore di 10 gradi l'irradiazione globale annua più elevata è intercettata dall'esposizione S (71,8 PJ/anno), di poco maggiore di quella incidente sui versanti W (69,2 PJ/anno) e SW (65,4 PJ/anno); il valore più basso riguarda l'orientamento NE (42,6 PJ/anno). Nel complesso l'irradiazione globale incidente sul bacino del T. Roglio è stimata pari a 862,0 PJ (Tab. 5; Fig. 8).

Conclusioni ed applicazioni future

Il campo di variazione dell'irradiazione, in relazione ai versanti comunque inclinati ed orientati, è compreso tra 6,4 MJ/m²/anno, relativo all'esposizione Sud e all'incli-

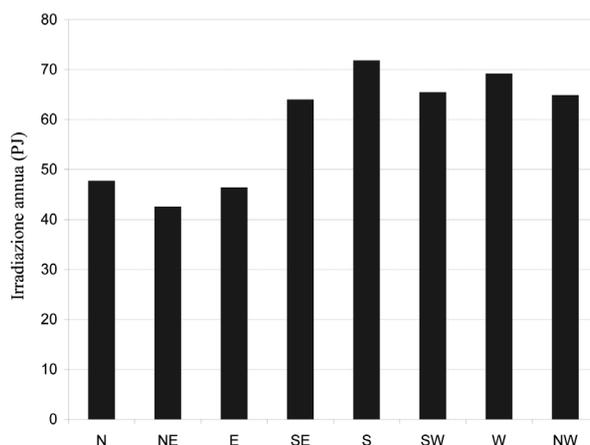


Fig. 8 - Distribuzione dell'irradiazione annua [PJ/anno] sulle superfici del bacino del T. Roglio per direzione cardinale ed inclinazione da 15 a 55 gradi.

nazione di 35 gradi, e 2,7 MJ/m²/anno intercettati dai versanti esposti a Nord e di inclinazione di 55 gradi.

Le superfici sub-orizzontali (inclinazione < 10 gradi), costituite dai fondovalle alluvionati e dalle superfici sommitali di spianamento, coprono il 45,0% dell'area del bacino, con una netta asimmetria nella direzione cardinale dell'inclinazione del suolo, poiché il 13,5% (21,6 km²) è vergente a Nord e il 41,3% (66,1 km²) nel settore compreso tra NW e NE.

Tale aspetto della morfologia determina che 112,6 PJ/anno, pari al 13,1% dell'irradiazione solare complessiva, venga intercettata dalle superfici sub-orizzontali vergenti a Nord. Nel complesso le superfici sub-orizzontali, che ammontano a 72,1 km² (45,0%), intercettano 389,9 PJ/anno, corrispondenti al 45,2% l'irradiazione solare. I versanti orientati verso il I e IV quadrante (inclinazione > 10 gradi), che coprono rispettivamente aree di 18,7 km² e 25,4 km², intercettano 89,7 PJ/anno e 123,5 PJ/anno. I versanti orientati verso il II e III quadrante, con superfici di 20,9 km² e 23,3 km², ricevono 123,1 PJ/anno e 135,9 PJ/anno.

I risvolti di interesse naturalistico della ineguale distribuzione dell'irradiazione solare sui versanti orientati ed inclinati sono molteplici: di particolare significato, ai

Tab. 5 - Irradiazione solare globale annua incidente [PJ/anno], secondo le direzioni cardinali e le inclinazione tra 5 e 55 gradi.

