

## **Elaborazione di una mappa di suscettibilità delle aree in frana a scala di bacino**

C. Mirabella<sup>(\*)</sup>, E. Arnone<sup>(\*)</sup>, F. Lo Conti<sup>(\*)</sup>, L.V. Noto<sup>(\*)</sup>, G. La Loggia<sup>(\*)</sup>

(\*) Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali; Università di Palermo, viale delle Scienze, 90128 PALERMO. tel. 091-6657711 – fax 091-6657749.  
e-mail: claudiamirabella@alice.it, amone@idra.unipa.it, loconti@idra.unipa.it, valerio@idra.unipa.it, glal@idra.unipa.it

### **SOMMARIO**

*Le frane costituiscono uno tra i più pericolosi e dannosi eventi naturali. Negli ultimi decenni si sono succeduti numerosi eventi catastrofici che hanno provocato, oltre a danni ingenti, anche numerosi morti e dispersi. Per questo motivo cresce sempre di più l'esigenza di fornire ai pianificatori e gestori del territorio strumenti di supporto per la valutazione del pericolo da frana.*

*In questo contesto, negli ultimi anni sono stati sviluppati nuovi approcci per la valutazione della propensione di un'area a produrre scivolamenti, basandosi sulla correlazione tra i fattori innescanti e le occorrenze di scivolamenti.*

*Nel presente lavoro viene presentata una mappa di suscettibilità creata attraverso un'analisi di tipo statistico basato sulla regressione logistica e sulle fondamentali tecniche di analisi spaziale sviluppate in ambiente GIS. Il metodo della regressione logistica è un approccio di tipo multivariato che permette di correlare l'occorrenza o non-occorrenza di un evento franoso con variabili che possono essere continue, quali la distanza da strade, distanza dal reticolo e pendenza, o semplici categorie, come la litologia, copertura del suolo o classi delle variabili prima citate.*

*L'area presa in esame è un bacino localizzato nella parte nord-orientale della Sicilia, di cui si dispone di un dettagliato dataset di frane censite. I fattori individuati dal modello statistico come i più correlati all'insacco delle frane sono la pendenza, l'uso-suolo, la geologia, la pedologia e la precipitazione. Sulla base di questi fattori più correlati è stata creata la mappa di suscettività ricorrendo alle classiche funzione di map-algebra.*

### **ABSTRACT**

*Landslides phenomena represent a major geological hazard causing serious threat to both lives and property. Over the last few years the need to provide consistent tools and support to decision-makers and land managers have led to significant progress in the analysis and understanding of the occurrence of landslides. Rainfall-induced are one of the most common type of landslides. Many methods based on landslides susceptibility and hazard assessment have been developed to analyze this type of landslides. In this work, a procedure to create a susceptibility map is presented, based on the logistic regression method. Within this approach, the correlation between the landslides occurrences and the triggering factors is evaluated with the support of tools for the spatial analysis. The study area is a basin located in the north-east of Sicily.*

## 1 INTRODUZIONE

La ricerca della pericolosità associata alle frane è strettamente connessa ad un'analisi di previsione spaziale, detta suscettibilità di frana.

La suscettibilità di frana può essere definita come la propensione di una determinata area all'innescarsi di movimenti di massa, in relazione alle caratteristiche intrinseche dei terreni di copertura e del substrato, delle caratteristiche morfologiche ed alla maggiore esposizione nei confronti degli agenti morfogenetici. Esso, dunque, è funzione del grado di stabilità intrinseca del versante combinato con la presenza di alcuni fattori capaci di innescare il fenomeno franoso (fattori predisponenti) (Glade et al., 2005).

I fattori predisponenti possono essere fattori geologici, idrogeologici, geologico-strutturali e geomorfologici, quali ad esempio forma e dimensioni dei corpi geologici, precipitazione, natura, struttura e tessitura della copertura e del substrato, faglie, pendenza dei versanti. Le cause strutturali costituiscono delle variabili *quasi-statiche*, cioè interessate da variazioni temporali contenute, e incidono principalmente sulla distribuzione spaziale dei movimenti franosi e sulla suscettibilità all'instabilità dei versanti (Wu, Sidle, 1995).

Tuttavia, è da precisare che la dinamica evolutiva del fenomeno franoso non può essere valutato aprioristicamente, neanche attraverso sofisticati modelli di analisi territoriale, in quanto dipende strettamente dalla tipologia del fenomeno e dal modello fisico e geotecnico del terreno, che è possibile definire compiutamente solo attraverso specifiche indagini geognostiche ed approfondimenti sul campo e che per i detti motivi esula dal presente studio.

