



Internationales Symposion INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

ANALISI E QUANTIFICAZIONE DEI PROCESSI EROSIVI INTERESSANTI I BACINI TORRENTIZI IN AMBIENTE MEDITERRANEO. UN CASO DI STUDIO

ANALISYS AND ESTIMATION OF SOIL EROSION PROCESSES IN TORRENTIAL WATERSHEDS LOCATED IN MEDITERRANEAN AREAS. A STUDY CASE

Enrica Marziani¹, Salvatore Puglisi², Francesco Gentile³

SOMMARIO

L'analisi dei processi di degradazione del suolo rappresenta uno strumento fondamentale per una corretta pianificazione e gestione territoriale. Il presente lavoro riporta i risultati dell'applicazione di un modello a base fisica per la stima dell'erosione, mediante l'utilizzo di una Geospatial interface (Geowepp), ad un'area dell'Italia Meridionale soggetta a fenomeni erosivi. Ci si è proposti, attraverso l'analisi dei risultati forniti dal modello, di valutarne l'affidabilità in situazioni di variazione di uso del suolo.

Parole chiave: Erosione del suolo, Geowepp, Gestione dell'uso del suolo.

ABSTRACT

The analysis of soil degradation processes represents a major tool for a correct land use planning and management. This paper deals with the application, in an area subject to erosive phenomena located in Southern-Italy, of a physical based model for soil erosion estimation, through a Geospatial Interface (Geowepp). The analysis of the results provided by the model is carried out to evaluate its reliability according to different land uses.

Key words: Soil erosion, Geowepp, Land use management.

INTRODUZIONE

Lo studio dell'erosione del suolo riveste un ruolo di grande importanza nell'analisi dei fenomeni che provocano il degrado ambientale nelle aree mediterranee. Ogni intervento in queste aree non può prescindere dall'analisi degli effetti che può provocare su tale risorsa

1 Dottoranda di ricerca, Dip. PROGESA- Sez. Sistemazioni-Idraulico-Forestali, Università di Bari, Via Amendola 165/A Bari, email: e.marziani@agr.uniba.it

2 Professore Ordinario di Sistemazioni-Idraulico-Forestali, Università di Bari, dal 1975 al 2002, Via della Resistenza 48H/2 70125, Bari, email: gsm.puglisi@virgilio.it

3 Professore Associato, Dip. PROGESA – Sez. Sistemazioni-Idraulico-Forestali, Via Amendola 165/A Bari; email: francesco.gentile@agr.uniba.it

rinnovabile solo in tempi molto lunghi e facilmente deteriorabile. La previsione delle modificazioni e dell'entità dei processi di degradazione può rappresentare un importante strumento per una più corretta pianificazione e gestione territoriale in relazione a misure che possano ridurre lo stato di degrado in atto.

Numerosi studi sono stati condotti al fine di comprendere i meccanismi che stanno alla base del processo erosivo e la letteratura rende disponibili diversi modelli finalizzati a prevedere e quantificare la perdita di suolo e, di conseguenza, la produzione di sedimento.

Il presente lavoro si propone di applicare alla scala di piccolo bacino il WEPP (Water Erosion Prediction Project), un modello a base fisica che permette di quantificare i processi di distacco, di trasporto e di deposizione delle particelle solide utilizzando come dati in ingresso 4 input files, ciascuno dei quali descrive le caratteristiche dell'area scelta in base al clima, al suolo, alla morfologia ed all'uso e gestione del suolo stesso.

L'area di indagine, già oggetto di precedenti studi, oltre che di opere volte a contrastare l'evoluzione dei fenomeni erosivi, è un piccolo bacino del basso Molise, situato nei pressi del centro abitato di Civita Campomarano (CB). La costruzione dei files di ingresso è avvenuta mediante ricerca dei dati, rilievi e costruzione del modello digitale del terreno; in seguito sono stati ipotizzati alcuni possibili scenari e ne sono stati valutati gli effetti, in termini di perdita di suolo.

DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il WEPP è un modello di previsione dell'erosione idrica, fisicamente basato, a parametri distribuiti ed a simulazione continua, che consente di valutare i processi erosivi ed idrologici mediante equazioni matematiche.

