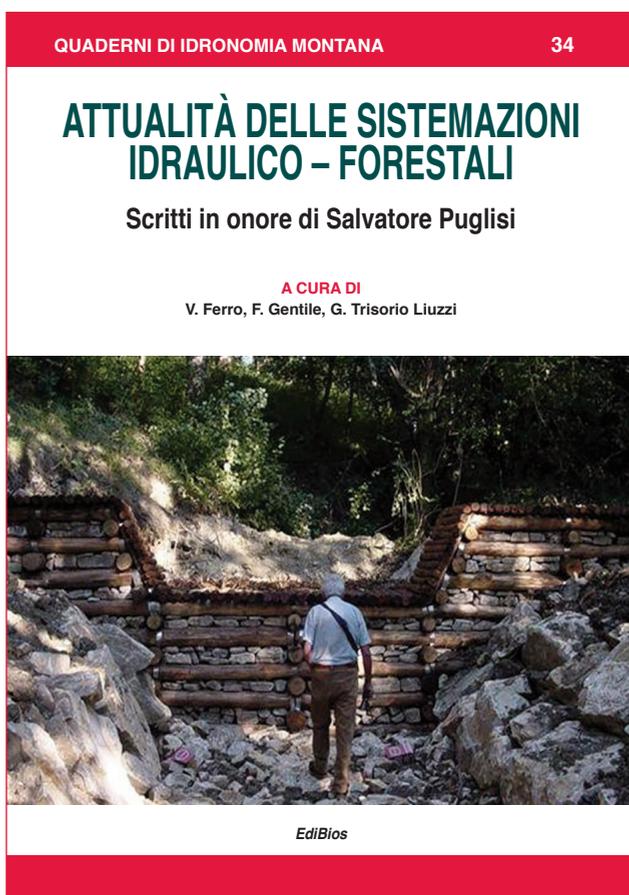


Verifica delle equazioni disponibili per la stima della potenza cinetica delle precipitazioni naturali

F.G. Carollo, V. Ferro, M A. Serio

ESTRATTO



ISBN 978-88-97181-48-4

EdiBios

VERIFICA DELLE EQUAZIONI DISPONIBILI PER LA STIMA DELLA POTENZA CINETICA DELLE PRECIPITAZIONI NATURALI

Testing literature equations for estimating rainfall kinetic energy

F.G. Carollo, V. Ferro*, M.A. Serio**

Sommario

Nella memoria sono riportati i risultati delle indagini condotte utilizzando le distribuzioni dimensionali delle gocce di pioggia (DSD) rilevate mediante un disdrometro ottico installato, nel periodo Giugno 2006 - Marzo 2014, presso il Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali dell'Università degli Studi di Palermo e nel periodo Luglio 2015-Gennaio 2016 presso la stazione sperimentale di El Teularet in Spagna.

Dopo aver aggregato le DSD per classi di intensità differenti in ampiezza, è stata determinata la potenza cinetica associando a ciascun diametro della DSD aggregata la relativa velocità di caduta calcolata mediante una relazione reperita in letteratura. I valori di potenza cinetica così determinati sono stati utilizzati per testare l'applicabilità delle relazioni potenza cinetica-intensità della precipitazione proposte da Wischmeier and Smith (1978) e da Brown and Foster (1987).

Le misure di potenza cinetica, dimostrano l'esistenza di un valore soglia di intensità di precipitazione superato il quale il diametro mediano volumetrico e, di conseguenza, la potenza cinetica, possono essere assunti costanti. Questi risultati costituiscono una verifica dell'approccio di Wischmeier e Smith (1978).

Summary

This paper shows the results of an experimental investigation carried out by the drop size distributions (DSD) measured in the period June 2006- March 2014 using an optical disdrometer installed at the Department of Agricultural and Forestry Sciences of University of Palermo and in the period July 2015-January 2016 at the experimental El Teularet station in Spain.

At first the DSDs are aggregated into intensity classes and then measured kinetic power values are determined by coupling at each drop of the aggregated DSD the corresponding terminal velocity, which can be calculated by a relationship available in literature. Measured kinetic power values are used for testing the applicability of the kinetic power-rainfall intensity relationship proposed by Wischmeier and Smith (1978) and Brown and Foster (1987).

Finally, the measurements show that it can be established a threshold value of rainfall intensity over which both the median volume diameter of the DSD and the kinetic power become constant. These results justify the approach of Wischmeier and Smith (1978).

* Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università di Palermo, Italia, e-mail: francescogiuseppe.carollo@unipa.it

1. Introduzione

L'erosività della precipitazione, cioè la sua attitudine ad erodere un suolo, può essere valutata mediante la sua energia cinetica per unità di tempo e di superficie, denominata potenza cinetica, P_n .

