

Stima della sensibilità all'erosione del suolo attraverso l'analisi di scenari climatici

Luca ANGELI(*), Roberto COSTANTINI(*), Raffaella FERRARI(*),
Lucia INNOCENTI(*), Letizia COSTANZA(**)

(*) CNR - Ibimet, via G. Caproni 8 – 50145 Firenze, e-mail: angeli@lamma-cres.rete.toscana.it

(**) Fondazione per il Clima e la Sostenibilità, via G. Caproni 8 – 50145 Firenze

Riassunto

La problematica legata alla perdita di produttività e fertilità dei suoli nell'area Mediterranea sta diventando molto importante alla luce degli ultimi scenari climatici, con l'aumento degli eventi meteorici estremi e la riduzione dell'ammontare complessivo delle precipitazioni. Il fenomeno, in continua evoluzione, si manifesta con evidenti processi di erosione del suolo, dovuti anche alle alterazioni della copertura vegetale e alle modifiche dell'attività agricola. L'Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche, attraverso il proprio Centro Ricerche Erosione Suolo (LaMMA-CRES), ha avviato un progetto il cui obiettivo è quello di fornire uno strumento di supporto alla gestione e pianificazione territoriale, valutando quantitativamente i processi di erosione sulla base dei futuri scenari climatici.

Il caso di studio riguarda il territorio della Regione Toscana. Le precipitazioni future sono state valutate sulla base dello scenario A2 dell'IPCC (*Inter-governmental Panel on Climate Change*) calcolato con il modello HadCM3 (*Hadley Centre Coupled Model, version 3*). La valutazione dell'erosione del suolo per gli scenari attuale e futuro è stata calcolata tramite l'implementazione del modello RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*). Nel calcolo è stata introdotta la dinamica mensile dei parametri relativi all'indice di erosività della pioggia e al fattore copertura vegetale, ricavato dagli indici di vegetazione del sensore MODIS. Il fattore erodibilità è stato calcolato utilizzando i valori di tessitura e contenuto organico del suolo, ricavati dal "Progetto Carta del Suolo 1:250.000" della Regione Toscana.

Dall'analisi condotta emerge come, sulla base degli scenari introdotti, la perdita di suolo relativa ai mesi estivi complessivamente vada a ridursi, mentre nei mesi invernali tende ad aumentare.

Abstract

In the Mediterranean area decreasing of soil productivity and loss of fertility phenomena are becoming more and more important due to future climate change. Extreme events such as droughts and floods are more frequent than before and this leads to soil erosion phenomena, strongly influenced especially by vegetation changes and human activities such as cultivations over hundreds of years. The Institute of Biometeorology (National Research Council), through the Centre for Soil Erosion Studies (LaMMA-CRES), recently started a study with the aim of support land management, focusing on the identification and quantification of erosion processes in consideration of future climatic scenarios.

The case study concerns the territory of Tuscany region. Boundary conditions such as future precipitation were taken from the IPCC (Inter-governmental Panel on Climate Change) A2 scenarios of HadCM3 model (Hadley Centre Coupled Model, version 3).

A RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) approach was utilized to evaluate soil erosion for current and future scenarios. Monthly dynamics was introduced in calculation of erosivity index and land cover factor, obtained by vegetation index of MODIS sensor. Erodibility index was calculated

using texture and organic content of soil, obtained from “Progetto Carta del Suolo 1:250.000” of Regione Toscana.

The study showed that in future scenario soil loss decreases in summer months, but it goes to increase in winter months.

Introduzione

Le variazioni climatiche previste nell'ultimo scenario A2 dell'IPCC calcolato con il modello HadCM3 influiscono direttamente sui fenomeni di degrado del suolo, con particolare riferimento all'erosione idrica e alla desertificazione. Tali processi sono legati alle caratteristiche delle precipitazioni, in termini di frequenza di eventi siccitosi e di intensità della pioggia.

Anche sulla base delle indicazioni comunitarie (Sesto Programma di Azione ambientale) assume primaria importanza la protezione del suolo dall'erosione e dai fenomeni di perdita di fertilità.