Il modello, che si propone di riprodurre i meccanismi fisici che sono alla base dell'erosione del suolo calcola, in base ai dati climatici in ingresso, quanta parte della pioggia è soggetta ad infiltrazione ed evapotraspirazione determinando quindi l'entità del deflusso, la sua distribuzione nel tempo e, di conseguenza, i valori puntuali di erosione-sedimentazione lungo il profilo del versante (soil loss), oltre alla quantità di sedimenti prodotti nel corso dell'evento (sediment yield). Il modello fornisce i valori di numerosi parametri relativi al sistema suolo-vegetazione aggiornati in modo dinamico al termine di ciascun periodo di simulazione.

Del WEPP sono disponibili due moduli: l'hillslope e il watershed. Il primo consente di simulare i processi di distacco, deposizione e produzione di sedimento su un singolo versante, mentre il modulo watershed simula gli stessi processi attraverso un sistema di canali che veicola i sedimenti ricevuti dai versanti.

Per entrambi i moduli i dati di ingresso necessari per caratterizzare l'area sono suddivisi in 4 input files: il climate file che contiene le caratteristiche climatiche, lo slope file, per le caratteristiche morfologiche, il management file che associa dati di uso del suolo ma anche caratterizza il tipo di gestione e coltura presente, infine il soil file che contiene informazioni circa la composizione granulometrica del suolo e la quantità di materia organica, oltre ai principali parametri che influenzano l'erosione: l'effettiva conducibilità idraulica, l'erodibilità interill, l'erodibilità rill e lo sforzo di taglio nel terreno.

La componente hillslope del WEPP (Foster et al., 1995) può essere descritta attraverso un'equazione di continuità [1] in condizioni stazionarie riferita al movimento dei sedimenti in un rill:

$$\frac{dG}{dx} = D_f + D_i \quad [1]$$

dove: dG/dx rappresenta la variazione di peso di sedimento in un punto a distanza x dall'origine, D_i indica il sedimento proveniente dalle aree interill e D_f il sedimento mobilitato nei rill (positivo per il distacco, negativo per l'accumulo).

Si ha distacco ($D_f > 0$) nei rill quando la quantità di sedimenti è inferiore alla capacità di trasporto delle acque di ruscellamento:

$$D_f = D_c \left(\frac{G}{T_c} - 1 \right) \quad [2]$$

dove G indica il peso dei sedimenti, D_c e T_c rispettivamente la capacità di distacco e di trasporto del deflusso nei rill.

Si ha invece deposizione ($D_f < 0$) quando il peso dei sedimenti G è maggiore della capacità di trasporto T_c :

$$D_f = \frac{b \cdot V_f}{q} (T_c - G) \quad [3]$$

con q portata per unità di larghezza, b coefficiente di turbolenza indotto dalla pioggia e V_f velocità di caduta del sedimento.

CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO

L'area oggetto d'indagine (Fig. 1) è un piccolo bacino situato nel basso Molise, presso l'abitato di Civita Campomarano (CB). L'intero bacino, avente una superficie totale di 15.36 km², si estende da una quota massima di 930 m s.m. ai 427.4 m s.m. della sezione di chiusura; all'interno di quest'area l'asta principale prende il nome di Vallone S. Simone.

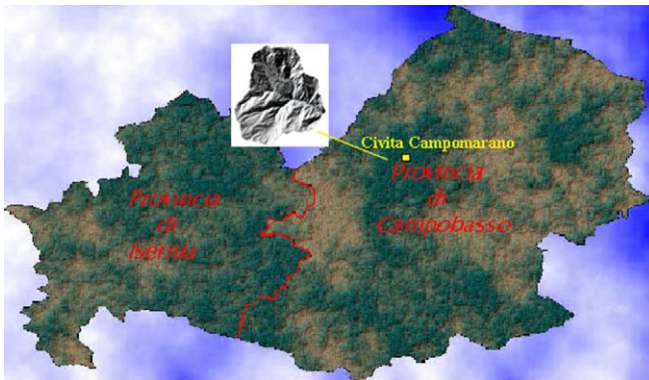


Fig. 1: Localizzazione dell'area di studio

Fig. 1: Location of the study area

Tab. 1: Principali caratteristiche morfometriche del bacino
Tab. 1: Main morphological characteristics of the watershed

Superficie totale del bacino	15.36 km ²
Perimetro del bacino	16.20 km
Coefficiente di forma di Gravelius	1.147
Altitudine massima del bacino	930 m s.l.m.
Altitudine media del bacino	682,7 m s.l.m.
Pendenza media del bacino	0.21
Altitudine alla sezione di chiusura	427.4 m s.l.m.
Lunghezza dell'asta principale	4,70 km
Dislivello dell'asta principale	450 m
Pendenza media dell'asta principale	0.096