Molti ricercatori hanno proposto relazioni empiriche per la stima della potenza cinetica in funzione dell'intensità di precipitazione, aventi differenti forme matematiche: polinomiale (Hudson, 1965; Carter et al., 1974; Kinnell, 1973; Sempere-Torres et al., 1992), esponenziale (McGregor and Multchler, 1976; Kinnell, 1981; Rosewell, 1986; Brown and Foster, 1987; Renard et al., 1997; Coutinho and Tomás, 1995; Cerro et al., 1998; Jayawardena and Rezaur, 2000b), logaritmica (Wischmeier and Smith, 1978; Zanchi and Torri, 1980; Onaga et al., 1988; Brandtl, 1990) e potenziale (Park et al., 1980; Smith and De Veaux, 1992; Steiner and Smith, 2000; Uijlenhoet and Stricker, 1999) (Salles et al., 2002).

La relazione più comunemente utilizzata per la stima di P_n in funzione di I è quella proposta da Wischmeier e Smith (1978):

$$P_n = \begin{cases} (11.9 + 8.73 \log I) I & \text{for } I \leq I_t \\ (11.9 + 8.73 \log I_t) I & \text{for } I > I_t \end{cases} \quad (1)$$

in cui I_t è il valore soglia di intensità che secondo Wischmeier e Smith (1978) è pari a 76 mm h^{-1} . In accordo con l'eq. (1) il rapporto P_n/I , che rappresenta l'energia cinetica per unità di volume di pioggia, cresce per valori di intensità minori o uguali al valore soglia, I_t , oltre il quale assume un valore costante.

Wischmeier e Smith (1978) giustificarono questo valore soglia affermando che il diametro mediano volumetrico della distribuzione, D_0 , (cioè il diametro che divide la DSD in due parti di uguale volume), non cresce più con l'intensità di precipitazione per $I_t > 76 \text{ mm h}^{-1}$. Per descrivere questo trend, Kinnell (1981) ha proposto la seguente relazione:

$$P_n = a (1 - b \exp(-c I)) I \quad (2)$$

in cui a , b e c sono dei parametri. In particolare, il parametro a è il valore asintotico a cui P_n/I tende per valori elevati dell'intensità. Brown e Foster (1987) calibrarono la (2) ottenendo $a = 29 \text{ J m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, $b = 0,72$, $c = 0,05 \text{ h mm}^{-1}$.

Altri ricercatori (Park et al., 1980; Smith e De Veaux, 1992; Uijlenhoet e Stricker, 1999; Steiner e Smith, 2000; Sanchez-Moreno et al., 2012) hanno positivamente verificato l'applicabilità di una relazione di tipo potenziale in accordo alla quale la potenza cinetica per unità di volume di precipitazione non assume mai un valore costante, ma cresce sempre al crescere dell'intensità di precipitazione.

La potenza cinetica è anche calcolabile sommando i contributi imputabili alle singole gocce che costituiscono la precipitazione una volta nota la distribuzione dimensionale (*Drop Size Distribution*, DSD) e la velocità terminale delle singole gocce di pioggia. Quest'ultima può essere stimata mediante la seguente relazione (Ferro, 2001):

$$V = 9.5 [1 - \exp(-6 D)] \quad (3)$$

Carollo et al. (2015) utilizzando 42273 DSD registrate a Palermo mediante un disdrometro ottico hanno dimostrato che: (i) l'eq.(1) risulta applicabile per la stima di P_n in Sicilia; (ii) l'eq.(2) produce una sistematica sottostima di P_n per bassi valori di intensità di precipitazione; (iii) una relazione di tipo potenziale appositamente calibrata sui dati sovrastima la potenza cinetica per alti valori dell'intensità di precipitazione.

Salles et al. (2002) analizzando le relazioni empiriche P_n-I disponibili hanno verificato che, per fissata intensità, esse conducono a valori differenti di potenza cinetica. In accordo con Parsons e Gadian (2000), Salles et al. (2002) sono pervenuti alla conclusione che un parametro globale, come l'intensità di precipitazione I o il diametro mediano volumetrico D_0 , non è sufficiente per la determinazione della potenza cinetica poiché essa dipende anche dalle condizioni climatiche (umidità e temperatura dell'aria), dal tipo di precipitazione e dall'altitudine del sito.

Carollo et al. (2016) utilizzando 42273 DSD registrate a Palermo, dopo averle aggregate per classi di intensità di ampiezza pari a 1 mm/h, hanno riscontrato che sia la potenza cinetica per unità di volume di pioggia, P_n/I , sia D_0 presentano una analoga dipendenza dalla intensità di precipitazione. Infatti, P_n/I e D_0 crescono con l'intensità di precipitazione per $I < 40$ mm h⁻¹, per poi diventare pressappoco costanti. Questo risultato costituisce una piena conferma dell'approccio di Wischmeier e Smith (1978), anche se Carollo et al. (2016) sono pervenuti ad un differente valori di I_t pari a 40 mm/h.