Le informazioni sulla suscettibilità di frana di una certa area sono rappresentate solitamente per mezzo di carte, in cui vengono discretizzati, secondo classi diverse, i differenti livelli di probabilità di occorrenza delle frane. Queste ultime rappresentano l'elaborato di sintesi più utile ai fini della pianificazione territoriale, in quanto, oltre a contenere informazioni circa l'attuale stato di dissesto di un'area, rappresenta, in senso probabilistico, la tendenza di un territorio al dissesto.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati vari metodi per valutare la suscettibilità, basati su approcci sia di tipo deterministico che statistico. Tutti i metodi si basano su poche assunzioni fondamentali secondo cui: la franosità è controllata da leggi meccaniche che possono essere determinate in modo empirico, statistico o deterministico; i fattori che causano le frane possono essere riconosciuti, mappati e utilizzati nella preparazione di modelli di pericolosità; il passato è la chiave per comprendere il presente e prevedere il futuro; ciò implica che le frane avverranno in futuro a causa degli stessi fattori che ne hanno controllato l'innescarsi in passato. Su questo ultimo concetto si basano soprattutto i metodi statistici, che offrono anche il vantaggio di ridurre il tasso di soggettività che condiziona altri metodi. Per tutte le metodologie, comunque, gli inventari delle frane rivestono un ruolo fondamentale nella sviluppo e nella verifica del modello stesso.

I metodi statistici, fornendo delle approssimazioni più oggettive, si pongono oggi come i procedimenti con i migliori risultati nella previsione spaziale dei fenomeni franosi in zone ampie e diversificate, anche in virtù della maggior riproducibilità dei risultati ottenuti e della chiarezza delle regole di decisione utilizzate (Carrara, 1983; Carrara et al., 1995; Guzzetti et al., 1999).

L'approccio utilizzato nel presente lavoro consiste in un'analisi di tipo multivariata, in cui tutti i fattori di instabilità vengono analizzati per mezzo di tecniche di regressione multipla (Bernknopf et al., 1988; Jade, Sarkar, 1993; Wiczorek et al., 1996) e vengono incrociati con la carta inventario delle frane, stabilendo delle correlazioni per le aree stabili e per quelle instabili con analisi discriminanti.

L'area presa in esame è un bacino localizzato a nord-est della Sicilia per il quale si dispongono le distribuzioni spaziali di molti fattori predisponenti (pendenza, esposizione, distanza dalle strade, litologia, litologia, precipitazioni), nonché di un dettagliato inventario delle frane verificatesi negli ultimi anni. In una prima fase dell'analisi il modello individuerà i fattori più correlati all'innescarsi

delle frane tra tutti in possibili fattori presi in considerazione. Sulla base dei soli fattori individuati, verrà valutata la probabilità di occorrenza della frana e dunque creata la mappa di suscettività.

## 2 METODOLOGIA: LA REGRESSIONE LOGISTICA

Tra gli approcci di analisi multivariata, il metodo della regressione logistica (Guzzetti et al., 1999; Dai, Lee, 2002; Chen, Wang, 2007) è quello che più si addice al caso in cui la variabile dipendente sia una variabile dicotomica, ovvero che assuma solo valori binari. Inoltre, la regressione logistica permette anche di mettere in correlazione la suddetta variabile dicotomica con variabili che possono essere sia di tipo continuo (pendenza, distanza dalle strade, etc.) sia di tipo discreto o categorico (usosuolo, litologia, geologia, etc).

Nel caso in esame la variabile dipendente ( $Y$ ) è rappresentata dall'assenza o presenza di frana. La variabile, dunque, può assumere solo valori 0 (assenza) o 1 (presenza).

La probabilità condizionata che la frana occorra è data da  $P[Y = 1 | X_i] = E[Y | X_i]$  dove il vettore  $X$  rappresenta il vettore dei diversi fattori predisponenti.

