

TUTELA DEL PAESAGGIO DELLE CRETE SENESI (SI) ATTRAVERSO LA STIMA DELLA PERDITA POTENZIALE DI SUOLO: MODELLI RUSLE E USPED A CONFRONTO

Riccardo SALVINI (*), Silvia RICCUCCI (*), Alessandro COLICA

(*) Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra e Centro di Geotecnologie, Via Vetri Vecchi 34, San Giovanni Valdarno, Arezzo, 52027. Tel 055 9119441, Fax 055 9119439, salvinir@unisi.it

Riassunto

La valutazione della produzione di sedimenti provenienti dai versanti e l'individuazione delle aree a maggior rischio di erosione è una delle più importanti applicazioni dei sistemi GIS in ambito geologico. Il panorama dei modelli empirici che si occupano di erosione del suolo è vasto e, anche se ben affermati, talvolta risultano troppo semplificati; di contro, la tendenza attuale è quella di sviluppare e testare modelli maggiormente basati sulla fisica dei processi studiati.

Obiettivo di questo lavoro è quello di applicare alcuni di questi modelli, confrontarli e valutarne vantaggi e svantaggi. L'analisi geomorfologica e di uso del suolo è stata condotta nel territorio delle Crete Senesi, nel Comune di Buonconvento (SI). Serie di ortofoto multitemporali, relative agli anni 1954 e 2005, sono servite per ricostruire le modificazioni che questi paesaggi di riconosciuto valore naturalistico hanno subito negli anni ad opera principalmente dell'uomo e secondariamente per cause naturali.

Attraverso l'applicazione di modelli predittivi differenti, si è cercato di individuare le aree soggette al maggiore rischio di erosione poste all'interno di tre piccoli bacini idrografici siti nel territorio comunale. Lo studio morfodinamico di tali processi erosivi, considerato l'uso agricolo estensivo dell'area, si rende necessario al fine di verificare gli effetti delle politiche di conservazione ed eventualmente definire le aree da mettere in protezione e le tecniche da utilizzare.

Abstract

The assessment of sediment production from slopes and the identification of areas subjected to erosion risk is one of the most important applications of GIS in the field of geology. There is a vast possibility of choice among several models that evaluate the soil erosion. Some of these models sometimes reproduce the process in a too simplified and/or empirical way; conversely, the current trend is to develop and test models based on the physics of the studied processes.

Objective of this work is to apply and to compare some of these models, in order to evaluate their advantages and disadvantages. The geomorphological and land use analysis was carried out in the Crete Senesi area, in the municipality of Buonconvento (SI). Series of multitemporal orthophotos, dated 1954 and 2005, were used to point out the changes that these landscapes, of recognized natural value, have suffered during the time due primarily to human activities and secondarily to natural causes.

Through the application of different predictive models, we tried to identify areas subjected to greater risk of erosion and placed within three small catchments sited in the municipality. Due to the extensive agriculture use of this area, the morphodynamic study of these erosive processes becomes necessary to verify the effects of conservation policies and possibly to define the areas to protect and the environmental conservation techniques to apply.

Area di studio

L'area in esame corrisponde al territorio comunale di Buonconvento, situato a Sud-Est di Siena, e confinante con i Comuni di Monteroni d'Arbia, Asciano, Murlo, San Giovanni d'Asso e Montalcino (Figura 1) costituenti per la maggior parte il cosiddetto territorio delle Crete Senesi.

L'area è caratterizzata dalle litofacies tipiche della sequenza nel Bacino di Siena quali:

- Argille e argille sabbiose di ambiente marino di età pliocenica inferiore (biozone a *Globorotalia margaritae* e a *G. puncticulata*), distribuite in tutto il bacino, e di età pliocenica inferiore-alta e media (biozone a *Globorotalia bononiensis* e a *G. crassaformis*), distribuite lungo la fascia orientale (Gandin, 1982);
- Sabbie con lenti di conglomerato presenti soltanto nelle zone marginali del Bacino;
- Sabbie e alternanze sabbioso-siltoso-argillose presenti principalmente nella zona centro-orientale.

L'assetto geologico generale è suborizzontale, con rare inclinazioni degli strati comunque inferiori ai 10° (Costantini et al., 1982).