Scopo del presente lavoro è quello di valutare la suscettibilità all'erosione del territorio della Regione Toscana, attraverso l'uso dei Sistemi Informativi Geografici, delle immagini satellitari e dei dati di precipitazione previsti.

Area di studio

Il territorio toscano è per la maggior parte collinare (66,5%); comprende alcune pianure, circa lo 8,4%, e importanti massicci montuosi (il 25,1% della regione): i sistemi collinari sono separati dalle vallate dei corsi d'acqua e digradano ad ovest verso le aree pianeggianti costiere. Le temperature medie annue registrano i valori più elevati (attorno ai 16°C) lungo la costa maremmana e tendono a diminuire man mano che si procede verso l'interno e verso nord; nelle pianure e nelle vallate interne si raggiungono i valori massimi estivi (spesso fino a 40°C) e i minimi invernali (alcuni gradi sotto zero). Le precipitazioni sono abbondanti a ridosso dei rilievi appenninici, dalla Versilia al Casentino, con valori massimi oltre 2000 mm annui sulle Alpi Apuane e sull'Appennino Tosco-Emiliano; al contrario, lungo la fascia costiera della Maremma grossetana e le aree meridionali del senese e di Arezzo si hanno valori medi annui tra 600 e 700 mm.

La regione è caratterizzata da una geologia e, di conseguenza, da formazioni pedologiche molto variegata: vi sono unità marnoso-arenaceo, successioni metamorfiche (metarenarie, metacalcari, dolomie, gruppi triassici e tardo-paleozoici, basamento ercinico), flysch arenacei, argilliti, marne, calcari e dolomie, breccie poligeniche derivanti dai fenomeni orogenetici dell'Appennino e dai successivi sovrascorrimenti. Nelle fasi più recenti i margini meno elevati della catena furono sommersi dal mare dando luogo alla sedimentazione di successioni dei bacini neoautoctoni; si formarono bacini subsidenti all'interno della catena favorevoli ai futuri ambienti fluvio-lacustri.

Il territorio toscano è ricoperto per quasi il 44% da boschi, che interessano prevalentemente le aree montane appenniniche e dell'Amiata e le zone collinari più elevate; le latifoglie sono le essenze predominanti, mentre le conifere dominano lungo la fascia costiera (pinete marittime) e in alta montagna (abeti). Le aree coltivate rappresentano circa il 39% del territorio regionale e occupano prevalentemente le pianure (seminativi), le valli interne e le zone di medio-bassa collina (vigneti e oliveti).

Metodologia adottata

La valutazione quantitativa di perdita di suolo è avvenuta tramite l'utilizzo dell'equazione RUSLE (Renard et al., 1997) su base mensile. La perdita di suolo, dovuta a processi di erosione laminare (sheet) e incanalata (interrill e rill), può essere calcolata secondo Wischmeier & Smith (1978) con l'equazione:

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

I fattori topografico (LS) e di erodibilità (K) sono stati mantenuti costanti per l'intero arco dell'anno, mentre per i fattori C (copertura vegetale e tecniche colturali) ed R (erosività della

pioggia) è stata introdotta la dinamica mensile. Lo scenario climatico, è stato introdotto come variazione del valore del fattore R mantenendo fissi gli altri parametri.

Il fattore K è stato calcolato secondo l'equazione 2 (Renard et al.1997) utilizzando i valori di tessitura e contenuto organico del suolo, ricavati dai profili del “Progetto Carta del Suolo 1:250.000” della Regione Toscana in fase di realizzazione.

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

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

Il fattore topografico LS (lunghezza x pendenza) è stato calcolato in ambiente Arc/Info GRID a partire dal DEM SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) con risoluzione di 90 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 (°) = pendenza; m = parametro che varia con la pendenza.

Il fattore R di erosività della pioggia è stato calcolato sulla base delle precipitazioni medie mensili del trentennio di riferimento 1960-1990. Per le condizioni future, fissate all’anno 2050, è stato considerato lo scenario pessimistico (tassi di emissione dei gas serra che crescono al ritmo attuale) dell’IPCC calcolato con il modello globale HadCM3. L’erosività è stata stimata a partire dalla pioggia con il modello lineare dell’equazione (Rufino et al. 1993):

$$R_x = 19.55 + (4.2 \cdot P_x) \quad [4]$$

con: R_x = fattore R mensile; P_x = precipitazione mensile

Questo metodo, confrontato insieme ad altri con l’EI₃₀ di Wischmeier (1965), calcolato in modo rigoroso a partire dall’energia e dall’intensità massima delle precipitazioni su base mezzoraria, ha fornito sull’area di test i risultati migliori in termini di RMSE e correlazione R² (Märker et al., 2007).