Tale probabilità, nel modello di regressione logistica, viene espressa con la seguente formulazione:

$$P[Y = 1 | X_i] = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p)}} = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad [1]$$

Effettuando la trasformazione *logit* della regressione multipla si ottiene quanto segue:

$$\text{logit}[Y] = z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad [2]$$

dove  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ , sono i coefficienti delle variabili  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , ovvero i pesi di ciascun fattore predisponente. Questa semplicissima relazione di tipo lineare, consente di effettuare delle valutazioni circa il peso che ciascun fattore ha sulla probabilità di occorrenza della frana. Ovvero, se il parametro  $\beta_i$  è positivo vuol dire che un incremento della variabile esplicativa  $X_i$  induce un incremento nella probabilità che la variabile dipendente  $Y$  assuma valore 1 e dunque che occorra.

I coefficienti delle variabili rappresentano le incognite del modello e vengono stimati massimizzando la funzione di log-verosimiglianza  $L(\beta_i) = \log[l(\beta_i)]$ , dove la funzione verosimiglianza è data dalla seguente:

$$l = \prod_{i=1}^n P[\bar{X}_i]^{Y_i} (1 - P[\bar{X}_i])^{-Y_i} \quad [3]$$

Una volta stimati i parametri, sarà possibile valutare per tutto il dominio di interesse la funzione  $P[Y = 1 | X_i] = E[Y | X_i]$ , ovvero la funzione probabilità che la frana occorra.

## 3 APPLICAZIONE AL BACINO DEL TIMETO

Una prima analisi della suscettibilità di frana è stata condotta sul bacino del Timeto, localizzato nell'area nord-orientale della Sicilia, nella provincia di Messina (Fig.1). La scelta dell'area di studio è stata effettuata in relazione alla disponibilità dei dati e alla percentuale di area in frana. Tra le province siciliane, infatti, quella di Messina si pone al primo posto per numero di frane e per area totale in frana (Rapporto sulle frane in Italia, APAT 2007).

Il bacino idrografico del torrente Timeto, è caratterizzato da un'altitudine massima di 1350 m s.l.m. e da una superficie di circa 95,89 Km<sup>2</sup> che si estende dallo spartiacque principale dei Monti Peloritani, che separa il versante tirrenico da quello ionico, fino alla costa tirrenica.

Dal punto di vista morfologico il bacino in esame ricade nel territorio caratterizzato dal sistema montuoso dei Monti Peloritani, il quale presenta una morfologia decisamente aspra con strette valli, versanti scoscesi e accidentati con notevoli pendenze, a cui si alternano a rilievi che raggiungono quote superiori anche ai 1300 metri s.l.m.

Da un punto di vista geo-strutturale, l'intensa attività neotettonica assieme alle intense sollecitazioni subite nel corso delle varie fasi tettoniche dai terreni, e il rapido sollevamento dell'area peloritana, hanno determinato il rapido approfondimento del reticolo idrografico con conseguente disequilibrio dei versanti. Dal punto di vista idrologico tutti i corsi d'acqua presentano un regime marcatamente torrentizio, con deflussi superficiali, nei periodi asciutti, di modesta entità o del tutto assenti e deflussi notevoli con piene tumultuose in concomitanza di eventi piovosi eccezionali, frequenti nei mesi autunnali e invernali.

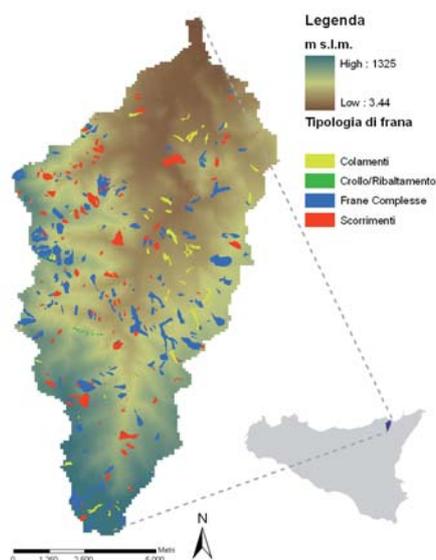


Figura 1 - Localizzazione area in studio e individuazione dei tipi di frana

La procedura di analisi delle aree suscettibili a frane prevede, anzitutto, l'acquisizione delle distribuzioni spaziali dei dissesti franosi e dei fattori predisponenti individuati secondo una prima analisi soggettiva. Tale acquisizione e la gestione dei dati sono state effettuate mediante l'ausilio di ArcGIS della ESRI.