Metodologie di analisi

Lo studio è stato effettuato utilizzando i seguenti dati:

- Cartografia topografica regionale in scala 1:10.000 in formato vettoriale.
 - Ortofoto pancromatiche digitali relative all'anno 1954 con risoluzione spaziale pari a 1 m, fornite dall'Istituto Geografico Militare.
 - Ortofoto pancromatiche digitali relative all'anno 2005 con risoluzione spaziale pari a 1 m, fornite dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (AGEA).
 - Modello Digitale del Terreno (DTM) con risoluzione spaziale pari a 10 m derivante dalla cartografia topografica.
 - Cartografia geologica in scala 1:10.000, disponibile dal Progetto Regionale CARG in formato vettoriale.
 - Cartografia geomorfologica riferita alla nuova cartografia in scala 1:25.000 della Provincia di Siena (ad oggi inedita) resa disponibile per gentile concessione dal Prof. M. Coltorti dell'Università di Siena direttore del rilevamento.
 - Dati pedologici relativi alla banca dati e al Catalogo dei Suoli realizzati nell'ambito del Progetto della Regione Toscana in scala 1:250.000. Le informazioni di interesse sono state ottenute dalla vettorializzazione della cartografia pedologica disponibile on-line (www.regione.toscana.it) formato raster caratterizzata da diverse associazioni di suoli. Da essa, servendosi del Catalogo dei Suoli, è stato possibile ricavare un nuovo livello informativo, rappresentabile in scala 1:10.000, caratterizzato da un unico tipo pedologico.
 - Dati idrometrici relativi alle pluviometrie mensili ed annuali delle stazioni di Montalcino, Pienza (Madonnina) e Monte Oliveto. La scelta delle stazioni è stata dettata sia dalla loro collocazione geografica sia dalla disponibilità di dati per gli anni di interesse. I dati relativi alle precipitazioni giornaliere sono stati recuperati dal sito del Servizio Idrologico Regionale (www.idropisa.it).
- Il sistema di riferimento cartografico scelto per il lavoro è quello nazionale di Gauss-Boaga Fuso Ovest.

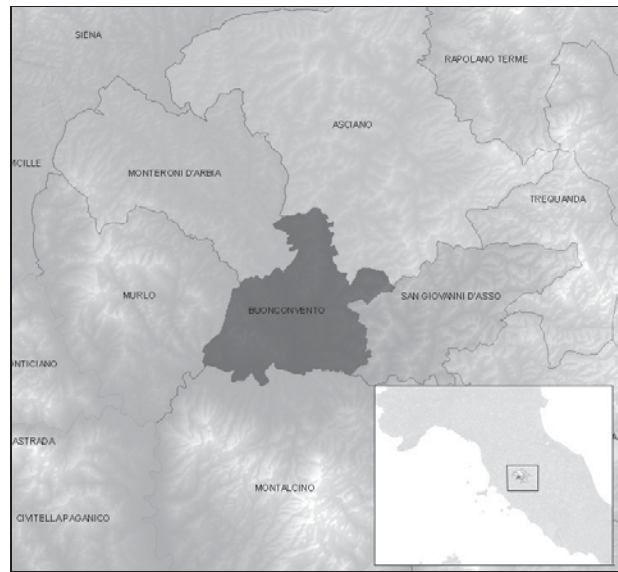


Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio

Il lavoro è stato organizzato in due distinte fasi: la prima fase ha riguardato la fotointerpretazione delle ortofoto multitemporali per la creazione delle relative banche dati di uso del suolo. Il Geodatabase è stato creato in accordo con la nomenclatura CORINE di quarto livello derivante da un approfondimento del sistema di classificazione europeo (Heymann et al., 1994) secondo le raccomandazioni dell'ETC-LC (Centro Tematico per il Land Cover dell'Unione Europea) con voci aggiuntive al fine di meglio corrispondere alle caratteristiche legate alla scala maggiore (1:10.000 anziché 1:100.000) e in accordo con le indicazioni fornite dal Ministero dell'Ambiente per la redazione dei Piani di Gestione dei SIC (Siti di Importanza Comunitaria). Tali banche dati sono state in seguito confrontate per evidenziare i cambiamenti avvenuti nel territorio in esame.