Per contrastare l'evoluzione dei fenomeni erosivi di tipo gully e calanchivo, oltre che franosi, che caratterizzano quest'area furono realizzate opere per la regolarizzazione del profilo del corso d'acqua. Da un rilievo effettuato, in fase di parziale interrimento delle briglie, è stata stimata (Pacífico, 1982) pari a 38219 m³/anno la quantità di apporto solido alla sezione di chiusura del bacino. Tale dato è stato successivamente confrontato (Gentile et al., 1999; Romano et al., 2002) con i risultati ottenuti dall'applicazione in forma distribuita di modelli empirici: la USLE, la formula di Gavrilovic e quella di Gaspar e Apostol.

La vocazione vegetazionale del Molise è prevalentemente di tipo forestale ma, nel corso degli anni, la pressione antropica ha portato alla riduzione delle aree boscate. L'erosione dei boschi comincia già in epoca romana e prosegue nei secoli seguenti tra alterne devastazioni e tentativi di recupero del paesaggio originario.

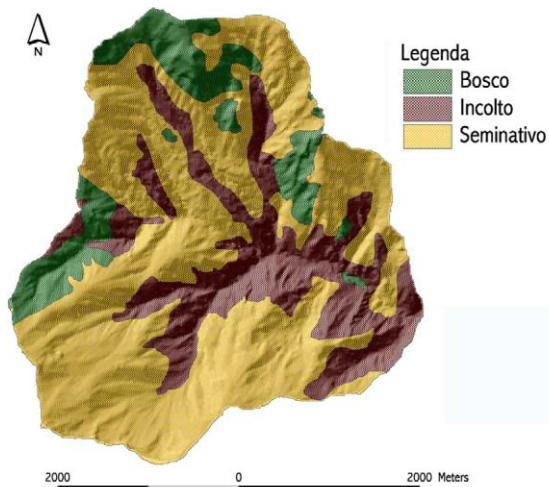


Fig. 2: Carta di uso del suolo
Fig. 2: Land cover map

Nel novecento si assiste ad un intensificarsi del processo di messa a coltura dei terreni precedentemente disboscati e bonificati e si producono trasformazioni irreversibili del paesaggio mediante la realizzazione di infrastrutture stradali, sbarramenti e regimazioni. L'abbandono delle tradizionali forme di gestione del territorio e la progressiva conquista di questo da parte degli insediamenti residenziali e produttivi ha portato, nell'ultimo decennio, ad una profonda trasformazione dell'assetto territoriale regionale.

Attualmente, nell'area indagata sono riconoscibili 3 tipi di uso del suolo (Fig. 2): bosco, incolto, colture cerealicole.

Il bosco, costituito essenzialmente da cedui quercini con rimboschimenti di Pino d'Aleppo, si estende per limitate aree localizzate nelle zone più alte del bacino per un totale di 2 km²; le aree, estese circa 3,85 km², situate lungo la rete idrografica sono incolte, mentre la restante superficie del bacino, pari a circa 9,52 km², è occupata da colture cerealicole.

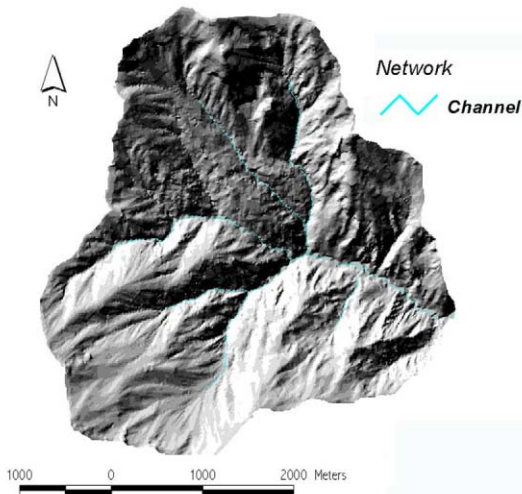
Il clima è di tipo mediterraneo, caratterizzato cioè da una stagione estiva che va da giugno a settembre e da un inverno mite. La piovosità è generalmente concentrata nel periodo autunno-invernale con media annuale intorno ai 738 mm. Le temperature non sono molto elevate e le massime si attestano intorno ai 21.6- 25.8 °C durante i mesi estivi.