Nella presente memoria sono riportati i risultati dell'analisi delle caratteristiche energetiche delle precipitazioni rilevate, mediante un disdrometro ottico, a Palermo e nella stazione El Teularet in Spagna. Viene, inoltre, effettuata la verifica di applicabilità delle relazioni per la stima della potenza cinetica proposte da Wischmeier e Smith (1978) (eq. 1) e da Kinnell (1981) (eq.2) con i parametri stimati da Brown e Foster (1987).

2. Descrizione dei siti sperimentali e della strumentazione

Il rilievo della distribuzione dimensionale delle gocce di pioggia è stato effettuato mediante un disdrometro ottico (modello ODM 470-Eigenbrodt) installato, nel periodo Giugno 2006-Marzo 2014, presso la stazione sperimentale del Dipartimento SAF dell'Università degli Studi di Palermo (Fig. 1a) e, nel periodo Luglio 2015-Gennaio 2016, presso la stazione sperimentale El Teularet sita nella Comunità Valenziana (Fig. 1b). La stazione sperimentale di Palermo è localizzata a 40 m s.l.m. ed è caratterizzata da un clima temperato mediterraneo con estati calde ed inverni miti e piovosi. La precipitazione media annua, prevalentemente concentrata nei mesi invernali, è circa 750 mm. La stazione sperimentale El Teularet, localizzata a 760 m s.l.m. nella Sierra de Enguera, a 100 km a sud-est di Valencia. la stazione sperimentale El Teularet è caratterizzata da un clima di tipo mediterraneo continentale, costituito da inverni freddi ed estati molto calde. La precipitazione media annua è di 480 mm distribuita in modo irregolare nel corso dell'anno.

Il disdrometro ottico utilizzato rileva le gocce di pioggia di diametro com-

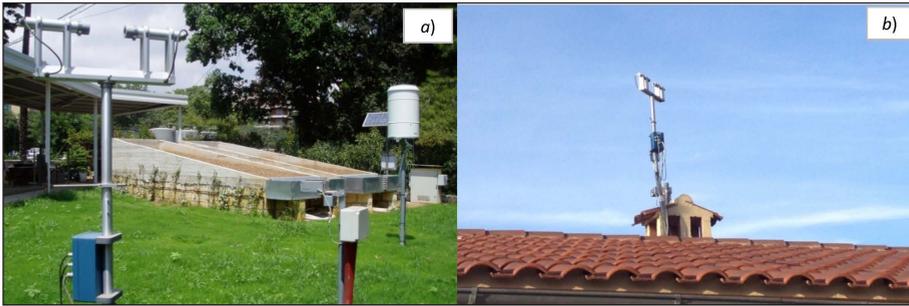


Fig. 1 - Vista dell'installazione sperimentale di Palermo (a) e del El Teularet (b)

preso tra 0,05 e 6,0 mm e suddivide il campo dei possibili diametri in 128 classi di campionamento aventi ampiezza di 0,005 cm e restituisce in output per ogni minuto di acquisizione il numero delle gocce che ricadono in ciascuna classe.

Lo strumento misura lo smorzamento della luce prodotto dal passaggio delle gocce di pioggia attraverso un volume di controllo compreso tra due diodi, che risulta essere proporzionale al diametro della goccia di pioggia. Per maggiori dettagli sul principio di funzionamento del disdrometro si rimanda a Carollo e Ferro (2015).

3. Caratterizzazione energetica delle precipitazioni e stima della potenza cinetica

Il disdrometro ottico ha consentito il monitoraggio di 523 eventi di pioggia, verificatisi nel periodo Giugno 2006- Marzo 2014, a Palermo e di 41 eventi, registrati nel periodo Luglio 2015- Gennaio 2016, presso la stazione sperimentale El Teularet. Considerando soltanto le DSD caratterizzate da un'intensità maggiore di $0,5 \text{ mm h}^{-1}$ e dalla presenza di almeno 20 classi diametrali non vuote, sono state selezionate 42273 DSD per il dataset registrato a Palermo e 2529 DSD per quello di El Teularet.

