

# Modelli GIS per la rappresentazione della vulnerabilità dei suoli nella Collina di Torino

D. Godone(\*); G. Garnero(\*); R. Chiabrando(\*); A. Caimi(\*\*); S. Stanchi(\*\*), E. Zanini(\*\*)

(\*) Università degli Studi di Torino, DEIAFA – Topografia e Costruzioni rurali, Via Leonardo da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO), IT [daniilo.godone@unito.it](mailto:daniilo.godone@unito.it)

(\*\*) Università degli Studi di Torino, DIVAPRA – Chimica Agraria, Via Leonardo da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO), IT [angelo.caimi@unito.it](mailto:angelo.caimi@unito.it)

## Riassunto

Nel progetto “Manutenzione del territorio” della Provincia di Torino, nell’area pilota della collina torinese è stato messo a punto un modello di analisi del rischio di perdita di suolo.

Tramite analisi fisico-chimiche del suolo, in relazione alle coperture forestali e non, e modellizzazione in ambiente GIS 3D è stata elaborata una carta di sintesi del rischio suddetto.

Tale supporto cartografico costituirà un valido elemento di partenza ai fini della pianificazione degli interventi di controllo e monitoraggio del territorio, orientati al coordinamento delle azioni di manutenzione del territorio.

## Abstract

In the “Land maintenance” project of the Turin’s Province, in the study area located in the hills near Turin, we have set up a soil loss model.

With physical and chemical soil analysis, in relation with land cover, and with 3D GIS modelling we have obtained a synthetical map illustrating the explained risk.

This cartographic support will be a useful starting point in land survey, aimed to land maintenance, planning.

## Introduzione

La crescente diminuzione di presidio sul territorio nelle aree montane e rurali, a causa del continuo spopolamento delle stesse, ha reso evidente una riduzione delle necessarie operazioni di monitoraggio e salvaguardia, un tempo strettamente legate alle attività agro-silvo-pastorali promosse dalle popolazioni residenti. Questa carenza espone uomini e manufatti ad un rischio idrogeologico sempre più inaccettabile.

Viste queste premesse, e a seguito del Convegno sulla Manutenzione del Territorio del marzo 2001, dal quale è risultata la poca efficacia dei costosi interventi di manutenzione straordinaria, dettati spesso dall’emergenza e non tenenti conto di una visione globale del problema e degli effetti nello spazio e nel tempo sulle altre componenti del sistema; con il D.P.G. 1655-268964/2001 del 18.12.2001 la Provincia di Torino ha dato il via al Progetto Strategico “Manutenzione del Territorio”.

La prima fase del progetto, svolta in ambito montano, ha previsto una serie di indagini col fine di:

- individuare gli ambiti caratterizzati da necessità di manutenzione;
- valutare la funzionalità ecologica ed idraulica dei corsi d’acqua;
- valutare l’instabilità dei versanti.

Si è così sviluppato un Modello Operativo, affiancato dalla formulazione di un “Manuale della Manutenzione”, che tenesse conto anche dei tipi di intervento e dei tempi e costi relativi ad essi.

Concetto cardine di tutto il lavoro è stato comunque quello di “manutenzione ordinaria” che sta ad indicare appunto un presidio sistematico e continuativo sul territorio, volto alla riduzione e alla prevenzione del rischio idrogeologico, minimizzando così la necessità di costose opere strutturali e rendendolo quindi più facilmente realizzabile dagli Enti Territoriali.

Gli ottimi risultati ottenuti in ambito montano (Chiabrando et al, 2003), durante il primo anno di progetto, hanno spinto l’Amministrazione Provinciale a promuovere lo studio di nuove aree pilota in ambito collinare e di pianura, in modo da ampliare le conoscenze e di conseguenza la capacità e incisività di intervento relativamente a casistiche differenti a quelle già modellizzate, le quali possono presentare dinamiche diverse.

Con queste finalità la Provincia di Torino ha quindi individuato una nuova area pilota nell’area compresa nel Patto territoriale del Po.