L'area, dal punto di vista litologico, (Balboni, 1968; Mercuri e Rizzo, 1980), è caratterizzata prevalentemente da formazioni argillose (argille varicolori; Paleogene). Si tratta di terreni argillosi variamente colorati, dal grigio piombo al rosso vinato e verde, suddivisi in scaglette romboedriche più o meno regolari con una notevole capacità di ritenzione idrica. La massa rocciosa è interessata da due sistemi di taglio principali intersecantisi normalmente rispetto alla direzione di massima sollecitazione. Tali condizioni conducono a fenomeni di elevata erodibilità che si esplica in movimenti di massa superficiali (colamenti) a carattere continuo e di rapida riattivazione. La circolazione delle acque, invece, è legata alla presenza di discontinuità. Tali formazioni, in zone non protette dall'erosione, presentano forti processi di degradazione che si esplicano in un suolo a forte componente argillosa.

Sulle argille poggiano calcari detritici fini e breccie calcaree (Miocene inf.). Tale formazione affiora, nel bacino in esame, solo in aree di piccola estensione. Si tratta di calcari detritici finissimi, breccie calcaree e calcari compatti.

Inoltre, nella parte nord orientale dell'area, sono presenti terreni argilloso-sabbiosi riconducibili ai recenti cicli trasgressivi terziari (Pliocene) costituiti da alternanze di argille, argille siltose, sabbie e sabbie argillose.

I terreni interessanti l'area in esame sono considerati come pseudocoerenti (argille varicolori).



Di tutta l'acqua di precipitazione che raggiunge il bacino, una parte scorre in superficie, lungo le linee di massima pendenza, la restante invece si infiltra nelle rocce permeabili affioranti, muovendosi secondo linee di flusso parallele. L'affioramento più interessato dalle acque di permeazione è costituito dalla formazione arenaceo-argillosa.

Fig. 3: Reticolo idrografico

Fig. 3: Drainage network

La parte superiore di tale formazione è costituita da una matrice detritica limosa a cemento calcareo, ricca di pori intercomunicanti che permette di immagazzinare e trasmettere acqua.

La circolazione dell'acqua nella massa argillosa, invece, è legata alla presenza di tre principali sistemi di discontinuità: fessure di rilassamento, fessure di taglio e netta scagliosità.

A risentire notevolmente dei fenomeni idrologici ed idrogeologici sono i processi morfogenetici direttamente dipendenti dalle caratteristiche litologiche, strutturali e petrofisiche delle rocce affioranti. Tra i litotipi più sensibili a tali fenomeni sono le argille varicolori. Frequente è il fenomeno del ruscellamento diffuso, caratterizzato da una serie di solchi costituenti l'inizio delle piccole incisioni o da fenomeni di soliflusso generalizzato.

La formazione arenacea presenta incisioni dovute alla natura stessa del materiale che viene facilmente eroso dalle acque meteoriche, da quelle circolanti nei pori e da quelle presenti negli alvei.

La conformazione morfo-geologica e tettonica dell'area è pertanto responsabile della natura e dell'entità dei fenomeni erosivi. Sono frequenti forme di erosione di tipo calanchivo e lineare spesso combinate con forme di tipo superficiale (sheet e rill).

APPLICAZIONE DEL MODELLO

Caratteristiche morfologiche

Il file con le caratteristiche orografiche del bacino è stato ottenuto mediante l'utilizzo di una Geo-spatial interface (Geowepp) che ha alla base del suo funzionamento il software TOPAZ (TOPographic PArameteriZation).

Si tratta di un analizzatore topografico che, partendo dal modello digitale del terreno, individua e misura la struttura e gli attributi topografici, definisce il reticolo idrografico e suddivide il bacino in sottobacini (Bisantino e Marziani, 2002).

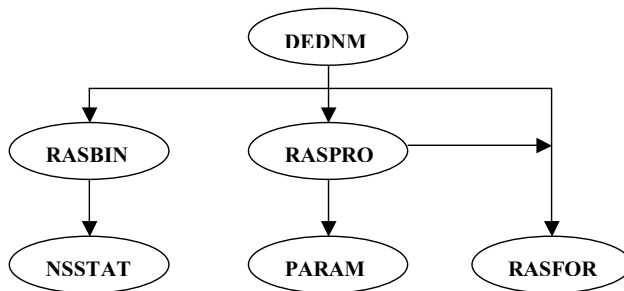


Fig. 4: Struttura ed ordine di esecuzione dei programmi costituenti il TOPAZ

Fig. 4: TOPAZ: programs and their execution sequence

Il TOPAZ non è un programma GIS inteso in senso tradizionale ma è costituito da un sistema di programmi (Fig. 4) tra loro interdipendenti (gli output di un programma sono utilizzati come input per un altro) che processando dati raster producono data layer e relative tabelle di attributi. Affinchè i dati generati possano essere visualizzati come file raster è necessaria un'interfaccia GIS (ArcView).