Per ciascun dataset, le DSD sono state aggregate per classi di intensità di ampiezza uguale a 1 mm h^{-1} per intensità $I < 30 \text{ mm/h}$, a 2 mm h^{-1} per $30 < I < 50 \text{ mm h}^{-1}$, a 5 mm h^{-1} per $50 < I < 100 \text{ mm h}^{-1}$ e a 10 mm h^{-1} per $I > 100 \text{ mm h}^{-1}$. Per ciascuna classe, l'intensità di precipitazione è stata posta uguale alla media delle intensità delle singole DSD che ricadono nella classe. L'aggregazione ha comportato la determinazione di 59 DSD aggregate per Palermo, caratterizzate da una intensità variabile da 0,78 a 203 mm h^{-1} , e 54 DSD aggregate per il data set spagnolo ($I = 0,74 \div 145 \text{ mm/h}$).

Il numero di DSD ricadenti in ciascuna classe di intensità, come atteso, decresce all'aumentare dell'intensità di precipitazione (Fig. 2) e in particolare tale numero è inferiore alle 10 unità per $I > 60 \text{ mm h}^{-1}$ per le DSD registrate a Palermo (Fig. 2a) e $I > 30 \text{ mm/h}$ per le DSD registrate a El Teularet (Fig. 2b).

A partire dalle DSD aggregate è stata determinata la potenza cinetica associando a ciascun diametro la velocità di caduta determinata mediante l'eq.(3). La figura 3 riporta, per entrambi i siti sperimentali, il diametro mediano volu-

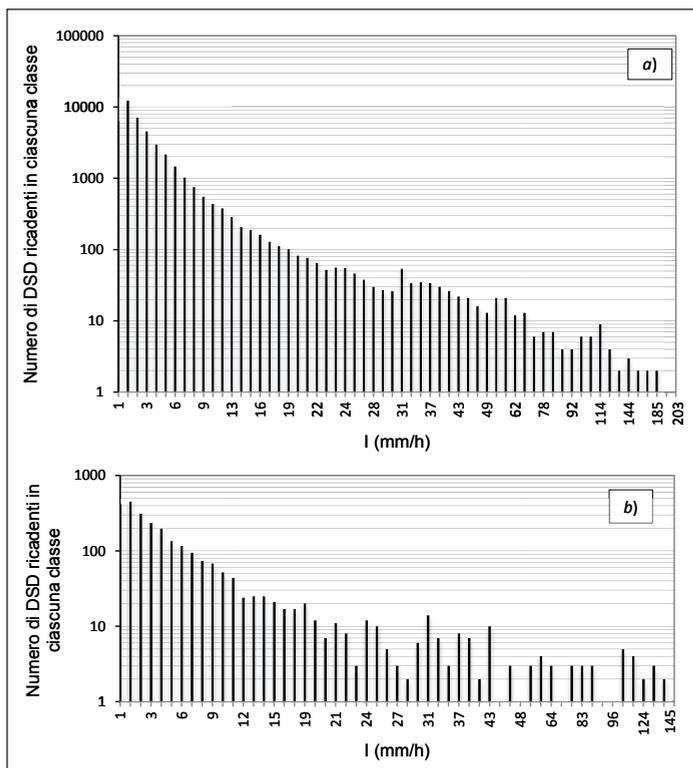


Fig. 2 - Numero delle DSD, registrate a Palermo (a) e a El Teularet (b), ricadenti in ciascuna classe di intensità in funzione di I

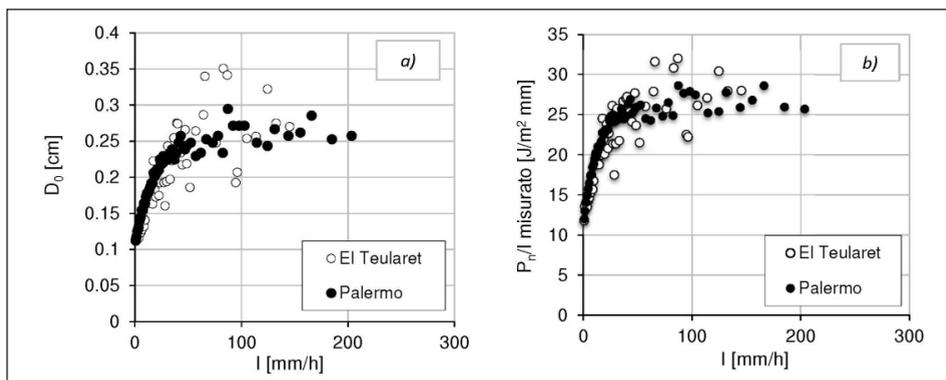


Fig. 3 - Confronto tra i valori misurati di diametro medio volumetrico della distribuzione, D_0 , versus I (a) e tra i valori di P_v/I versus I (b) delle DSD registrate a Palermo e nel El Teularet

metrico (Fig. 3a) e la potenza cinetica per unità di volume di precipitazione (Fig. 3b) in funzione dell'intensità di precipitazione. Il dataset spagnolo, caratterizzato da un numero di singole DSD inferiore a quello delle DSD registrate a Palermo, presenta una maggiore dispersione dei punti. Tuttavia, entrambi i grafici mostrano una sostanziale sovrapposizione dei due dataset sperimentali,

