

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/286194083>

Sviluppo di metodologie di analisi per lo studio dell'erosione del suolo in ambienti mediterranei: applicazione specifica a un'area pilota

Article · January 2004

CITATIONS

6

READS

214

8 authors, including:



[Luca Angeli](#)

Consorzio LaMMA

34 PUBLICATIONS 508 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Lorenzo Bottai](#)

Consorzio Lamma

64 PUBLICATIONS 1,064 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Roberto Costantini](#)

Italian National Research Council

14 PUBLICATIONS 161 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Raffaella Ferrari](#)

Italian National Research Council

17 PUBLICATIONS 129 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

SVILUPPO DI METODOLOGIE DI ANALISI PER LO STUDIO DELL'EROSIONE DEL SUOLO IN AMBIENTI MEDITERRANEI APPLICAZIONE SPECIFICA AD UN'AREA PILOTA

Luca Angeli(*), Lorenzo Bottai(**), Michael Märker(***), Roberto Costantini(**), Lorenzo Gardin(*), Lucia Innocenti(*), Raffaella Ferrari(*), Giuseppina Siciliano(*)

(*)Centro Ricerche Erosione Suolo (LaMMA-CRES) – Via Cavour 16, 58100 Grosseto, Italy - Tel. 0564 22098 Fax 0564 428332 email innocenti@lamma-cres.rete.toscana.it

(**)Laboratorio di Meteorologia e Modellistica Ambientale (LaMMA-IBIMET) – Via Madonna del Piano, edificio D, Sesto Fiorentino (FI), Italy – Tel. 055 44830035 Fax 055 444083 email bottai@lamma.rete.toscana.it

(***)Institute for Geoecology, Potsdam University - (Komplex II, Haus 1, Zimmer 1.07), Karl-Liebknecht-Str. 24-25, D-14476 Potsdam, Germany - Tel.: ++49 (0) 331 9772579 Fax.: ++49 (0) 331 9772092 email: mmaerker@rz.uni-potsdam.de

Riassunto

La problematica legata alla perdita di produttività e fertilità dei suoli sta diventando uno dei temi più dibattuti a livello europeo e mondiale a causa di un notevole aumento dei fenomeni erosivi. Tali fenomeni possono essere ricondotti a cause di tipo naturale ed antropico. In tale contesto, il LaMMA-CRES (Centro Ricerche Erosione Suolo), nato su iniziativa della Regione Toscana e del CNR-IBIMET, ha recentemente avviato un progetto il cui obiettivo primario è valutare quantitativamente i processi di erosione e identificare possibili scenari di uso del suolo in un'area a sud della Regione Toscana (bacino idrografico del fiume Albegna, provincia di Grosseto).

L'analisi quali-quantitativa del fenomeno erosivo è stata eseguita integrando modelli e algoritmi, direttamente implementati nei software GIS, in grado di analizzare e valutare la dinamica complessiva dell'erosione (superficiale e concentrata). Oltre ai risultati quali-quantitativi dell'erosione è stata eseguita un'analisi multicriteriale, che ha permesso di valutare differenti scenari di gestione del territorio relativi, nel caso specifico, a cambiamenti nelle pratiche agricole, con l'obiettivo di fornire ai decisori strumenti che li aiutino nella gestione sostenibile del territorio.

Abstract

Land degradation phenomena such as soil erosion processes are becoming more and more important due to the decreasing of soil productiveness and richness. These degradation phenomena are related to natural and anthropic causes. The Centre for Erosion Studies (LaMMA-CRES), established from a joint initiative of Regione Toscana and CNR-IBIMET recently started a study to monitor and quantify the erosion processes and to identify possible alternative scenarios of land use in an area of the Southern part of Tuscany (Albegna River Basin, province of Grosseto).