La ricerca ha quindi avuto come obiettivo lo studio e la valutazione di differenti aspetti delle dinamiche dei suoli e più precisamente la differente vulnerabilità di essi rispetto alle due tipologie principali di coperture riscontrate, ovvero i suoli forestali e i suoli agricoli e prato pascolivi. Attraverso un’apposita campagna di campionamenti sono stati prelevati campioni nel *topsoil* rappresentativi delle coperture riscontrate impiegati per analisi di laboratorio chimiche e fisiche, tra le quali il *WAS (Wet Aggregate Stability)*. Tale analisi ha permesso di valutare la stabilità degli aggregati nel suolo e quindi il rischio potenziale di perdita di suolo per erosione conseguente a fenomeni di *flash flood*. È stato, inoltre, messo in evidenza come i meccanismi di innesco di possibili instabilità possano essere collegati alle differenti tipologie di coperture, in grado di influenzare le caratteristiche chimico-fisiche del suolo stesso e di conseguenza anche la stabilità degli aggregati.

A partire dai dati ottenuti da questi campionamenti è stato possibile, attraverso operazioni in ambiente GIS 3D, elaborare dei modelli cartografici per rappresentare la maggiore o minore vulnerabilità dei suoli agli eventi perturbativi, utili a sviluppare un Modello Operativo per la Manutenzione Ordinaria.

### **Materiali e metodi**

L’area oggetto di studio rientra nei confini tracciati dal Patto Territoriale del Po (comprendente i comuni di Brandizzo, Castiglione Torinese, Cinzano, Gassino Torinese, Rivalba, S. Mauro Torinese, S. Raffaele Cimena, Sciolze e Settimo Torinese); facente parte dell’ampio complesso geologico che rientra sotto il nome di Collina di Torino, la superficie complessivamente presa in considerazione risulta pari a 6715 ettari (415797.99; 5003172.61 –4001159.79; 4992523.70 UTM-ED50).

Il territorio, da molti punti di vista, è tutt’altro che omogeneo, anche in funzione del dislivello complessivo di circa 470 m (intervallo di quota tra 200,29 m s.l.m. e 670,12 m s.l.m.) e l’elevata antropizzazione.

All’interno dell’area sono stati effettuati 82 prelievi nel *topsoil* ( 0-15 cm ) in siti rappresentativi delle differenti coperture vegetali in modo da coprire uniformemente la porzione territoriale oggetto di studio, secondo le indicazioni della carta relativa ai Piani Territoriali Forestali della Regione Piemonte.

Sui campioni di suolo prelevati è stato applicato il *WAS index (Wet Aggregate Stability)* secondo Yoder (1936), standardizzato in accordo con Pojasok (1990) e Dickson et al. (1991) e valutato in funzione del tempo di abrasione secondo il modello di Zanini et al. (1998).

Il modello proposto per l’analisi della struttura parte dall’assunto che il tasso di distruzione degli aggregati sia esclusivamente funzione della quantità netta di aggregati degradabili e che la disaggregazione segua una curva di saturazione esponenziale. La funzione che lo descrive tiene conto sia della perdita iniziale di aggregati per “esplosione” a saturazione in acqua, dovuta soprattutto all’aria intrappolata negli aggregati, sia della perdita esponenziale per abrasione, secondo la relazione:

$$y(x) = a + b(1 - e^{-x/c}) \quad [1]$$

dove  $y$  = perdita di aggregati %;  $x$  = tempo di agitazione in acqua;  $a$  = stima della perdita iniziale di aggregati % per esplosione alla saturazione;  $b$  = stima della perdita massima % di aggregati per abrasione;  $a+b$  = stima della perdita massima % potenziale di aggregati;  $c$  = parametro che controlla l'estensione temporale della funzione.