Le precipitazioni medie mensili del trentennio 60-90 sono state ricavate dalla spazializzazione dei dati con tecnica di regressione lineare pesata localmente con la quota (Maselli, 2001) e corrette con il successivo kriging dei residui.

Il fattore C è stato calcolato a scala mensile sulla base delle scene NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) del satellite MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer*). Le immagini, facenti parte del prodotto “*Terra Vegetation Indices, MOD13Q1*”, sono scaricate dal sito “*Earth Observing System Data Gateway*” (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Le scene, con risoluzione spaziale di 250 m e temporale di 16 giorni, sono state corrette dagli *outliers* (valori anomali, spesso dovuti alla copertura nuvolosa) utilizzando una metodologia di ricostruzione del dato in base ai valori delle due scene precedenti e delle due successive.

A partire dai lavori svolti da Knijff (Knijff, 2000) e van Leeuwen (van Leeuwen, 2003) i valori del fattore C sono stati calcolati con la seguente formula:

$$C = e^{\left[-2.5 \left(\frac{NDVI}{1-NDVI} \right) \right]} \quad [5]$$

Sulle aree boscate derivanti dal CORINE Land Cover 2000 è stata introdotta una soglia massima a 0.0002 per non avere gli effetti della copertura nevosa e nuvolosa presente sulle zone montane.

Il fattore P è stato posto uguale a 1: non viene considerata, in tal modo, nessuna forma di protezione e conservazione del suolo.

Risultati

Il principale risultato ottenuto nell'analisi condotta, consiste nell'aver introdotto la dinamica mensile nel calcolo della RUSLE a scala regionale. Ciò ha permesso di ottenere maggiori informazioni, che a livello annuale non sarebbero emerse, riguardanti l'evoluzione dei processi erosivi legata ai cambiamenti climatici in atto. Infatti, lo scenario IPCC-SRES A2 utilizzato, relativo all'anno 2050, fornisce una valutazione quantitativa della variazione di precipitazioni mensili rispetto al periodo standard di riferimento, fissato nel trentennio 1960-1990, sopra al grigliato regolare con cui è suddiviso l'intero pianeta di passo 2,5° in latitudine e 3,75° in longitudine. L'area occupata dalla regione Toscana interessa due celle del grigliato. Su di esse, è prevista una riduzione complessiva delle piogge a livello annuale che, in termini di calcolo della RUSLE, avrebbe significato una riduzione dei fenomeni erosivi. Tuttavia, in qualche mese (novembre, dicembre, febbraio, marzo e aprile) la precipitazione dello scenario è più alta che nel periodo in corso, come mostrato nella tabella che segue.

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Cella 1	-0.36	11.69	18.91	4.98	-13.00	-25.06	-32.91	-39.78	-20.93	-0.54	14.67	38.95
Cella 2	-7.91	4.64	24.59	11.76	-15.84	-26.65	-40.59	-34.86	-31.62	-10.27	0.43	49.66

Figura 1 - Variazioni percentuali di precipitazione mensile previste dallo scenario

Da tale scenario ovviamente non emerge la variazione nella distribuzione temporale delle precipitazioni ma è probabile che gli eventi siano meno frequenti ma molto più intensi (IPCC 2000, Kabat e Van Schaik 2002). Tuttavia, un aumento nei mesi con alti valori di precipitazione cumulata comporta comunque un aumento del fattore di erosività della pioggia e quindi dell'erosione.

La dinamica del fattore "copertura vegetale" permette di valutare efficacemente i periodi dell'anno in cui il suolo è più vulnerabile all'erosione idrica: come si vede nella figura 2, nelle zone a seminativi i profili NDVI riescono a rappresentare molto bene l'andamento del fattore C.