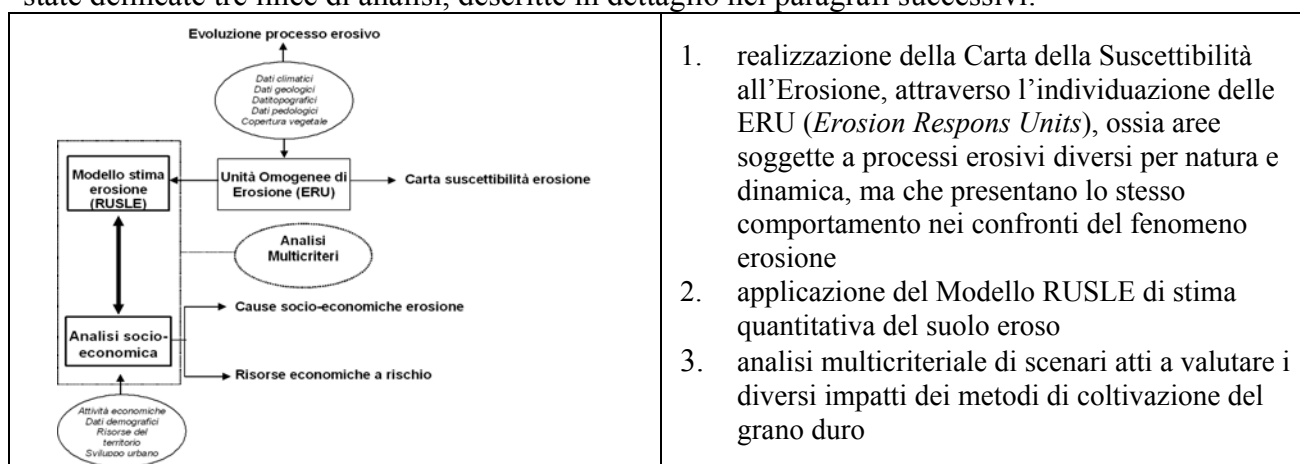
The quantification of the erosion phenomenon has been carried out through the combination of models and algorithms, directly implemented in the GIS software, for the analysis of the erosion dynamic (superficial and deep processes). Moreover the Centre has conducted a multicriteria analysis for the evaluation of different land management scenarios related to changes in the agriculture practices that will enhance the ability to assess the socio-economic and environmental impacts of different agriculture practices, that may be useful as decision makers support in the contest of a sustainability land management.

Area di studio

L'area esaminata (42°35' N lat.-11°26' E long.) si trova all'interno del bacino del fiume Albegna, nel comune di Manciano (GR) e si estende per circa 7500 ha. La zona è caratterizzata da clima tipicamente mediterraneo, con precipitazioni di circa 600 mm annui e presenta un uso agricolo di tipo estensivo (cereali, pascoli) frammezzato a boschi di leccio e macchia più o meno degradata. Il substrato geologico è costituito prevalentemente da argille plioceniche e da unità tettoniche alloctone, fra loro sovrapposte, formate da torbiditi calcaree ed arenacee.

Metodologia

La metodologia adottata per lo studio dell'evoluzione e della dinamica dei fenomeni di erosione del suolo e degli aspetti socio-economici ad essi associati è schematizzata in fig.1. In particolare sono state delineate tre linee di analisi, descritte in dettaglio nei paragrafi successivi:



1. realizzazione della Carta della Suscettibilità all'Erosione, attraverso l'individuazione delle ERU (*Erosion Respons Units*), ossia aree soggette a processi erosivi diversi per natura e dinamica, ma che presentano lo stesso comportamento nei confronti del fenomeno erosione
2. applicazione del Modello RUSLE di stima quantitativa del suolo eroso
3. analisi multicriteriale di scenari atti a valutare i diversi impatti dei metodi di coltivazione del grano duro

Figura 1 – Schema descrittivo della metodologia adottata

Il modello quantitativo RUSLE è stato scelto per valutare tre differenti pratiche colturali che influenzano il processo erosivo: metodi di coltivazione biologica, integrata e convenzionale. Sulla base dell'analisi svolta è stato considerato come fattore discriminante la copertura vegetale (C).

Realizzazione della Carta della Suscettibilità all'Erosione

I processi erosivi e le forme morfologiche da essi derivanti sono fortemente legati ai vari fattori fisografici e antropici. Come mostrato da Fluegel, W.A., e Maerker, M. (2001) certe combinazioni dei fattori fisiografici creano la disposizione per certi processi erosivi. Il concetto delle Unità di Risposta all'Erosione introdotto da (Maerker, M. et al. 2001) si basa sulla analisi di questi fattori fisiografiche e antropici per delineare entità omogenee rispetto alla dinamica dei processi erosivi. Un simile concetto è stato già proposto ed applicato per processi idrologici (HRU- Hydrological Response Units) in modelli di idrologia di bacini (Beran et al., 1990).