Inclinazione	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Totale
5°	112,6	31,6	19,4	28,1	36,7	53,7	51,8	56,0	389,9
15°	37,0	30,2	28,9	38,0	46,1	45,3	49,6	49,2	324,2
25°	9,2	10,3	13,4	20,3	20,3	16,5	16,1	13,3	119,3
35°	1,4	2,0	3,7	5,1	4,8	3,4	3,1	2,3	25,6
45°	0,1	0,2	0,5	0,6	0,6	0,3	0,3	0,2	2,9
55°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Totale	160,4	74,2	65,8	92,1	108,5	119,1	121,0	121,0	862,0

fini dell'esplicazione dei processi elementari di degradazione delle rocce e del modellamento dei versanti, sono la temperatura e il contenuto idrico del suolo, in superficie e nei primi centimetri di profondità, che si determinano per la diversa quantità di irradiazione solare intercettata. Una indagine svolta presso Legoli, non distante dal luogo di misura dell'irradianza (stazione meteorologica dell'A.R.S.I.A.), sulla distribuzione della temperatura del suolo in versanti argillosi diversamente orientati e inclinati, ha dimostrato che nei mesi estivi i valori termici registrati alla profondità di 5 centimetri, nel versante meridionale, inclinato di 50 gradi, e nel versante settentrionale, inclinato di 30 gradi, sono molto diversi: il 10 luglio 1978, ad esempio, si è raggiunta la temperatura massima di 42,8°C nel versante meridionale e 26,6°C nel versante settentrionale e le escursioni termiche giornaliere sono state rispettivamente di 17,2 e 6,3°C (Rapetti, Vittorini, 1975). Nei suoli argillosi ad elevato contenuto di minerali a reticolo espandibile, molto sensibili alle variazioni del contenuto idrico nei riguardi della suscettività all'erosione di massa, i valori termici riscontrati determinano tassi di evaporazione molto diversi, cui fa seguito la diversa intensità del crepacciamento, consistente nella formazione di spaccature per contrazione di volume. La frammentazione poliedrica del suolo che ne deriva predispone i versanti ai processi di erosione di massa: dagli scollamenti superficiali alle colate di fango (Vittorini, 1964; Battaglia *et al.*, 2011).

BIBLIOGRAFIA

- Battaglia S., Leoni L., Rapetti F., Spagnolo M., 2011. Dynamic evolution of badlands in the Roglio basin (Tuscany, Italy). *Catena* 86: 14-23.
- Bertini G., Cameli G.M., Costantini A., Decandia F.A., Di Filippo M., Dini I., Elter F.M., Lazzarotto A., Liotta D., Pandeli E., Sandrelli F., Toro B., 1991. Struttura geologica fra i monti di Campiglia e Rapolano Terme (Toscana Meridionale): stato attuale delle conoscenze e problematiche. *Studi Geologici Camerti, Volume Speciale*, 1991/1: 155-178.
- Carmignani L., Kligfield R., 1990. Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane Core Complex. *Tectonics*, 9: 1275-1303.
- Cortemiglia G.C., Rapetti F., Viti F., 2011. Analisi climatica della serie termopluviometrica storica (1813-2008) rilevata nell'Osservatorio Ximeniano di Firenze. *Riv. Geogr. Ital.*, I, 118: 83-114.
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2009. Norma UNI/TR 11328-1, Energia solare: calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Parte 1: valutazione dell'energia raggianti ricevuta.
- Fazzini M., 2005. Definizione quantitativa dei regimi pluviometrici nelle Alpi orientali italiane. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* - Volume speciale in onore di G.B. Castiglioni: 112-130.
- Gazzolo T., Pinna M., 1969. La distribuzione della temperatura in Italia nel trentennio 1926-1955. In: Min. LL. PP., *Servizio Idrografico*, Pubbl. N. 21, 12ª Ed., Fasc. 4, Roma: 1-116.
- Mannucci P., Rapetti F., Salvetti A., Spagnolo M., 2008. Variazioni nell'uso del suolo nel bacino idrografico del T. Roglio (Val d'Era, Toscana) nell'ultimo cinquantennio. *L'Italia Forestale e Montana Anno LXIII* 2: 161-182.
- Rapetti F., Vittorini S., 1975. La temperatura del suolo in due versanti contrapposti del preappennino argilloso toscano. *Soc. Ital. Sc. Suolo* 9: 25.
- Rapetti F., 1978. Idrologia dell'alto e medio bacino del T. Roglio (Val d'Era). *Geol. Appl. e Idrogeol.* 13: 185-222.
- Rapetti F., Salvetti A., Spagnolo M., 2006a. Lineamenti geomorfologici del bacino del T. Roglio. Atti del Convegno Conclusivo del Progetto: Erosione idrica in ambiente mediterraneo: valutazione diretta e indiretta in aree sperimentali e bacini idrografici (PRIN/COFIN, 2002). Firenze 17 Dicembre 2004. Stamperia Brigati, Genova: 65-85.
- Rapetti F., Salvetti A., Spagnolo M., 2006b. Climatologia e idrologia nel bacino del torrente Roglio (Val d'Era - Toscana) in relazione ai processi morfogenetici in atto. Atti del Convegno Conclusivo del Progetto: Erosione idrica in ambiente mediterraneo: valutazione diretta e indiretta in aree sperimentali e bacini idrografici (PRIN/COFIN, 2002). Firenze 17 Dicembre 2004. Stamperia Brigati, Genova: 105-124.
- Testi C., Rapetti F., Maerker M., 2010. Analisi della suscettività al dissesto idrogeologico del bacino del T. Roglio (Val d'Era - Toscana): confronto tra analisi di regressione logit e analisi cart per la determinazione delle unità di risposta all'erosione. In: Bonari E., Debolini M. (Eds.), *Agricoltura e erosione del suolo in Toscana*. Felici Editore, Pisa: 63-78.
- Thornthwaite C.W., Mather J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology* 10 (3): 186-311.
- Trevisan L., 1952. Sul complesso sedimentario del Miocene superiore e del Pliocene della Val di Cecina e sui movimenti tettonici tardivi in rapporto ai giacimenti di lignite e di salgemma. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 70: 65-78.
- Vittorini S., 1964. La valutazione quantitativa dell'erosione nei suoli argillosi pliocenici della Val d'Era. Atti del XIX Congresso Geografico Italiano. Como, 18-23 maggio 1964: 83-100.
- Vittorini S., 1971. The effects of soil erosion in an experimental station in the Pliocenic clay of the Val d'Era (Tuscany) and its influence on the evolution of the slopes. *Acta Geographica*, Debrecina X: 71-81.
- Vittorini S., 1981. Carta ed osservazioni geomorfologiche dell'area settentrionale del bacino del T. Roglio (Preappennino Toscano). *Rivista Geografica Italiana* 88: 200-213.