Poiché la funzione  $y(x)$  è asintotica e non ha quindi un range temporale finito, il fattore  $c$  è stato introdotto perché ai fini pratici si può pensare che la disaggregazione oltre a un certo punto diventi irrilevante. Nel nostro caso tale valore è stato fissato a  $x_{\max} = 3c$ , tempo in cui  $y(x_{\max}) = a + 0.95b$ . Di conseguenza il valore di  $c$  che limita la validità temporale della funzione è:

$$c = 1/3 x_{\max} \quad [2]$$

La derivata prima  $y'(x)$  esprime la velocità di disaggregazione:

$$y'(x) = (b/c)e^{-x/c} \quad [3]$$

e al momento 0 esprime quindi la velocità iniziale di disaggregazione indipendente dalla perdita per "esplosione" degli aggregati. Il valore della funzione inversa

$$x(y) = -c \lg[1 - (y-a)/b] \quad [4]$$

esprime quindi il tempo necessario per raggiungere una determinata perdita  $y$ . Nel nostro caso è stato calcolato il tempo di dimezzamento degli aggregati ( $x_{50}$ ).

Per l'adattamento dei dati del WAS index al modello esponenziale è stata utilizzata la regressione non lineare (algoritmo di Marquart).

Per il confronto dei parametri delle cinetiche e delle variabili tra i vari siti di campionamento i dati sono stati standardizzati:

$$Z \text{ score} = (\text{valore} - \text{media dei valori}) / \text{deviazione standard} \quad [5]$$

Il confronto tra le cinetiche di disaggregazione è stato basato sia sull'interpretazione dei parametri cinetici, sia sullo *scaling* delle curve.

Ci si è valse in questo caso di un artificio matematico che consente di riferire le  $r$  cinetiche campionarie ad una curva scalare o curva media tendenziale  $y^*(t)$  derivata dall'equazione del modello  $y(t)$ , applicando ad ogni singola cinetica un fattore di scala  $\lambda_r$  definito dalla relazione:

$$\lambda_r y_r(t) = y^*(t) \quad [6]$$

dove  $y^*(t)$  soddisfa la seguente condizione:

$$1 / y^*(t) = \sum_{r=1}^N [1 / y_r(t)] \quad [7]$$

con  $N$  = numero dei casi.

Il fattore di scala  $\lambda_r$  è ottenuto minimizzando la somma dei quadrati degli scarti

$$SS = \sum_{t,r} [\lambda_r y_r(t) - y^*(t)]^2 \quad [8]$$

sotto la condizione che:

$$1/N \sum \lambda_r = 1 \quad [9]$$

Schematicamente  $\lambda_r$  è il fattore di traslazione delle singole curve verso un'unica curva cui tutte mediamente tendono, ed il suo valore è un indice cinetico unico della stabilità degli aggregati che assume valori minori di 1 per i casi più instabili e maggiori di 1 per quelli più stabili.

Il campionamento fornisce un'informazione molto dettagliata delle variabili oggetto di studio ma i dati sono circoscritti alla localizzazione del sito di campionamento stesso. Ai fini della pianificazione territoriale, è invece necessario estendere l'informazione ricavata dai campionamenti alla porzione territoriale in analisi tramite metodologie, adeguatamente rappresentative sia dal punto di vista tematico che dal punto di vista statistico, di elaborazione in grado di estendere l'informazione all'intero territorio.

Nel caso in esame la metodologia di interpolazione utilizzata è l'*Inverse Distance Weighing* (IDW), per convenzione del progetto si è inoltre proceduto alla riclassificazione in 5 classi di valori.

L' IDW (Tomeczak M., 2003) è un interpolatore bi-dimensionale anisotropico, è di semplice impiego e completamente automatizzato, inoltre è in grado di elaborare i dati anche a partire da *dataset* ridotti.