La *Carta della Suscettibilità all'Erosione* del bacino del Fiume Albegna è stata ottenuta dalla sovrapposizione dei principali elementi ambientali che condizionano la stabilità (esposizione, geologia, uso del suolo), con altri indici morfometrici specifici per l'erosione. Dalla sovrapposizione spaziale di questi tematismi si sono ottenute le ERU. I tematismi utilizzati sono i seguenti:

- esposizione dei versanti (fornisce informazioni microclimatiche);
- propensione all'erosione delle unità litologiche (considera caratteristiche geomeccaniche);
- indice morfometrico di erosione (basato su indicatori morfometrici quali lo *stability index*¹ e lo *stream power*², individua il contributo che l'azione della gravità fornisce alla messa del materiale alterato in movimento sul versante);

¹ Lo *stability index* è un'implementazione del modello di Stabilità dei Versanti (Hammond et al., 1992) realizzata dall'Utah State University con il software SINMAP per la valutazione della propensione al dissesto.

- uso del suolo (realizzato attraverso fotointerpretazione a video di ortofoto del 2002 integrate con immagine satellitare SPOT5 ed elementi derivati dalla C.T.R. 1:10.000).

Per la fotointerpretazione dei processi erosivi in atto è stato realizzato un modello stereoscopico dell'area di studio, che ha permesso di avvalersi della visione tridimensionale nel riconoscimento delle forme di erosione profonda, quali gully effimeri e frane superficiali. Dalla sovrapposizione delle ERU con la distribuzione delle forme e dei processi erosivi individuati da fotointerpretazione, è stato possibile procedere a una riclassificazione pesata, per applicare il concetto di regionalizzazione all'intero bacino (Maerker M. et al., 2001).

In fig. 2 sono riportati la descrizione dei processi erosivi individuati e le classi di suscettività all'erosione adottate per la mappatura finale della Suscettività all'Erosione.

Processo Erosivo	Descrizione	Suscettibilità
1	Erosione Assente	Assente
		Bassa
2	Erosione Superficiale Diffusa	Media
3	Erosione Superficiale Severa	Alta
4	Erosione Superficiale Severa e rill	Molto-Alta
5	Rill	
6	Gully	
7	Movimenti di Massa	Estrema

Figura 2 – Classi di Suscettibilità all'erosione

Modello RUSLE

In accordo con Wischmeier & Smith (1978) e Renard et al. (1997), la perdita annua media di suolo causata da erosione laminare (*sheet*) e incanalata (*interrill* e *rill*) è espressa dalla seguente equazione:

$$A = R \cdot L \cdot S \cdot K \cdot C \cdot P \quad [t \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}] \quad [1]$$

Il fattore di erosività della pioggia R, viene calcolato a partire dal parametro EI (*Energy-Intensity*), prodotto fra l'energia cinetica (E) e l'intensità massima della pioggia, definita su base semioraria (I30). Nel nostro caso i dati pluviometrici reperiti non presentano l'intervallo d'acquisizione necessario per poter calcolare il parametro EI: si è pertanto provveduto a stimare un indice R "medio", utilizzando una formula empirica (Arnoldus, 1980) basata sul rapporto fra la somma dei quadrati delle piogge mensili e la precipitazione totale annua (*Modified Fournier Index*). Tale rapporto fornisce una misura della variabilità stagionale dell'erosività della pioggia:

$$R = 4.17 \cdot \sum_1^{12} (p^2/P) - 152 \quad [2]$$

dove: p = pioggia mensile; P = pioggia annuale.

I dati pluviometrici analizzati si riferiscono ai valori giornalieri disponibili su circa 120 stazioni, omogeneamente distribuite sull'intero territorio regionale, relativi alla serie storica di riferimento 1960-1990. Tali dati sono stati dapprima mediati a livello mensile e annuale, quindi spazializzati tramite un modello di regressione lineare pesata localmente con la quota (Maselli, 2001), sovrapposto al Kriging dei residui valutati sulle stazioni a disposizione. Dalla mappa regionale è stato successivamente estratto lo strato informativo dell'area di studio.

Il fattore topografico LS (lunghezza x pendenza) è stato calcolato in ambiente Arc/Info GRID su un DTM con risoluzione di 10 m, usando l'algoritmo proposto da Hickey et al. (2000)

$$L \cdot S = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \cdot (65.41 \sin^2 \beta + 4.56 \sin \beta + 0.065) \quad [3]$$

dove: λ (m) = lunghezza pendio; β ($^\circ$) = pendenza; m = parametro che varia con la pendenza.