denotando una scarsa dipendenza delle caratteristiche energetiche della precipitazione dal luogo in cui si verifica l'evento meteorico. Per entrambi i dataset, sia la potenza cinetica per unità di volume di precipitazione sia il diametro medio volumetrico hanno un andamento crescente con l'intensità di precipitazione sino ad un valore soglia pari a 40 mm/h superato il quale il suddetto andamento può essere ritenuto costante. Questo risultato conferma la validità dell'approccio di Wischmeier e Smith (1978) secondo il quale P_n/I non cresce più per $I > I_t$ perché il diametro medio non cresce più oltre questo valore limite di intensità di precipitazione. Pertanto il trend mostrato in figura 3b non può essere descritto da una relazione di tipo potenziale secondo cui P_n/I dovrebbe sempre crescere con l'intensità di precipitazione.

La figura 4 riporta i punti ($D_0, P_n/I$) relativi ad entrambi i siti sperimentali. Le due serie sperimentali sono perfettamente sovrapposte e i punti individuano un'unica curva dimostrando che la potenza cinetica per unità di volume di precipitazione dipende unicamente dal diametro medio volumetrico e questa dipendenza risulta la medesima in Spagna e in Sicilia. La figura 4 costituisce, pertanto, una prova definitiva della validità dell'ipotesi di Wischmeier e Smith (1978) secondo cui P_n/I dipende da I perché D_0 dipende da I .

In figura 5 sono riportati, per i due dataset, i valori misurati di P_n/I in funzione dell'intensità di precipitazione e sono rappresentate le curve di eq. (1) e (2). Per valori dell'intensità $2 < I < 20 \text{ mm h}^{-1}$ e per $I > 40 \text{ mm h}^{-1}$, l'eq.(1) conduce a valori della potenza cinetica leggermente maggiori di quelli misurati. La suddetta sovrastima, riscontrata per i valori più alti di intensità, si riduce scegliendo un valore soglia $I_t = 40 \text{ mm/h}$ (Fig. 5). L'eq. (2) con i parametri stimati da Brown e Foster (1987), invece, tende a sottostimare la potenza cinetica per $I < 20 \text{ mm h}^{-1}$ mentre per valori superiori, sovrapponendosi alla curva di eq.(1), determina anch'essa una modesta sovrastima di P_n/I . La curva di eq. (2) tuttavia, rispetto all'eq. (1), presenta una forma più adatta a descrivere le misure sperimentali necessitando, però, di una ricalibrazione dei parametri ($a = 26.4 \text{ J m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, $b = 0,56$, $c = 0,07 \text{ h mm}^{-1}$) (Fig. 5).

Si osserva, infine, che, per $I > 20 \text{ mm/h}$, la curva relativa all'eq. (2) ricalibrata si sovrappone alla curva di Wischmeier e Smith (1978) per $I_t = 40 \text{ mm/h}$.

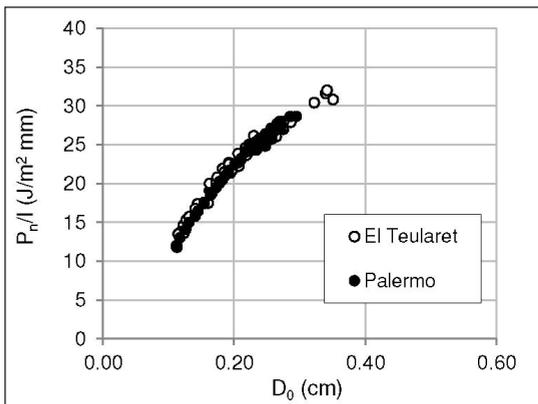


Fig. 4 - Confronto tra le coppie ($D_0, P_n/I$) delle DSD registrate a Palermo e a El Teularet

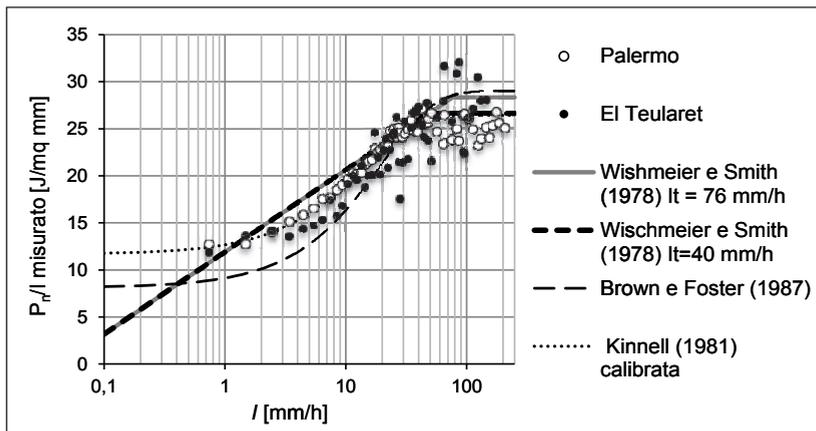


Fig. 5 - Confronto tra i valori misurati delle coppie $(I, P_n/I)$ e le curve di eq. (1) e (2)