L'interpolazione avviene per mezzo di un algoritmo che opera a partire dall'ipotesi che il valore della proprietà misurata in un dato punto abbia un'influenza, decrescente con la distanza, sull'area circostante. Questo si traduce nell'assegnazione di un peso maggiore alle celle in prossimità di quella con valore noto e un peso minore a quelle più distanti:

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{(h_{ij} + \delta)^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(h_{ij} + \delta)^\beta}} \quad [10]$$

con:

- $Z_j$  = valore della variabile in un punto non campionato
- $Z_i$  = valori misurati del parametro
- $\beta$  = peso assegnato
- $\delta$  = parametro di *smoothing*
- $h_{ij}$  = distanza euclidea tra punti noti e incogniti

La distanza euclidea si calcola con:

$$h_{ij} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad [11]$$

dove:

- $\Delta x$  = distanza orizzontale tra il punto (interpolato)  $j$  e il punto (campionato)  $i$
- $\Delta y$  = distanza verticale tra il punto (interpolato)  $j$  e il punto (campionato)  $i$

Per effettuare un'analisi completa dei fattori predisponenti alla perdita di suolo è necessario tener conto di un altro fattore molto importante, che influenza in maniera determinante le dinamiche di erosione di un territorio, ovvero la sua morfologia.

Per questa fase del lavoro è stato elaborato un modello digitale del terreno o D.T.M. relativo all'area di studio in formato *raster* con celle di 25m di lato, sufficienti a far apprezzare la variabilità della topografia collinare. Utilizzando il fattore LS (*Slope-Length*) relativo alle equazioni USLE/RUSLE che esprime nel complesso l'effetto della topografia sull'erosione, si applica al D.T.M. per mezzo di funzioni di *Map Algebra* la formula sviluppata da (Mitasova et.al. 1996 ):

$$LS_{(r)} = (m + 1) \cdot \left[ \frac{A_{(r)}}{a_0} \right] \cdot m \cdot \left[ \frac{\sin b_{(r)}}{b_0} \right] \cdot n \quad [12]$$

Dove:

- $A[r]$  = lunghezza e quantità di deflusso calcolato per singola cella.
- $b$  = pendenza
- “ $m$ ” e “ $n$ ” = parametri empirici
- $a_0$  = 22,1 m ovvero la lunghezza della parcella standard della USLE
- $b_0$  = 9% ovvero la pendenza della parcella standard della USLE

Si ottiene pertanto un *layer* dei fattori LS riclassificato in 5 classi con la medesima procedura utilizzata per la carta dei valori di  $\lambda$ .

I due *layer* ottenuti sono stati aggregati, tramite *map algebra*, in un *raster* di sintesi rappresentante il rischio di perdita di suolo, per facilitarne la lettura è stato successivamente sovrapposto alla Carta Tecnica Regionale del Piemonte.

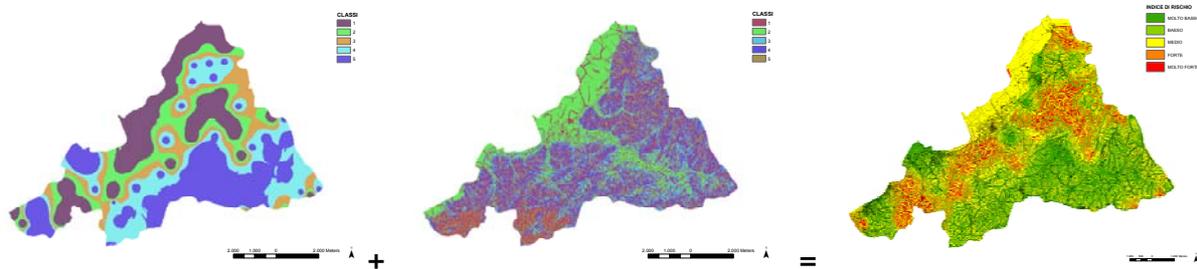


Figura 1 - Map algebra [ $\lambda$  (sx) + LS (centro)] per l'elaborazione della carta del rischio di perdita di suolo (dx).

## Risultati e discussione

La carta, così elaborata, reca in legenda 5 classi di rischio (o vulnerabilità dei suoli) associate ad altrettanti colori. Le classi di rischio sono intervalli di valori rappresentanti gradi di criticità crescente, denominati secondo una scala che va da “ Molto basso” (associato al colore verde) a “ Molto forte” (associato al colore rosso). Un dato ulteriore fornito è quello della percentuale di superficie interessata dalle diverse categorie di rischio sulla superficie totale, utile a determinare effettivamente “quanto” l'intera area sia vulnerabile.