L'algoritmo, che tiene conto dei valori definiti da McCool (1997) per l'esponente m , riesce a calcolare la pendenza dei versanti e la lunghezza cumulativa lungo le linee di massima pendenza, considerando che i flussi di ruscellamento tendono a convergere verso queste linee; esso permette inoltre di considerare i casi in cui una repentina diminuzione di pendenza dà luogo a situazioni di

² L'indice dell'intensità di flusso (*stream power*) esprime il potenziale erosivo del ruscellamento superficiale ed è calcolato come il rapporto fra l'area contribuyente e la pendenza.

accumulo di materiale eroso. Vengono escluse dal calcolo della lunghezza dei versanti le aree pianeggianti, che effettivamente rappresentano una interruzione ai flussi discendenti.

Per la stima del fattore K (erodibilità del suolo), si è fatto riferimento al metodo Renard I (Renard et al. 1997):

$$K = 7.594 \left\{ 0.0034 + 0.0405 \cdot \exp \left[\left(-\frac{1 \log D_g + 1.659}{2 \cdot 0.7101} \right)^2 \right] \right\} \quad \text{dove } D_g (mm) = e^{\left(0.01 \sum_i f_i \ln m_i \right)} \quad [4]$$

f_i = frazione della classe dimensionale primaria; m_i = media aritmetica dei limiti della i-esima classe dimensionale.

Sono stati utilizzati 18 profili presenti nell'area campione del bacino provenienti dal Progetto Carta dei Suoli al 250.000 della Regione Toscana e l'informazione puntuale è stata spazializzata basandosi su unità fisiografiche derivate dalla carta pedologica di semidettaglio realizzata nel passato in questa zona (Van Berghem, 1991). Si è inoltre valutata la variazione stagionale del fattore, fortemente influenzata dall'andamento termo-pluviometrico (Zanchi, 1983), impiegando la seguente formula:

$$f_c = \frac{T_m}{T_a} = a + b \frac{2\pi \cos(t - c)}{12} \quad [5]$$

dove: a = 1; b = -0.5478; c = 0.9432; T_m/T_a = rapporto fra temperatura media mensile e temperatura media annua; t = tempo rappresentato dal mese dell'anno espresso con un numero (es. 15 gennaio = 0.5, 15 febbraio = 1.5, ecc.).

Il fattore di correzione ottenuto è stato quindi utilizzato come coefficiente moltiplicativo per modificare il valore medio annuo di K ottenendo un valore mensile.

Il fattore C (copertura vegetale e tecniche colturali) è stato calcolato sulla base della Carta dell'Uso del Suolo del Bacino del fiume Albegna, realizzata dal laboratorio LaMMA-CRES. È stata utilizzata la formula utilizzata dalla RUSLE:

$$C = UPS \cdot CA \cdot CSC \cdot SS \quad [6]$$

dove: UPS = utilizzazione precedente del suolo; CA = copertura aerea; CSC = copertura a stretto contatto con il suolo; SS = scabrezza della superficie del suolo.

Classi Uso del Suolo	Fattore C
Urbano Acque	0
Bosco	0.003
Macchia	0.005
Bosco tagliato	0.007
Pascoli	0.04
Seminativi (Convenzionale/integrato/biologico)	0.12 / 0.12 / 0.07
Oliveti	0.3
Vigneti	0.451

Figura 3 – Fattore C delle Classi di Uso del Suolo

Per quanto riguarda la classe seminativi, l'analisi svolta su un campione di aziende evidenzia che la coltura maggiormente coltivata è il grano duro: sono stati calcolati due diversi valori sulla base della gestione dei residui della coltura precedente, sul rispetto delle rotazioni e sul tipo di lavorazioni effettuate.

Infine, il fattore P, legato alle pratiche conservative, è stato considerato uguale a 1, cioè senza nessuna forma di protezione nei confronti dei fenomeni erosivi.