La seconda fase ha invece riguardato la sperimentazione di due modelli di previsione di erosione del suolo basati sulla fisica dei processi in studio. Sono stati scelti due modelli che dal punto di vista concettuale seguono due approcci differenti, ma che rientrano nella categoria dei modelli matematici di tipo moltiplicativo in cui figurano fattori che quantificano l'influenza sull'erosione idrica di uno o più processi e delle loro interazioni. In particolare il modello RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation* - Wischmeier e Smith, 1978) utilizza un approccio definito "erosion limited", cioè in grado di valutare la sola componente erosiva dei suoli trascurando completamente il fenomeno della deposizione, mentre il modello USPED (*Unit Stream Power Erosion/Deposition Model* - Moore e Burch, 1986) fa parte di quella categoria di modelli definiti "transport limited" cioè in grado di valutare anche il processo deposizionale. Ad esclusione dei dati pluviometrici, tutti i dati di input necessari per la stima dei parametri richiesti dai modelli considerati, provengono da elaborazioni geologiche, geomorfologiche, pedologiche e fotogrammetriche condotte in questo lavoro.

Il calcolo della perdita potenziale di suolo per entrambi i modelli deve essere effettuato su bacini chiusi. A partire dal DEM tramite il modulo ArcHydro di ESRITMArcMap sono stati individuati 3 bacini da analizzare situati nella parte Sud-Ovest del Comune di Buonconvento: il Fosso dell'Acqua, il Fosso Baceta ed il Bacino di Bibbiano.

La RUSLE si rifà alla più nota USLE sempre sviluppata da Wischmeier e Smith nel 1958, modificata nel calcolo dei parametri; essa si pone l'onere di calcolare le tonnellate per ettaro all'anno di suolo che potrebbe essere perso a causa dell'azione dilavante, dell'effetto goccia e dell'erosione concentrata dell'acqua piovana e si basa su 6 fattori relativi a vari aspetti del territorio. L'equazione è la seguente:

$$A = R * K * LS * C * P$$

dove:

A è la quantità media di suolo erosa annualmente per unità di superficie [ton/(ha*anno)]

R è il fattore di erosività della pioggia [(MJ * mm)/(h * ha * anno)];

K è il fattore di erodibilità del suolo [(ton * ha * h)/(ha * MJ * mm)];

LS è il fattore topografico (adimensionale);

C è il fattore di copertura del suolo (adimensionale compreso tra 0 e 1);

P è il fattore delle pratiche di controllo dell'erosione (adimensionale compreso tra 0 e 1).

Concepita come applicabile a scala di versante, tale equazione trattata in ambiente GIS viene applicata in maniera distribuita a tutta l'area di indagine. Il fattore topografico LS, calcolato secondo l'equazione proposta da Moore e Burch (1986), considera la lunghezza e la pendenza del versante ed è stato calcolato a partire dal DTM disponibile. La scelta dei fattori C e P si è basata sull'analisi delle banche dati di uso del suolo e sulla fotointerpretazione delle immagini telerilevate in modo da riconoscere le pratiche territoriali attuate specialmente nelle aree agricole (es. coltivazioni a rittochino, a girapoggio). In particolare per il fattore C si è fatto riferimento alle indicazioni proposte da Bazzoffi (2007) relativamente alle caratteristiche tipiche delle colture nel clima mediterraneo. I dati pedologici sono serviti per ricavare le caratteristiche dei suoli dalle quali valutare il fattore K secondo quanto proposto da Wischmeier & Mannering. (1969). Attraverso i

dati pluviometrici totali annuali e riassunti mensili è stato calcolato il fattore R secondo la metodologia proposta da Arnoldus (1980) che permette di calcolare il coefficiente R con i dati di precipitazione mensile e annuale invece che con le precipitazioni di massima intensità previste dalla RUSLE.

Il Modello USPED, come detto, è un modello parametrico che predice la distribuzione spaziale dell'erosione e deposizione del suolo. Viene ipotizzato un flusso stazionario con pioggia effettiva uniformemente distribuita e in condizioni di capacità di trasporto limitato. L'erosione/deposizione del suolo viene valutata come conseguenza della variazione di capacità di trasporto dei sedimenti. L'erosione si verifica laddove c'è incremento della capacità di trasporto viceversa la deposizione laddove c'è diminuzione. Non essendo stati fatti studi sperimentali su tale modello per calcolare i parametri ad esso necessari è stato fatto riferimento ai parametri RUSLE. Si assume che sia possibile stimare la capacità di trasporto T [ton / ha* anno] come:

$$T = LS * C * P * K * R$$

L'erosione/deposizione ED è stata stimata dalla divergenza di T:

$$ED = \text{div}(T\vec{s}) = d(T\vec{s} \cdot \text{osa}) / dx + d(T\vec{s} \cdot \text{ina}) / dy$$

dove:

α è l'esposizione;

s è il vettore unitario nella direzione di massima pendenza;

dx e dy rappresentano le dimensioni della cella nelle direzioni E e N.