Climate file

I dati utilizzati per la costruzione del file climatico provengono dalla stazione agrometeorologica Ersam di Lupara. Per la creazione del file è stato necessario l'utilizzo di un software specifico, il BPCDG (Breakpoint Climate Data Generator). Sono stati creati 4 file con i valori di precipitazione, temperatura minima e massima giornaliera, direzione e intensità del vento, radiazione totale giornaliera e temperatura del punto di rugiada; successivamente elaborati dal BPCDG per generare il file, utilizzabile dal modello WEPP per le simulazioni (Bisantino e Marziani, 2002).

Soil file

Il sistema utilizzato dal WEPP per la classificazione dei suoli è quello dell'USDA. E' indicato con "fines" il materiale con diametro compreso tra 0.06 e 2 mm e con "rock content" la percentuale di ghiaia. All'interno della frazione "fines" viene fatta un'ulteriore classificazione in base alla dimensione dei diametri in: sand, silt e clay. Altre caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, necessarie per la simulazione, quali i coefficienti di erodibilità rill ed interill e la tensione di taglio, sono calcolati dal modello in base alle caratteristiche tessiturali e al contenuto di materia organica.



Fig. 5: Suolo in area percorsa da incendio
Fig. 5: Soil in a burned area

E' stato elaborato un soil file sulla base del confronto tra le analisi effettuate e la carta della distribuzione dei terreni affioranti, che è stato utilizzato nelle varie simulazioni. Nel caso di terreno percorso da incendio, invece, sono stati apportati alcuni cambiamenti sulla base dei dati disponibili in letteratura. Giovannini et al. (1997), ad esempio, ritengono che sia possibile fare previsioni circa le variazioni indotte alle caratteristiche fisico-chimiche del suolo in funzione di differenti temperature della superficie. Il calore prodotto durante l'incendio è, infatti, in parte assorbito dal suolo provocando alcuni cambiamenti; per temperature comprese tra i 150° e i 550° C si ha una diminuzione della materia organica valutabile tra il 5 e il 55%. Il file conseguente è stato realizzato considerando un'area percorsa da un incendio di elevata intensità con una conseguente riduzione del 50% della quantità di materia organica presente nei primi 5 cm di suolo. Da rilievi effettuati in aree boscate recentemente bruciate (Fig. 5) si è infatti constatato che fino a tale profondità è evidente l'effetto del riscaldamento mentre, più in profondità, il suolo sembra conservare le sue caratteristiche naturali.

Management file

Particolare attenzione è stata rivolta alla costruzione dei files di gestione del suolo. Il modello WEPP utilizza per la definizione dei Management files due database:

- Initial Condition Database;
- Plant Database.

Il primo, costituito da 20 parametri, descrive le condizioni esistenti il primo giorno di simulazione. Si tratta di parametri generali che riguardano la densità di volume del suolo, la

copertura iniziale relativa a rill ed interrill, la scabrezza, la percentuale di copertura e il tempo intercorso dall'ultima lavorazione.

Il Plant database invece descrive, con 33 parametri, le principali caratteristiche della pianta: la sua capacità di crescita in situazioni normali e di stress, la distanza fra le piante e il diametro dello stelo, la percentuale e l'altezza della copertura, la produzione di biomassa, di residui, e la massa di radici vive e morte, allo scopo di simulare la crescita delle piante ed il loro impatto sui processi idrologici ed erosivi. Trattandosi di un modello a simulazione continua tutti i 53 parametri sono poi giornalmente rielaborati e riutilizzati dalle varie componenti del modello. In tal modo si otterranno, come dati output, oltre ad informazioni circa la produzione di sedimento, anche indicazioni circa i cambiamenti che la pianta ed il suolo hanno subito.