La figura 6 mostra il confronto tra i valori di P_n misurati nei due siti sperimentali e quelli calcolati mediante l'eq.(1) ponendo sia $I_t = 76 \text{ mm h}^{-1}$ (Fig. 6a) sia $I_t = 40 \text{ mm h}^{-1}$ (Fig. 6b), e l'eq. (2) considerando sia i parametri suggeriti da Brown e Foster (1987) (Fig. 6c) sia quelli ottenuti mediante calibrazione (Fig. 6d). In tabella 1 sono riportate le verifiche di applicabilità delle stesse equazioni rappresentate in figura 6 alle misure di potenza cinetica di entrambi i siti sperimentali. In particolare, per ciascuna equazione e per ciascun dataset, in tabella 1 sono riportati l'errore medio e il numero di misure caratterizzate da un errore superiore al 15%.

I grafici di figura 6 confermano, soprattutto per i dati di Palermo, una modesta sovrastima di entrambe le equazioni per alti valori intensità (Fig. 6a e 6c). Tuttavia, l'addensamento dei punti attorno alla retta di perfetto accordo ed un errore medio abbastanza contenuto (Tab.1), dimostrano una sostanziale applicabilità di entrambe le relazioni.

Con riferimento all'equazione di Wischmeier e Smith (1978), porre $I_t = 40 \text{ mm h}^{-1}$ determina per le piogge siciliane un apprezzabile miglioramento delle capacità di stima (riduzione dell'errore medio dal 7% al 4,6% e soltanto l'1,7% delle misure è affetto da un errore maggiore del 15%) (Tab.1). Per le piogge registrate a El Teularet, invece, non si registrano sostanziali differenze tra i due valori di soglia ($I_t = 76 \text{ mm/h}$ e $I_t = 40 \text{ mm/h}$).

L'equazione di Brown e Foster (1987), rispetto all'eq.(1), risulta meno applicabile alle precipitazioni siciliane. Per le piogge spagnole, invece, le due equazioni sembrano avere la stessa applicabilità. La ricalibrazione dell'eq.(2) conduce, come atteso, alle migliori stime della potenza cinetica comportando per le piogge spagnole, un errore medio del 8,8% e soltanto per il 14,8% delle misure l'errore è superiore al 15% mentre, in Sicilia, l'errore medio risulta pari al 3% e nessuna misura presenta un errore superiore al 15% (Tab.1). Si osserva tuttavia che, per il dataset siciliano, l'eq.(2) ricalibrata comporta stime di potenza cinetica non molto diverse da quelle ottenute con l'equazione di Wischmeier e Smith (1978) $I_t = 40 \text{ mm/h}$.