(ms. pres. il 24 ottobre 2011; ult. bozze il 30 luglio 2012)

APPENDICE

Dall'irradianza solare misurata sul piano orizzontale, attraverso opportuni sviluppi fisici e trigonometrici, è possibile determinare l'irradiamento intercettato da superfici comunque inclinate ed orientate (Fig. A).

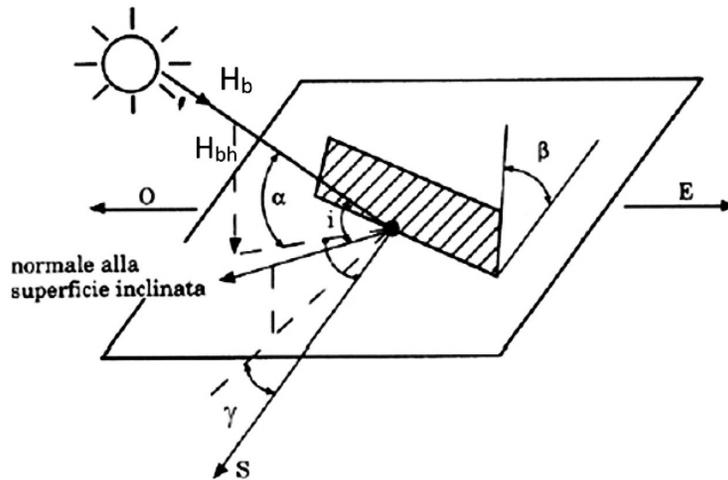


Fig. A - Relazioni geometriche tra l'irradiazione solare e le superfici comunque orientate ed inclinate (H_b = irradiazione solare diretta incidente sulla superficie captante; H_{bh} = irradiazione solare diretta misurata al suolo su superficie orizzontale; α : altezza del sole sull'orizzonte; i : angolo tra i raggi solari e la normale alla superficie; β e γ : rispettivamente inclinazione e azimuth della superficie captante).