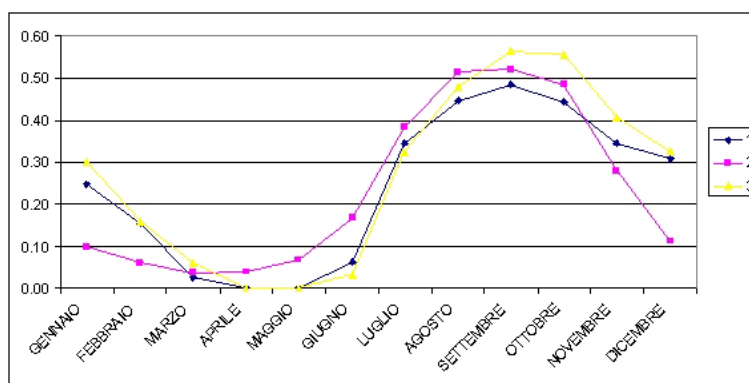


Figura 2 – Profili del fattore C nella classe seminativi

Di seguito si riportano le mappe della RUSLE calcolata per alcuni mesi rappresentativi che mostrano l'effetto dello scenario climatico sull'erosione.

Come mostrato nelle figure, la perdita di suolo valutata con lo scenario è inferiore rispetto a quella del trentennio di riferimento nel mese di luglio; resta più o meno invariata nel mese di ottobre,

mentre mostra un certo incremento nei mesi di dicembre e di marzo, ovvero nei periodi durante i quali si hanno i maggiori valori di precipitazione.