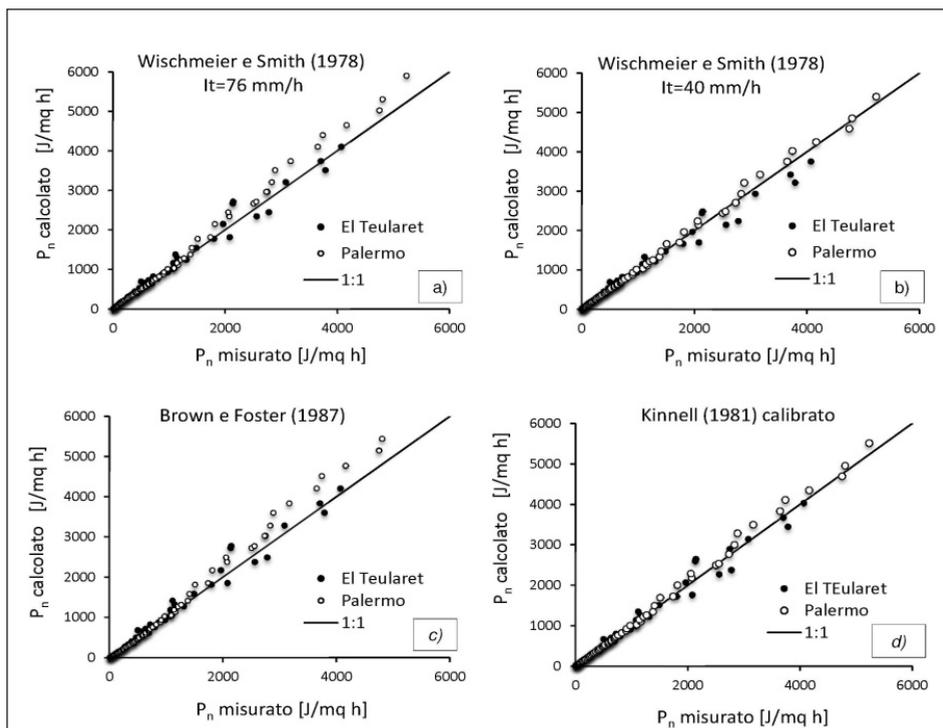


Fig. 6 - Confronto tra i valori misurati di P_n con quelli calcolati mediante la eq. (1) per $I_t = 76 \text{ mm h}^{-1}$ (a) e per $I_t = 40 \text{ mm h}^{-1}$ (b), e mediante l'eq. (2) coi parametri suggeriti da Brown e Foster (1987) (c) e con quelli ottenuti dall'adattamento all'intero dataset (d)

	Eq.(1) $I_t = 76 \text{ mm/h}$		Eq.(1) $I_t = 40 \text{ mm/h}$		Eq. (2) Brown and Foster (1987)		Eq. (2) calibrata	
	El Teularet	Palermo	El Teularet	Palermo	El Teularet	Palermo	El Teularet	Palermo
Errore medio (%)	10,7	7,0	10,7	4,6	10,4	11,6	8,8	3,0
Percentuale di misure affette da un errore >15%	24,1	11,9	29,6	1,7	18,5	35,6	14,8	0,0

Tab. 1 - Verifica di applicabilità delle equazioni di Wischmeier e Smith (1978) (eq. (1)), per $I_t = 76 \text{ mm h}^{-1}$ e $I_t = 40 \text{ mm h}^{-1}$, e di Kinnell (1981) (eq. (2)) utilizzando i parametri suggeriti da Brown e Foster (1987) e quelli calibrati sull'intero dataset.

In definitiva, per il dataset siciliano (caratterizzato da un notevole numero di osservazioni) l'equazione di Wischmeier e Smith (1978) appare la più applicabile anche nella formulazione originaria ($I_t = 76 \text{ mm/h}$), mentre i primi rilievi effettuati in Spagna non sono ancora sufficienti per stabilire quale relazione sia la più affidabile per stimarne la potenza cinetica. In ogni caso, anche per le pre-

precipitazioni spagnole, la relazione di tipo potenziale, secondo cui P_n/I cresce sempre con I , appare non applicabile.

Ulteriori indagini sono comunque necessarie per irrobustire il dataset delle precipitazioni registrate a El Teularet e consentirne una più attendibile caratterizzazione energetica.

4. Conclusioni

La potenza cinetica della precipitazione è una variabile in grado di esprimere l'attitudine della precipitazione ad erodere un suolo.

Le DSD registrate nella stazione sperimentale El Teularet nel periodo Luglio 2015-Gennaio 2016 e le DSD registrate a Palermo nel periodo Giugno 2006-Marzo 2014 e aggregate per classi di intensità di precipitazione sono state utilizzate per determinarne la potenza cinetica. Le misure disdrometriche hanno messo in luce che vi è una sostanziale sovrapposizione delle due serie sperimentali con riferimento sia alle coppie (I, D_0) sia alle coppie $(I, P_n/I)$, denotando una scarsa dipendenza delle caratteristiche energetiche della precipitazione dal luogo in cui si verifica l'evento meteorico.

L'analisi ha dimostrato che la potenza cinetica per unità di volume di precipitazione, così come il diametro medio volumetrico, cresce con l'intensità di precipitazione fino a un valore soglia di intensità superato il quale P_n/I (e D_0) può essere assunto costante. L'analisi ha anche dimostrato che P_n/I dipende esclusivamente dal diametro medio volumetrico e che la relazione $P_n/I - D_0$ è la medesima per i due siti sperimentali. Questi risultati confermano pienamente l'approccio di Wischmeier e Smith (1978) ad esclusione del valore limite di intensità (40 mm/h) che risulta significativamente inferiore a quello originariamente proposto (76 mm/h).

Le misure di potenza cinetica hanno consentito, inoltre, di verificare l'applicabilità delle equazioni proposte da Wischmeier e Smith (1978) e da Brown e Foster (1987) per la stima della potenza cinetica. Per migliorare le capacità di stima dell'equazione di Wischmeier e Smith è sufficiente scegliere un valore soglia pari a 40 mm/h, mentre la relazione di Brown e Foster (1987) necessita la ricalibrazione dei tre parametri.