Analisi Multicriteriale

L'analisi multicriteriale valuta in modo integrato i risultati economici e i rischi d'impatto sull'ambiente delle colture individuate come responsabili dei processi erosivi nell'area di studio (realizzazione di pratiche colturali, principalmente coltivazione di grano duro, senza il rispetto di tecniche di conservazione del suolo). In particolare, si è proceduto con la valutazione di tre differenti tecniche colturali con l'obiettivo di misurare la sostenibilità socio-economica e ambientale di specifiche tipologie aziendali e della stessa coltura. Le tre alternative confrontate

sono: tecnica colturale convenzionale, tecnica colturale integrata e tecnica colturale biologica. Le risposte ottenute da ogni alternativa, in corrispondenza degli indicatori socio-economici ed ambientali scelti, sono state messe a confronto con metodi di comparazione multicriteriale, per evidenziare il significato che ciascun tipo di tecnica colturale può svolgere rispetto agli obiettivi di sostenibilità economico-sociale e di conservazione della risorsa suolo. La metodologia utilizzata è definita “valutazione multicriteri sociale SMCE (*Social Multi – Criteria Evaluation*)” (Munda, 2004) e prevede, oltre alla valutazione tecnica delle alternative, la realizzazione di un previo processo partecipativo e conoscitivo (analisi storica, analisi istituzionale, questionari e interviste agli *stakeholders*). Successivamente, per l’analisi tecnica delle alternative è stato utilizzato il software NAIADE (*Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments*)³ (JRC, 1996). Lo schema del processo di valutazione multicriteri con il metodo NAIADE prevede le seguenti fasi: determinazione delle alternative di gestione; scelta di un set di criteri di valutazione; creazione della matrice di impatto (rappresentazione matriciale con indicazione degli impatti delle singole alternative sulle dimensioni analizzate: economica, ambientale e sociale); comparazione tra coppie di alternative (*pairwise comparisons*); applicazione di una procedura di aggregazione. Gli indicatori scelti per la valutazione delle alternative sono: produzione lorda vendibile e spese dirette, per la dimensione economica; erosione del suolo (RUSLE), rischio di compattazione del suolo, efficienza energetica e tutela del paesaggio agrario, per la dimensione ambientale; dipendenza ai contributi comunitari e rischio di abbandono delle aree rurali, per la dimensione sociale. I valori di questi indicatori derivano dai dati raccolti direttamente nelle aziende agricole selezionate per l’analisi. I risultati ottenuti dall’applicazione dell’analisi multicriteriale indicano quali sono le tecniche colturali che raggiungono il miglior compromesso tra efficienza economico-sociale e sicurezza ambientale, con un’attenzione alla conservazione del suolo dai processi erosivi. In particolare il software permette di ottenere un ordinamento delle alternative (*ranking*), in cui al primo posto risulterà quella che meglio di tutte raggiunge contemporaneamente quanti più obiettivi possibile, fra quelli considerati. In questo caso specifico, poiché sono presenti indicatori di tipo socio-economico e ambientale, l’ordinamento ha il significato della diversa capacità delle varie alternative di conciliare fra loro obiettivi così diversi, avvicinandosi ad una condizione di sostenibilità.

Conclusioni

Il concetto delle ERU ha permesso di identificare e caratterizzare i vari tipi di erosione. Sulle entità che dimostrano una erosione prevalentemente superficiale, è stato applicato il modello RUSLE che ha permesso di analizzare tre differenti scenari. Il risultato (fig. 4) evidenzia che il metodo biologico riesce a diminuire di circa il 10% la quantità di suolo eroso nelle aree a seminativo.

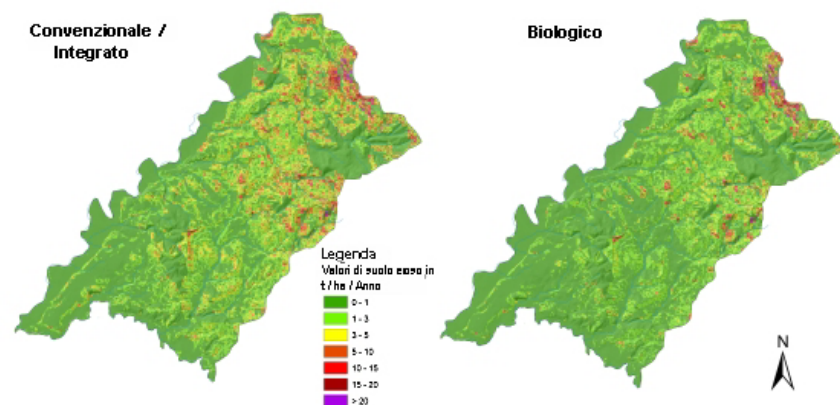


Figura 4 – Confronto tra il risultato della RUSLE negli scenari considerati

³ Il software NAIADE è stato realizzato da Giuseppe Munda (Università Autonoma di Barcellona) in collaborazione con il Joint Research Center-EC, Ispra SITE, Institute of Systems, Informatics and Safety.