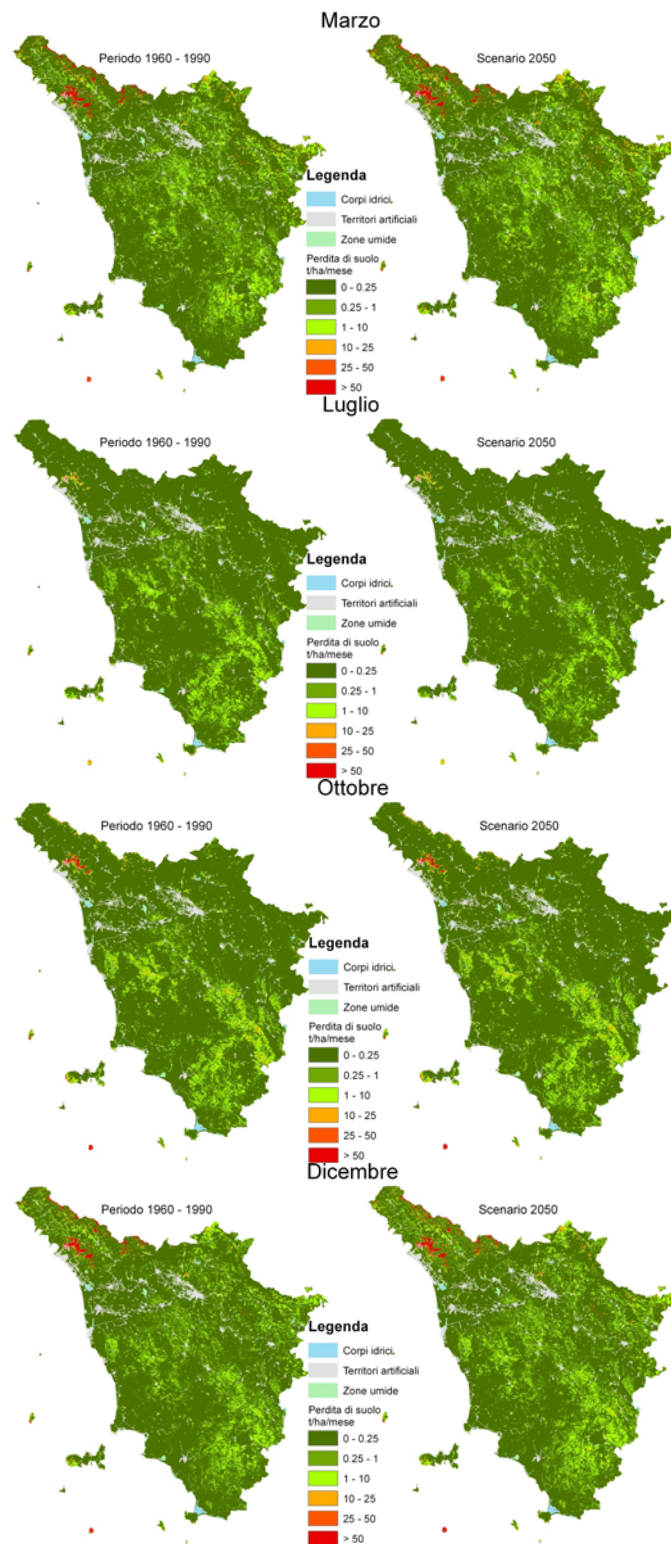


Figura 3 - Variazioni percentuali di precipitazione mensile previste dallo scenario

Nella tabella che segue sono riportate nel dettaglio le variazioni di perdita di suolo per gli stessi mesi, suddivise per classe di erosione.

Classi	Periodo di riferimento 1960 - 1990				Scenario 2050			
	Marzo	Luglio	Ottobre	Dicembre	Marzo	Luglio	Ottobre	Dicembre
0 - 0.25	1648001	1856536	1834206	1691085	1611972	1900095	1839452	1616153
0.25 - 1	251865	173890	149118	249994	253826	181855	149264	262520
1 - 10	234174	147733	177715	210075	258276	97707	172757	260710
10 - 25	24261	2597	13629	12888	29953	1632	13405	20139
25 - 50	7399	923	2878	4830	9025	690	2745	6140
> 50	16690	711	4844	13518	19338	411	4767	16728

Figura 4 - Variazioni di perdita di suolo per classi di erosione (dati in ettari)

Conclusioni

L'analisi mostra un aumento complessivo del livello di erosione con l'introduzione dello scenario A2 del modello HadCM3. Lo studio dimostra come una precipitazione annua inferiore non comporti necessariamente una riduzione della perdita di suolo; infatti, come evidenzia la dinamica introdotta, la diminuzione del tasso di erosione si ha nei mesi durante i quali il fenomeno è già di per sé basso (estate). Invece i livelli di erosione dello scenario risultano più alti nei mesi durante i quali maggiori possono essere i danni arrecati (inverno).

Per una stima più corretta bisognerebbe valutare gli effetti della precipitazione dopo prolungati periodi di siccità, come gli scenari climatici prevedono, e tenendo conto della durata degli eventi pluviometrici (intensità). L'uso delle immagini NDVI necessita di maggiori approfondimenti, per la definizione di soglie minime e massime delle classi di uso del suolo.

Riferimenti bibliografici

- Hickey R. (2000), "Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS", *Cartography*, 29: 1, 1-8
- IPCC (2000). Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., et al. "Special report on emission scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge University Press: Cambridge
- Kabat, P. and Van Schaik, H. (2002). *Climate changes the water rules. How water managers can cope with today's climate variability and tomorrow's climate change. Dialogue on Water and Climate*. Liverpool
- Knijff van der J.M., Jones R.J.A., Montanarella L., (2000), *Soil Erosion Risk Assessment*, European Soil Bureau, JRC, Space Applications Institute, Italy
- Märker M., Angeli L., Bottai L., Ferrari R., Innocenti L., Siciliano G. (2007), "Assessment of land degradation sensitivity by scenario analysis in Southern Tuscany, Italy", *Geomorphology*, (in stampa)
- Maselli F. (2001), "Definition of Spatially Variable Spectral Endmembers by Locally Calibrated Multivariate Regression Analyses", *Remote Sensing of Environment*, Jan 2001
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K, e Yoder D.C. (1997). "Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)", *Agriculture Handbook* N° 703
- Van Leeuwen W.J.D. e Sammons G. (2003), "Seasonal Land Degradation Risk Assessment for Arizona", *Proceedings of the 30th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Honolulu, 378-381
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1965). "Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains - guide for selection of practices for soil and water conservation", *Agriculture handbook* N° 282
- Wischmeier W.H. e Smith D.D. (1978), "Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning", *Agricultural Handbook* N° 537