L'informazione sui dissesti è stata ricavata dalla *Carta Inventario delle Frane*, prodotta dall'Assessorato Territorio Ambiente della Regione Sicilia; in particolare, dalla carta sono state estratte 4 tipologie di frane: colamenti, crolli/ribaltamenti, scorrimenti e frane complesse (Fig.1); tale strato informativo, costituente nella regressione logistica la variabile dipendente, è stato prima rasterizzato con una dimensione di maglia di 100m, e poi riclassificato attribuendo valore 1 ai pixel in frana e valore 0 ai pixel non in frana.

I fattori predisponenti sono stati scelti in relazione alla disponibilità di dati nell'area in studio e ad un giudizio soggettivo sui fattori che influenzano l'innesco delle frane e sono riassunti in Figura 2.

FATTORI PREDISPONENTI			
Variabili continue	Pendenza	Variabili categoriali	Uso suolo
	Esposizione		Pedologia
	Parametro idrologico <i>a</i>		Litologia
	Parametro idrologico <i>n</i>		Geologia
	Distanza dal reticolo idrografico		
	Distanza dalla rete viaria		

Figura 2 – Fattori predisponenti scelti.

La pendenza e l'esposizione sono state derivate a partire dal DEM a 100m dell'area in esame, estratto a sua volta dal DEM dell'intera Sicilia.

I parametri idrologici *a* ed *n* sono i parametri della *Curva di Probabilità Pluviometrica*, espressa come  $h = ad^n$ , e consentono di tenere conto dell'effetto delle precipitazioni intense. I parametri sono stati estratti dalle relative distribuzioni stimate per l'intera Sicilia (Lo Conti, Noto, Cannarozzo, & La Loggia, 2007).

Lo strato di uso del suolo è stata derivata all'esame della *Carta Corine Land Cover* ( Regione Sicilia, Ass. Agricoltura e Foreste); tra gli usi, dominano le colture agricole e arboree, seguite dalle aree destinate a pascolo e seminativo. Dagli strati litologico e geologico emergono per lo più complessi di tipo argilloso arenaceo. Lo strato geologico è stato ricavato a partire dalla Carta Geologica a scala 1:50000 della Provincia di Messina, Assessorato Ambiente e Territorio

Lo strato relativo alle precipitazioni rappresenta valori medi annuali ed è stato ottenuto per mezzo di interpolazione di dati relativi alle stazioni pluviometriche presenti nel bacino in esame.

Ciascun strato informativo, dunque, rappresenta un fattore che condiziona la probabilità di occorrenza della frana, il cui peso è dato dal relativo coefficiente della regressione logistica stimato attraverso il software statistico *R*, dopo aver preparato opportunamente l'intero dataset di input.

Il software statistico permette di gestire le variabili indipendenti in modo diverso in relazione alla tipologia: continua o discreta; nel caso delle variabili continue viene determinato un coefficiente per ciascun fattore; nel caso, invece, delle variabili categoriali vengono determinati per ogni fattore tanti coefficienti quante sono le classi.

In una prima fase di analisi sono stati individuati i fattori più correlati alla variabile dipendente, secondo il livello di significatività restituito dalla regressione; quindi, sono stati stimati i coefficienti sulla base solamente dei fattori più correlati, riassunti in figura 4a. Avendo individuato i coefficienti relativi alle variabili indipendenti si è proceduto per mezzo della trasformazione logistica alla determinazione della probabilità di accadimento frana pixel per pixel e quindi alla definizione della mappa di suscettibilità relativa al bacino del Timeto (Fig.4b).