Nel Plant Database del WEPP non sono disponibili dati relativi alle specie arboree molto comuni nelle regioni meridionali. In particolare non è stato possibile individuare alcuna specie confrontabile con il Pino d'Aleppo e il ceduo quercino, entrambe presenti nell'area studiata. Per ottenere dati quanto più coerenti con la realtà è stata necessaria la costruzione dei files rappresentativi delle suddette specie. Data la consistente mole dei parametri richiesti dal modello è stata indispensabile un'analisi approfondita della struttura del modulo di gestione del suolo del WEPP e sono stati effettuati rilievi in campo (Figg. 6 e 7), oltre ad approfondimenti bibliografici, allo scopo di definire tutti i parametri richiesti.

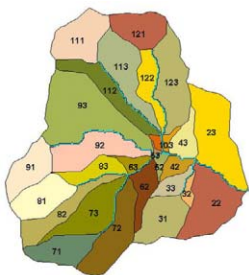
Allo scopo di valutare il peso che i suddetti parametri hanno nella simulazione del processo erosivo, è stata inoltre condotta un'analisi di sensitività.



Figg. 6-7: A sinistra un ceduo di querce due anni dopo un incendio, a destra un bosco di Pino d'Aleppo subito dopo l'incendio

Figg. 6-7: On the left a coppice two years after a fire; on the right a pine forest after a fire

RISULTATI OTTENUTI



Tramite l'interfaccia GEOWEPP, operante a scala di bacino, è stato possibile quantificare l'erosione, al netto della rideposizione, per tutti gli scenari considerati, sia per ciascun sottobacino che per tutta l'area.

Fig. 8: Suddivisione dell'area in sottobacini (GeoWepp)

Fig. 8: Watershed and subwatersheds divide (GeoWepp)

Partendo dal modello digitale del terreno elaborato sulla base delle curve di livello della Carta Tecnica Regionale del Molise (1:5000) del 1992, è stato definito il reticolo idrografico del bacino, a sua volta suddiviso in 28 sottobacini, con 11 canali, secondo lo schema classico usato dal WEPP.

Fissate infine le caratteristiche pedologiche, climatiche e di uso e gestione del suolo per ciascun sottobacino, tramite il GeoWepp sono stati definiti tutti i flowpath e successivamente calcolati il deflusso totale e la perdita di suolo.

In precedenti applicazioni del Wepp erano stati impiegati i dati disponibili adattando il management file presente nel database del modello. Nel presente lavoro, invece, sulla scorta delle indagini e dei rilievi effettuati, si è potuto utilizzare un insieme di dati più rispondente alle caratteristiche delle specie effettivamente presenti nell'area di interesse. Dall'applicazione del modello a scala di bacino si è pertanto ottenuto un valore di produzione di sedimento totale pari a 17174 m³/anno. Tale risultato, inferiore al dato sperimentale, è comparabile, in termini di approssimazione della stima, con quelli ottenuti tramite l'applicazione dei modelli empirici (Gentile et al., 1999; Romano et al., 2002). A tale proposito occorre però precisare che, non essendo disponibili dati climatici completi riferiti al periodo di interrimento delle briglie, nella presente simulazione sono stati utilizzati quelli relativi all'anno 2001, durante il quale la precipitazione annua è risultata pari a 545 mm, sensibilmente inferiore a quella media della stazione; a tale differenza, quindi, potrebbe essere in gran parte imputata la discrepanza osservata tra il dato fornito dall'applicazione del modello e quello sperimentale.

I valori ottenuti dall'applicazione del WEPP forniscono una suddivisione del bacino in aree omogenee a diversa produzione di sedimento. I risultati mostrano valori di erosione variabili in funzione delle caratteristiche morfologiche dei versanti e della copertura vegetale che caratterizza i sottobacini. I volumi minimi di perdita di suolo si registrano nelle aree coperte da bosco e, in particolare, il Pino d'Aleppo mostra una funzione protettiva maggiore rispetto al ceduo quercino.

Al fine di valutare l'affidabilità del modello nella previsione degli effetti di cambiamenti di uso del suolo sono stati introdotti degli scenari alternativi di simulazione. Nel primo caso è stata considerata l'ipotesi che l'intero bacino sia coperto da un ceduo quercino, corrispondente ad una situazione precedente qualsiasi intervento di disboscamento. Quindi è stata considerata l'ipotesi di una gestione attuale del bacino, consistente nel rimboschimento di alcune aree incolte mediante Pino d'Aleppo (Fig. 9).