Si può notare che, le zone soggette ad un rischio più elevato coincidono quasi sempre con versanti e zone ad acclività elevata, mentre le aree pianeggianti o di impluvio presentano indici di rischio minore. E' importante sottolineare come in alcuni casi l'incidenza del rischio sia differente anche confrontando aree con morfologia simile (ad esempio la parte meridionale rispetto alla zona centrale della zona di studio); questo perché la carta tiene anche conto della variabilità spaziale dei valori di Lambda e quindi della differente suscettibilità di suoli differenti alla perdita di struttura in seguito a precipitazioni meteoriche.

## Conclusioni

Il lavoro ha dato i risultati sperati grazie all'impegno mirato a soddisfare non solo i criteri di rigosità e correttezza statistica e cartografica, ma anche di leggibilità e di sintesi dei dati che si volevano trasmettere.

Essendo il probabile destinatario di una simile cartografia un tecnico, legato ad un Ente Locale, con competenze relative alla manutenzione territoriale, un requisito fondamentale di questa deve essere appunto la qualità di riuscire a trasmettere con immediatezza e in maniera più chiara ed univoca

possibile il messaggio voluto. A questo fine è stata adottata la classificazione in 5 classi di rischio (convenzionalmente usata nell'ambito del progetto strategico "Manutenzione del Territorio") rendendo questa cartografia uno strumento utile per pianificare sopralluoghi in campo, azione fondamentale e necessaria al fine di appurare puntualmente l'effettivo stato di fatto e programmare così eventuali interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Questo lavoro non si pone certamente l'obiettivo di identificare con precisione il tipo e l'entità di possibili dissesti nell'area in questione, ma vuole invece essere un aiuto sintetico ed immediatamente comprensibile, un imprescindibile punto di partenza che permetta di focalizzare e pianificare le opportune e più puntuali azioni di monitoraggio e di salvaguardia, affinché, attraverso esse, si riesca a promuovere una conoscenza ancor più approfondita e puntuale delle possibili evoluzioni e dinamiche del sistema.

### **Bibliografia**

Tomeczak M., (2003) "Spatial Interpolation and its Uncertainty using Automated Anisotropic Inverse Distance Weighting (IDW) – Cross-validation/Jackknife Approach", *Mapping radioactivity in environment – Spatial Interpolation Comparison 97* a cura di G. Dubois, J. Malczewski, M. de Court; European Commission – Joint Research Centre: 51-62

Chiabrando R., Garnero G., Godone D., Caimi A., Stanchi S., Zanini E., Aigotti D., Calafiore M., Rossi C., Giannini R., Quaglia M. (2003) "Manutenzione ordinaria del territorio nella Provincia di Torino: ruolo del SIT nelle metodologie di studio", da atti del Convegno Nazionale Trento 28 – 3/4/2003 in *Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia* 117-119: 489-498.

Mitasova H., Brown W.M., (2002). *Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial Geographic Modeling Systems Lab*, University of Illinois at Urbana-Champaign (<http://mpa.itc.it/grassbook/>).

Dickson J.B., Rasiah V., Groenveld P.H., (1991) "Comparison of four prewetting techniques in wet aggregate stability determination" *Can. J. Soil Sci.* 71:799-801.

Pojasok T., Kay B.D, (1990). "Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural stability of moist aggregates" *Can. J. Soil Sci.* 41:67-72.

Zanini E., Bonifacio E., Albertson J.D., Nielsen D.R (1998): *Topsoil aggregate breakdown under water saturated conditions*. *Soil Sci*, 163, 288-298.

Regione Piemonte, Ipla s.p.a. (1997): *I Tipi Forestali del Piemonte*, centro stampa Regione Piemonte, Torino

Yoder R. E. (1936) "A direct method of aggregate analysis and a study of the physical nature of soil erosion losses" *Agron. J.* 28: 237-351.