Risultati e conclusioni

La Figura 2 mostra l'estensione delle classi di uso del suolo al secondo livello della Nomenclatura CORINE. Il grafico evidenzia la prevalenza nell'area di terreni agricoli seminativi (classe 21) accompagnata da buone estensioni di zone boscate (classe 31), con agricoltura permanente (classe 22) e da una minima presenza di aree con vegetazione rada o assente (classe 33). Proprio relativamente a quest'ultima classe, corrispondente alle forme più caratteristiche delle Crete Senesi riconducibili ai calanchi ed alle biancane (Figura 3), il grafico in Figura 4 mostra la conversione del territorio dal 1954 al 2005 da essa verso tutte le altre destinazioni d'uso del suolo al terzo livello.

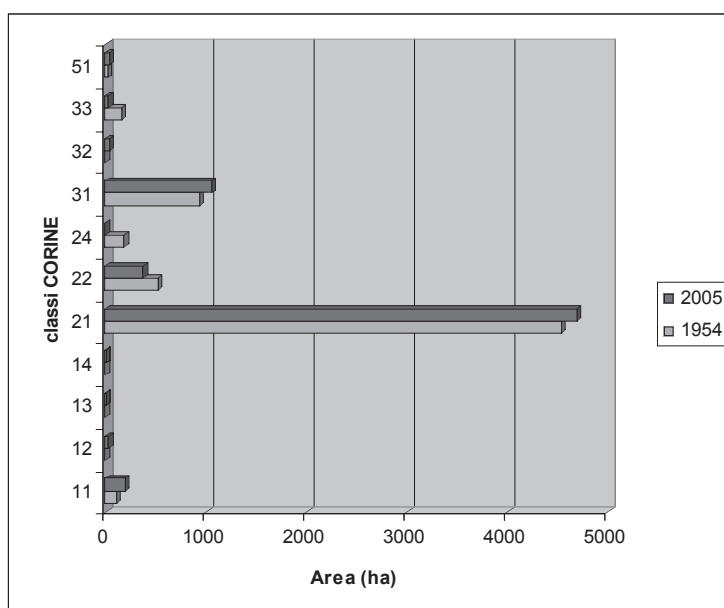


Figura 2 - Estensione in ettari delle classi di uso del suolo al secondo livello della Nomenclatura CORINE

Rispetto al totale della distribuzione delle aree con vegetazione rada (classe 333) del 1954, solamente il 12% di esse si è conservato, mentre il 73% è passato a seminativo (classe 211) ed il 10% ed il 3% rispettivamente a boschi e cespuglietti (classi 311 e 322). Con ogni probabilità, la conversione a seminativo di questi territori, è imputabile allo sviluppo della meccanizzazione nell'agricoltura e alla mancanza di rispetto dei vincoli di protezione ambientale.



Figura 3 – Calanchi (a sinistra) e biancane (a destra) tipici delle Crete Senesi

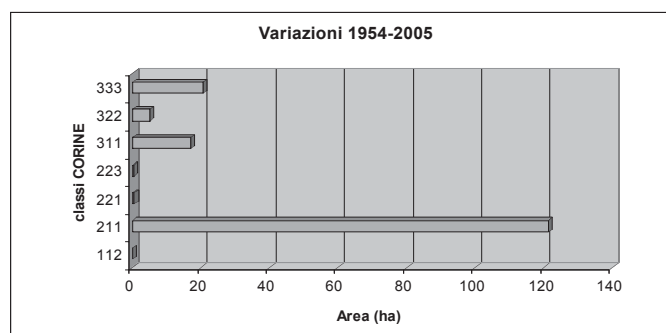


Figura 4 - Estensione in ettari delle aree appartenenti alla classe 333 relativa al 1954 convertite nei successivi 50 anni ad altri usi del suolo

Tali variazioni di uso del suolo hanno inevitabilmente inciso sulle dinamiche geomorfologiche e sulla perdita di suolo. L'applicazione dei modelli ha condotto alla stima quali/quantitativa della distribuzione spaziale della perdita potenziale di suolo annua per gli anni 1954 e 2005. La concettualizzazione matematica tipica del modello USPED ne definisce il limite di applicabilità, rendendolo inaffidabile nelle zone d'impluvio che pertanto sono state scartate. Al fine di rendere confrontabili i due modelli, si è deciso di considerare solamente le zone che nel modello USPED risultavano in erosione, escludendo quelle in deposizione.