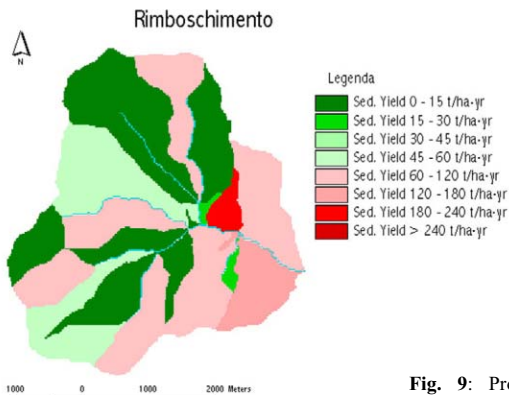


Fig. 9: Produzione di sedimento nell'ipotesi di un rimboschimento con Pino d'Aleppo

Fig. 9: Sediment yield in reforestation hypothesis

Successivamente è stato introdotto uno scenario nel quale le aree attualmente boscate sono percorse da incendio e il modello è applicato in tempi immediatamente successivi all'evento, allo scopo di valutarne gli effetti (fig. 10); nell'ultimo scenario, infine, il modello è applicato nella stessa situazione precedente a distanza di due anni dall'incendio, per valutare la capacità di recupero dell'azione protettiva della copertura forestale (Fig. 11).

In figura 12 sono riportati i risultati relativi alle diverse simulazioni effettuate in termini di produzione di sedimento.

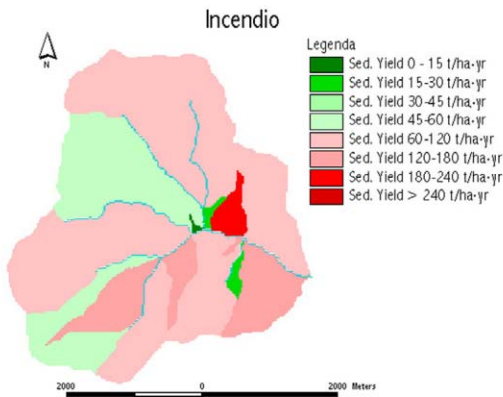


Fig. 10: Produzione di sedimento dopo un incendio

Fig. 10: Sediment yield after a fire

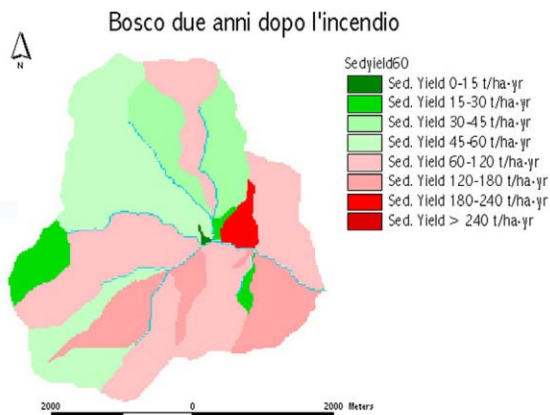


Fig. 11: Produzione di sedimento due anni dopo un incendio

Fig. 11: Sediment yield two years after a burn

Lo scenario relativo al bacino completamente boscato è, come prevedibile, quello nel quale si osserva la più bassa produzione di sedimento, mentre nel caso di rimboscamento di alcune delle aree incolte attualmente presenti si riscontra una riduzione di erosione a scala di bacino nell'ordine del 19%.

Nell'ipotesi di incendio delle aree boscate esistenti, infine, si osserva un incremento del volume totale di produzione di sedimento pari a circa il 27 %, con un recupero, due anni dopo, del 10 % della sua efficienza (Fig. 12).

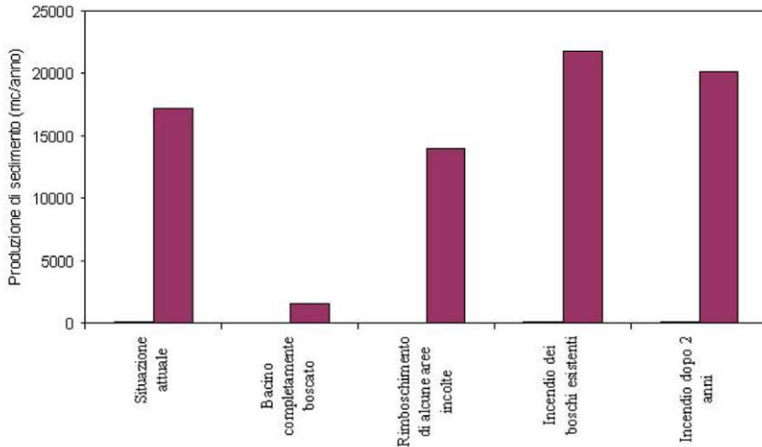


Fig. 12: Confronto tra i valori di produzione di sedimento per i cinque scenari simulati