In via preliminare, è stato effettuato il calcolo dell'irradianza solare extratmosferica giornaliera su piano orizzontale:

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times 10^{-6}}{\pi} G_0 (1 + 0,033 \cos \frac{360 n}{365}) (T_h \frac{2\pi\omega_s}{360} + U_h \sin \omega_s)$$

dove n è il giorno dell'anno, compreso tra 1 e 365; G_0 è la costante solare, assunta pari a 1353 W/m^2 ; $T_h = \sin \delta \sin \varphi$; $U_h = \cos \delta (\cos \varphi \cos \beta)$; δ è la declinazione solare del giorno considerato, φ è la latitudine del luogo, β è l'inclinazione della superficie captante; ω_s è l'angolo orario del tramonto, che si ottiene mediante la seguente relazione:

$$\omega_s = \arccos \left(-\frac{\tan \varphi}{\tan \delta} \right)$$

Si definisce indice di soleggiamento reale il rapporto tra l'irradiazione solare globale su superficie orizzontale e la corrispondente irradiazione extratmosferica:

$$K_T = \frac{H_n}{H_{n0}}$$

Una stima del rapporto tra i valori giornalieri di irradiazione solare diffusa H_{dh} e irradiazione solare globale sul piano orizzontale si può ottenere tramite la seguente correlazione, espressa in funzione dell'indice di soleggiamento reale:

$$\frac{H_{dh}}{H_h} = 0,881 - 0,972 \times K_T$$

Per ogni giorno dell'anno, la radiazione globale misurata è stata così scissa nelle sue componenti diffusa (H_{dh}) e diretta (H_{bh}):

$$H_{bh} = H_h - H_{dh}$$

La componente diretta su superficie orizzontale è stata poi moltiplicata per il fattore geometrico R_b , ottenendo così il suo valore su una superficie comunque inclinata e orientata:

$$H_b = H_{bh} \times R_b$$

R_b dipende, oltre che dalle variabili già enunciate, anche dagli angoli orari dell'alba e del tramonto, visti dalla generica superficie inclinata e orientata, e varia dunque giornalmente.

Per la componente diffusa è stato sufficiente moltiplicare i valori su superficie orizzontale per un'opportuna relazione geometrica:

$$H_d = H_{dh} \times \frac{(1 + \cos \beta)}{2}$$

L'energia intercettata dalle superfici sub-orizzontali ed inclinate non viene completamente assorbita dal suolo, poiché una frazione viene rinviata verso l'atmosfera. Il rapporto tra l'energia rinviata e quella incidente (albedo) è funzione complessa del tipo di suolo (colore e struttura), dell'umidità del suolo, della copertura vegetale e della geometria delle superfici in relazione all'altezza del Sole sull'orizzonte.

In aggiunta alle componenti di radiazione diretta e diffusa, una superficie inclinata è dunque in grado di captare una quota aggiuntiva di energia riflessa dal suolo, stimabile tramite la seguente relazione:

$$H_r = H_h \times \rho \times \frac{(1 - \cos \beta)}{2}$$

dove ρ è il coefficiente di riflessione del suolo, che per questo studio è stato ipotizzato pari a 0,2.

Una volta ottenute le singole componenti giornaliere diretta, diffusa e riflessa, l'irradiazione globale è data dalla somma dei parametri H_b , H_d , H_r :

$$H = H_b + H_d + H_r$$

Nel modello non vengono prese in considerazione eventuali ingombri orografici o di altra natura, che avrebbero un'influenza su tutte le componenti di radiazione (minore irradiazione diretta e diffusa e irradiazione riflessa presente anche su superficie orizzontale). Tale semplificazione è finalizzata alla realizzazione di un calcolo su base statistica; sarebbe altrimenti necessario conoscere le esatte posizioni di ogni singolo elemento orografico e, per ciascuno, sviluppare un calcolo specifico di schermature e riflessi, tenendo conto dei diversi fattori di vista.