Per la caratterizzazione energetica delle precipitazioni siciliane, il cui dataset è costituito da un notevole numero di osservazioni, l'equazione di Wischmeier e Smith (1978) è apparsa la più applicabile anche nella formulazione originaria ($I_t = 76$ mm/h), mentre i primi rilievi effettuati in Spagna non hanno consentito di stabilire con certezza quale relazione sia la più affidabile per la stima della potenza cinetica. Ulteriori indagini sono pertanto necessarie per caratterizzare dal punto di vista energetico le precipitazioni registrate a El Teularet.

Bibliografia

1. Brandt C.J. Simulation of the size distribution and erosivity of raindrops and throughfall drops. *Earth Surface Processes* 15, 687-698, (1990).
2. Brown L.C., Foster G.R. Storm erosivity using idealized intensity distribution.

- Transaction of the ASAE. 30, 379-386, (1987).
3. Carollo F., Ferro V. Modeling Rainfall Erosivity by Measured Drop-Size Distributions. *J. Hydrol. Eng.* 20, C4014006-1-7, (2015).
 4. Carollo F, Ferro V., Serio M.A. Caratteri energetici della precipitazione dedotti dalle distribuzioni dimensionali delle gocce di pioggia rilevate in Sicilia. *Quaderni di Idronomia Montana.* 32/1, 133-146, (2015).
 5. Carollo F, Ferro V., Serio M.A., Estimating rainfall erosivity by aggregated drop size distributions. *Hydrol. Process.* DOI:10.1002/hyp.10776, (2016).
 6. Carter C.E., Greer J.D., Braud J.H., Floyd J.M., Raindrop characteristics in South Central United States. *Transactions of the ASAE.* 17, 1033-1037, (1974).
 7. Cerro C., Bech J., Codina B. and Lorente J. Modeling rain erosivity using disdrometric techniques. *Soil Science Society of America Journal* 62, 731-735, (1998).
 8. Coutinho M.A. and Tomás, P.P. Characterization of raindrop size distributions at the Vale Formoso Experimental Erosion Center. *Catena* 25, 187-197, (1995).
 9. Ferro V., Tecniche di misura e monitoraggio dei processi erosivi. *Quaderni di Idronomia Montana.* 21/2, 63-128, (2001).
 10. Hudson, N.W. The influence of rainfall mechanics on soil erosion. MSc Thesi, Cape Town (1965).
 11. Jawardena A. W., Rezaur R.B., Measuring drop size distribution and kinetic energy of rainfall using a force transducer. *Hydrol. Process.* 14, 37-49, (2000).
 12. Kinnell P.I.A. The problem of assessing the erosive power of rainfall from meteorological observations. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 37, 617-621, (1973).
 13. Kinnell P.I.A. Rainfall intensity-kinetic energy relationship for soil loss prediction. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 45, 153-155, (1981).
 14. McGregor K.C., Mutchler C.K. Status of the R factor in northern Mississippi, soil erosion: prediction and control. *Soil Cons. Soc. Am.:* 135-142 (1976).
 15. Onaga K., Shirai K., Yoshinaga A. 1988. Rainfall erosion and how to control its effects on farmland in Okinawa. *Land Conservation for Future Generation.* In Rimwanich, S. Ed., Department of Land development: Bangkok; 627-639.
 16. Park S.W., Mitchell J.K., Bubenzer G.D. An analysis of splash erosion mechanics. ASAE 1980 Winter Meeting, Chicago, USA, no. 80, 2502, (1980).
 17. Parsons D.A. and Gadian A.M. Uncertainty in modelling the detachment of soil by rainfall. *Earth Surf. Processes. Landforms.* 25, 723-728, (2000).
 18. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA. 404 (1997).
 19. Salles C., Poesen J, Sempere-Torres D. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. *Journal of Hydrology* 257: 256-270, (2002).
 20. Sanchez-Moreno J.F., Mannaerts C.M., Jetten V., Löffler-Mang M. Rainfall kinetic energy-intensity and rainfall momentum-intensity relationships for Cape Verde. *J. of Hydrol.* 454-455, 131-140, (2012).
 21. Steiner M., Smith J.A. Reflectivity, rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra. *J. Appl. Meteorol.* 39, 1923-1940, (2000).
 22. Uijlenhoet R., Stricker J.N.M. A consistent rainfall parameterization based on exponential raindrop size distribution. *Journal of Hydrology.* 218, 101-127, (1999).
 23. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses-A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook: United States Department of Agriculture, Washington, DC;* 537, (1978).
 24. Zanchi C., Torri D. Evaluation of rainfall energy in central Italy. In *Assesment of erosion*, Ed. M. De Boodt-D. Gabriels, John Wiley & Sons. 133-142, (1980).