L'integrazione dei dati ambientali con quelli socio-economici dimostra che la tecnica colturale biologica riesce a massimizzarne il compromesso; ciò non significa però che il biologico è migliore in assoluto rispetto alle tre dimensioni considerate. Facendo un'analisi di dettaglio, risulta infatti che l'integrato è l'alternativa più vantaggiosa dal punto di vista economico, seguita dal convenzionale e in ultima analisi dal biologico. Il risultato ottenuto ha pertanto senso, se visto alla luce delle valutazioni in corrispondenza degli indicatori utilizzati e delle risposte per singola dimensione. L'esito deve essere letto come un supporto per fornire ai decisori istituzionali strumenti utili ad affrontare problemi in merito ad una gestione sostenibile del territorio e agli imprenditori agricoli per avere una maggiore conoscenza degli impatti socio-economici e ambientali di certe scelte di gestione aziendale. I risultati ottenuti in questa fase costituiranno la base per lo svolgimento di successive analisi per scenari a livello macro territoriale, tenendo anche in considerazione gli altri tipi di erosione quali gully effimeri e frane superficiali.

Bibliografia

- Arnoldus H.M.J. (1980), "An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation", *Assessment of erosion*, Wiley & Sons, England, 127-132.
- Beran M. A., Brilly M., Becker A., Bonacci O. (1990), "Regionalisation in hydrology", *Proceeding of the Ljubljana Symposium April 1990*, IAHS Publication No. 191
- Fluegel W.A., Maerker M. (2001), "The Response Units Concept and its Application for the Assessment of Hydrologically Related Erosion Processes in Semiarid Catchments of Southern Africa", *Spatial Methods for solution of Environmental and Hydrologic Problems – Science, Policy, and Standardization, ASTM STP 1420*, A.B. Smith and C.D. Jones, Eds., American Society for Testing and Materials, Conshohocken, PA
- Hammond C., Hall D., Miller S., Swetnik P. (1992), "Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0.", *General Technical Report INT-285, USDA Forest Service Intermountain Research Station*
- Hickey R. (2000), "Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS", *Cartography*, 29: 1, 1-8
- JRC (1996), "NAIADE Manual and Tutorial – Version 1.0.ENG", *Joint Research Centre of the European Commission*, Ispra site, Italy
- Maerker M., Moretti S., Rodolfi G. (2001), "Assessment of water erosion processes and dynamics in semi-arid regions of Southern Africa using the Erosion Response Units concept (ERU)", *Geogr. Fis. Din. Quat.* 24: 71-83
- Maselli F. (2001), "Definition of Spatially Variable Spectral Endmembers by Locally Calibrated Multivariate Regression Analyses", *Remote Sensing of Environment*, Jan 2001.
- McCool, D.K., G.R. Foster, and G.A. Weesies (1997) "Slope Length and Steepness Factors (LS)", in Renard et al. (1997), 101-141
- Munda G. (2004), "Social Multicriteria evaluation (SMCE): methodological foundations and operational consequences", *Forthcoming European Journal of Operational Research*
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder (1997) "Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)", *Agriculture Handbook N° 703. U.S. Department of Agriculture Research Service*, Washington, District of Columbia, USA., 404
- Van Berghem, J.W., Meijvogel, T., Windmeijer, P.N. (1991) *La valle dell'Albegna – Pedologia e valutazione del territorio*, Marsilio Editori, Giunta Regionale Toscana
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978) "Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning", *Agricultural Handbook no. 537, Sci. and Educ. Admin.*, U.S. Dept. Agr., Washington, D.C.
- Zanchi, C. (1983), "Influenza dell'azione battente della pioggia e del ruscellamento nel processo erosivo e variazioni dell'erodibilità del suolo nei diversi periodi stagionali", *Annali Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo* 14: 347-358, Firenze
- Zanchi C., Giordani C. (1995), *Elementi di conservazione del suolo*, Pàtron Editore, Bologna.