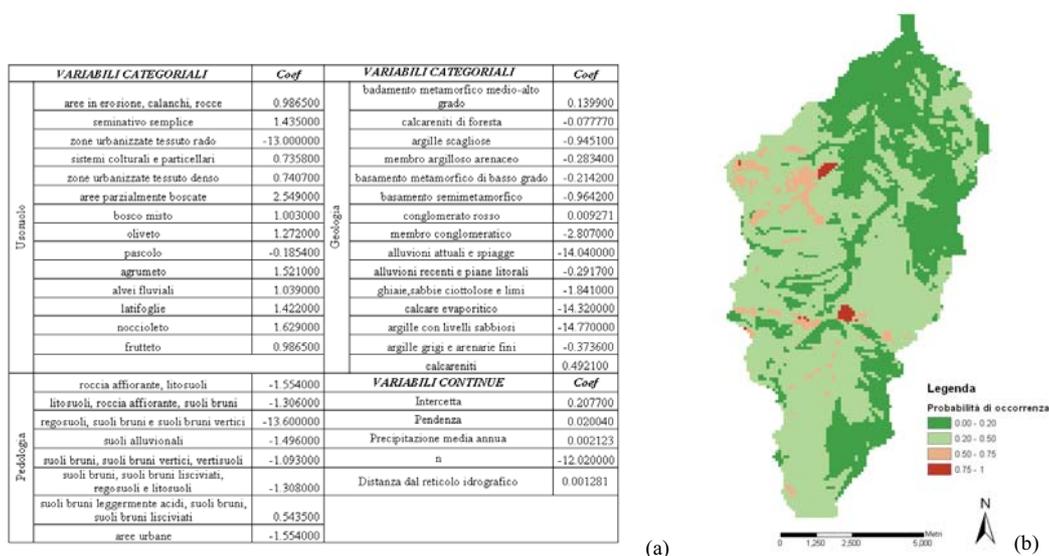


Figura 4 - Coefficienti della regressione per i fattori più correlati (a) e mappa delle occorrenze di probabilità (b).

#### 4 CONCLUSIONI

La valutazione delle aree propense a produrre fenomeni di scivolamento attraverso l'uso di metodi statistici rappresenta oggi uno degli approcci più utilizzati nell'analisi di rischio da frana. Esso, infatti, consente di effettuare delle valutazioni su circa 'dove' sia più probabile che una frana

occorra sulla base della correlazione tra dei fattori predisponenti appositamente scelti e l'occorrenza del fenomeno nel passato.

Il metodo scelto nel presente lavoro è stato quello della regressione logistica, in grado di valutare quali siano i fattori più correlati e dunque maggiormente 'responsabili' dello scivolamento e quindi calcolare, in seconda analisi, la probabilità sulla base solamente di questi fattori. L'applicazione del metodo al bacino del Timeto ha mostrato la bontà del metodo che fornito risultati abbastanza consistenti e verosimili. Effettuando un *cutoff* della probabilità di occorrenza pari a 0,5, risulta che circa l'80% del territorio è stato classificato in maniera corretta, ovvero che per l'80% dei casi là dove non si è verificato nessun evento la probabilità è inferiore a 0,5; è superiore, invece, dove si sono verificati eventi. Le zone maggiormente a rischio e più predisposte a scivolamenti sono risultati essere le zone più pendenti.

La metodologia si presta soprattutto ad un'analisi a scala più ampia che dunque costituisce uno degli obiettivi futuri. Inoltre, l'analisi necessita di una approfondita conoscenza del territorio da un punto di vista geologico, idrologico, geotecnico e soprattutto della disponibilità di inventari di frane avvenute.

#### BIBLIOGRAFIA

- Bernknopf, R., Campbell, R., Brookshire, D., and Shapiro, C. (1988), "A probabilistic approach to landslide hazard mapping in Cincinnati, Ohio, with applications for economic evaluation. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 25(1), 39-56.
- Carrara, A. (1983), "A multivariate model for landslide hazard evaluation". *Mathematical Geology*, 15, 103-426.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. (1995), "GIS technology in mapping landslide hazard, The Netherlands", *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Ac. Pub., Dordrecht.
- Chen, H. and Wang, J. (2007), "Landslide hazard mapping using logistic regression model in Mackenzie Valley, Canada". *Natural Hazards*, 42(75-89).
- Dai, F. C. and Lee, C. F. (2002), "Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS". *Lantau Island, Hong Kong. Civil Engineering*, 42, 213-228.
- Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J. (2005), "Landslide hazard and Risk". *John Wiley, Chichester*, 802 p.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P. (1999), "Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy". *Geomorphology*.
- Jade, S. and Sarkar, S. (1993), "A statistical model for slope instability classification". *Engineering Geology*, 36, 91-98.
- Lo Conti F, Noto L, Cannarozzo M, and La Loggia G. (2007), "Regional frequency analysis of extreme precipitation in Sicily, Italy". In: *2nd International Workshop on Hydrological Extremes: "Variability in space and time of extreme rainfalls, floods and droughts. Cosenza*.
- Wieczorek, G., Morgan, B., Campbell, R., Orndorff, R., Burton, W., Southworth, C. (1996), "Preliminary inventory of debris-flow and flooding effects of the June 27, 1995, storm in Madison County, Virginia, showing time sequence of position of storm-cells center".
- Wu, W. and Sidle, R. (1995), "A distributed slope stability model for steep forested basins". *Water Resources Research*, 31, 2097-2110.