I risultati ottenuti, seppur spazialmente molto correlati ed in accordo con i recenti rilevamenti geomorfologici, hanno dato valori numerici molto differenti (Tabella 1).

L'analisi statistica dei dati mostra per entrambi i modelli una generale diminuzione dell'erosione potenziale media negli anni dovuta sia ad un progressivo abbandono delle campagne, come testimoniato dal "reinverdimento" delle zone che nel 1954 erano adibite a pratiche agricole permanenti, sia alla diminuzione delle precipitazioni nell'anno 2005. Il parametro R in questo senso, dato il carattere moltiplicativo dei modelli, riveste un ruolo determinante nel calcolo e la sua stima, in lavori futuri dovrà basarsi su dati più dettagliati e distribuiti nel tempo. La perdita di suolo è aumentata in prossimità dei corsi d'acqua e nelle morfologie più acclivi, come conseguenza diretta della variazione di uso del suolo, da aree naturali ad aree agricole, e della modifica delle pratiche agricole: introduzione di mezzi meccanici più potenti e passaggi da coltivazioni di tipo misto o temporaneo a permanente ed estensivo.

	Media[ton/ha ^{anno}]
RUSLE 54	41,4
RUSLE 05	34,3
USPED 54	18
USPED 05	13,8

Tabella 1 - Valori medi di perdita potenziale di suolo calcolati con i modelli RUSLE e USPED per gli anni 1954 e 2005

Per il Comune di Buonconvento, in ultima analisi, si può dire che esso sia occupato principalmente da aree agricole e aree boschive e che nel periodo di tempo analizzato non si siano registrate particolari variazioni di uso del suolo. E' menzionabile soltanto un debole incremento in estensione (alcune decine di ettari) delle aree agricole ed a copertura boschiva a scapito di vigneti, oliveti e soprattutto di aree a vegetazione rada o assente.

I modelli di calcolo di erosione del suolo applicati ai tre bacini all'interno del territorio comunale mostrano una generale diminuzione dei tassi erosivi, con isolate eccezioni localizzabili in corrispondenza delle variazioni di uso del suolo da agricoltura mista o aree vegetate verso coltivazioni estensive. I risultati ottenuti dai due modelli mostrano una grande variabilità nei valori medi di perdita potenziale di suolo con tassi più elevati per il modello RUSLE; il modello USPED fornisce una più marcata variabilità spaziale del processo erosivo.

I bacini in studio non mostrano una situazione di criticità marcata riguardo all'erosione anche se si auspica una maggiore attenzione verso metodologie di misura in situ con rilievi diretti in modo da conoscere con precisione l'entità del trasporto torbido e testare direttamente i vari modelli parametrici.

Bibliografia

Arnoldus H.M.J. (1960), "An approximation of rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation", *Assessment of Erosion*, 127-132. M. De Boodt and D Gabriels, eds. New York, N. Y.. John Wiley and Sons.

Bazzoffi P.(2007), "Erosione del suolo e sviluppo rurale. Fondamenti e manualistica per la valutazione agroambientale". Ed. *IlSole24Ore* EDAGRICOLE.

Costantini A., Lazzarotto A. & Sandrelli F. (1988), "Conoscenze geologico-strutturali", *Il Graben di Siena "Studi geologici, idrogeologici e geofisici finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo"*, CNR-PFE-RF9-Sottop. Energia Geotermica, Pisa.

Gandin A. (1988), "Considerazioni stratigrafico-paleogeografiche", *Il Graben di Siena "Studi geologici, idrogeologici e geofisici finalizzati alla ricerca di fluidi caldi nel sottosuolo"*, CNR-PFE-RF9-Sottop. Energia Geotermica, Pisa.

Heymann Y., Steenmans C., Croisille G. e Bossard M. (1994), *CORINE land-cover project. Technical guide*, European Commission Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection ECSC-EEC-EAEC, Brussels, 136

Moore I.D., Burch G.J. (1988), "Modelling erosion and deposition: Topographic effects", *Transactions of the ASAE*, 29: 184 -180.

Wischmeier W.H., Smith D.D. (1958), "Rainfall energy and its relationship to soil loss", *Trans. AGU*, 39: 28 -291.

Wischmeier W.H., Mannering J.V. (1960), "Relation of soil properties to its erodibility", *Soil Sci., Soc. Am. Proc.*, 33: 131-137.

Wischmeier W.H., Smith D.D. (1978), "Predicting rainfall erosion losses – guide to conservation planning", *USDA Handbook n.537*, Washington, D.C.