Fig. 12: Comparison between sediment yield data for different land uses

CONCLUSIONI

A differenza dei modelli empirici il WEPP consente di valutare i processi di erosione del suolo prendendo in considerazione la variabilità temporale del fenomeno e ponendo l'attenzione sui numerosi aspetti che lo influenzano, tra cui la crescita delle piante, la produzione di residui, ecc...

I risultati ottenuti nel caso di studio mostrano una buona corrispondenza con i dati sperimentali disponibili. A fronte dei vantaggi legati all'impiego di tale modello, si riscontra la difficoltà di reperire una grande quantità di dati che, nel caso particolare, è stata ulteriormente ampliata per tener conto delle caratteristiche della vegetazione mediterranea, non direttamente disponibili nei database di riferimento. L'impiego della Geo-Spatial Interface (GeoWepp) inoltre, permette di unire alla completezza dei risultati una rappresentazione grafica di facile interpretazione, che può quindi essere considerato uno strumento utile alla pianificazione territoriale in relazione ad interventi che possano ridurre lo stato di degrado eventualmente in atto.

BIBLIOGRAFIA

- Arnold J.G., Weltz M.A., Alberts E.E., Flanagan D.C. (1995). "Plant growth component". *WEPP model documentation*, Chapter 8.
- Balboni A. (1968). "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia", *Servizio Geologico d'Italia*, Larino, Foglio 154.

- Bisantino T., Marziani E. (2002). “Applicazione del WEPP ad un bacino di indagine tramite una Geo-Spatial Interface”; *Quaderni di Idronomia montana*, Vol. 22.
- Elliot W.J., Hall D.E. (1997). “Water Erosion Prediction Project (WEPP) Forest Application”, *WEPP model documentation*.
- Foster G.R., Flanagan D.C., Nearing M.A., Lane L.J., Risse L.M., Finkner S.C.(1995) “Hillslope erosion component”, *WEPP model documentation*, Chapter 11.
- Gentile F., Puglisi S. Trisorio-Liuzzi G. (1995). “Verifica sperimentale di modelli empirici per la valutazione della perdita di suolo in un piccolo bacino molisano”, *Quaderni di Idronomia montana*, Vol. 19; pp.103-117.
- Gete Z., Winter T., Flanagan D. “BPCDG: Breakpoint Climate Data Generator for WEPP using observed standard weather data sets”, <http://purdue.edu>.
- Giovannini G., Vallejo R., Lucchesi S., Bautista S., Ciompi S., Llovet J. (2001). “Effect of land use and eventual fire on soil erodibility in dry Mediterranean conditions”, *Forest Ecology and Management*, Vol. 147; pp. 15-23.
- Jurgen G., Lawrence W. M. (1999). “Topaz overview”, *Agricultural Research Service*.
- Mercuri T., Rizzo V. (1980). “L’erosione del medio e basso bacino del F. Biferno (Molise)”, *Geologia Applicata e Idrogeologia*, Vol.XV; pp. 69-86.
- Pacifico G. (1982). “Studio di completamento della sistemazione idraulico-forestale di un sottobacino del fiume Biferno previa verifica sperimentale della formula Gavrilovic”, *Tesi di laurea non pubblicata*, relatore Prof. S. Puglisi, Facoltà di Agraria, Università di Bari.
- Romano G., Puglisi S., Gentile F. (2002). “Applicazione del modello di Gaspar e Apostol per la stima della produzione di sedimento in un piccolo bacino del Molise”, *Quaderni di Idronomia montana*, Vol. 22.
- Stott D.E., Alberts E.E., Weltz M.A. (1995). “Residue decomposition and management”, *WEPP model documentation*, Chapter 9.
- Wilcox B. P., Sbaa M., Blackburn W. H., Milligan J. H. (1992); “Runoff prediction from sagebrush rangelands using Water Erosion Prediction Project (WEPP) technology”, *Journal of range management*, Vol. 45; pp. 470-475.