

## **Analisi comparativa di modelli euristici e statistici spaziali nella derivazione della suscettibilità da colate rapide di fango e detrito.**

Antonio Francipane (\*), Manuela Iotti (\*), Francesco Lo Conti (\*), Elisa Arnone (\*),  
Claudio Puglisi (\*\*), Leonardo Valerio Noto (\*), Goffredo La Loggia (\*)

(\*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aeronautico, dei Materiali, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, Ed. 8, 90128 Palermo, tel, 091-23896519, e-mail, antonio.francipane@unipa.it

(\*\*) Dipartimento di Prevenzione Rischi Naturali e Mitigazione Effetti, ENEA, Via Anguillarese 301, 00123 Roma, tel. 06-30486421, fax, 0630484872, e-mail, claudio.puglisi@enea.it

### **Sommario**

La suscettibilità da frana può essere definita come la propensione di una determinata area all'innescò 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 climatici.

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.

Scopo del presente lavoro è quello di valutare la suscettibilità da frana utilizzando la classe dei modelli lineari generalizzati, a cui appartiene anche la regressione logistica, insieme alle fondamentali tecniche di analisi spaziale sviluppate in ambiente GIS, per effettuare un'analisi comparativa dei risultati ottenuti con quelli ricavati utilizzando un approccio di tipo euristico. Lo studio è condotto sui bacini idrografici Briga e Giampileri, localizzati all'interno del Comune di Messina (Sicilia).

### **Abstract**

*Landslide susceptibility can be defined as the inclination of a given area to soil movement, in relation to the intrinsic characteristics of the soil and its coverage, the morphology and the exposure to climatic factors.*

*Over the years many deterministic and stochastic methods have been developed to assess the landslide susceptibility. All of these methods are based on few concepts assuming that landslide movements are controlled by mechanics laws that can be empirically, statistically, or deterministically defined.*

*The objective of this study is the assessment of the landslide susceptibility by means of generalized linear models, which include the logistic regression as well, and GIS spatial analysis techniques, to compare these results with those obtained with an heuristic approach. The study area is constituted by the Briga and the Giampileri basins and is located in the city area of Messina (Sicily).*

### **Introduzione**

L'Italia, per la sua configurazione geologica e la sua posizione geografica, è soggetta, in molte aree, al rischio di dissesto idraulico e morfologico. Il diverso combinarsi di fattori geologici, morfologici e climatici dà luogo ad un'ampia varietà di fenomeni di dissesto che differiscono per tipologia, cinematico, caratteri evolutivi e dimensioni delle aree coinvolte. Tra tali fenomeni quelli franosi possono assumere dimensioni più rilevanti di qualsiasi altro tipo di disastro naturale, insieme a terremoti, uragani ed alluvioni. Per una previsione efficace degli eventi, e per consentire una

corretta pianificazione del territorio in grado di mitigarne gli effetti, la valutazione del rischio è diventata uno strumento essenziale di supporto alle decisioni. Per poter individuare le aree a rischio frana occorre determinarne la suscettibilità, ovvero la propensione di una determinata area all'innesco 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. I fattori predisponenti l'evento franoso possono essere svariati: caratteristiche geomorfologiche quali geologia, distanza dalle faglie, esposizione, pendenza e curvatura, caratteristiche idrologiche quali la distanza dal reticolo idrografico, pluviometriche quali le piogge, l'uso del suolo, la pedologia e le modificazioni introdotte da attività antropica.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati vari metodi per la valutazione della suscettibilità, basati su approcci sia di tipo deterministico che statistico (Ayalew et al., 2004; Abbattista et al., 2005; Bartolomei et al., 2006; Puglisi et al., 2007; Falconi et al., 2011). 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 partendo dal presupposto che 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'innesco in passato.

Scopo del presente lavoro è quello di valutare la suscettibilità da frana utilizzando la classe dei modelli lineari generalizzati, a cui appartiene anche la regressione logistica, ed effettuare un'analisi comparativa di tali risultati con quelli ottenuti utilizzando un approccio di tipo euristico tipico della metodologia ENEA (*Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'Energia e lo sviluppo Economico sostenibile*). Lo studio per la determinazione della suscettibilità di frana è condotto sui bacini idrografici di Briga e Giampileri, localizzati all'interno dell'area comunale della città di Messina. La scelta dell'area di studio è stata effettuata in relazione alla presenza di aree in frana e alla disponibilità dei dati resi disponibili dall'UTPRA-PREV (*Laboratorio Prevenzione Rischi Naturali e Mitigazione Effetti dell'Unità Tecnica Caratterizzazione, Prevenzione e Risanamento ambientale*) dell'ENEA, in seguito ai catastrofici fenomeni avvenuti in data 1 ottobre 2009 nell'area del messinese.

I fenomeni franosi oggetto del lavoro rientrano nella classe delle colate rapide. Questa tipologia di fenomeni coinvolge spessori superficiali di terreno con elevate velocità di movimento, dell'ordine dei m/s, e si verificano in concomitanza di intense precipitazioni. Quest'ultime mettono in crisi la rete idrografica e l'equilibrio geomorfologico sino ad allora raggiunto determinando spesso un elevato numero di vittime e ingenti danni alle infrastrutture.

## **Metodologia**

### **Il modello ENEA**

La metodologia ENEA consente la realizzazione di elaborazioni statistiche sulla pericolosità da frana allo scopo di ottenere risultati affidabili in termini quantitativi (Puglisi et al., 2007; Falconi et al., 2011; Puglisi et al., 2011). La valutazione della suscettibilità all'innesco si basa sull'inventario dei fenomeni avvenuti e sul riconoscimento di parametri discriminanti e fattori predisponenti al fine di individuare le cosiddette *Unità Territoriali Omogenee* (UTO).

I parametri discriminanti sono tipicamente di ordine geologico e morfologico e sono definiti come le condizioni necessarie ma non sufficienti per cui una porzione di territorio sia suscettibile al fenomeno. Attraverso un'operazione di *overlay mapping* in ambiente GIS di questi strati informativi, il territorio viene suddiviso in unità caratterizzate dalla presenza di entrambe le classi di parametri discriminanti: le *Unità Territoriali Lito-Morfometriche* (UTLM).

I fattori predisponenti sono rappresentati dalle condizioni geologiche, geomorfologiche, morfometriche ed antropiche che contribuiscono a determinare la maggiore o minore suscettibilità di un'area.

La distribuzione spaziale di ogni parametro discriminante e predisponente costituisce uno strato informativo geografico. Tramite un'analisi statistica dell'inventario, vengono determinati i fattori predisponenti maggiormente significativi. Quindi, in funzione del contributo all'instabilità, vengono assegnati un indice a ciascuna classe dei fattori ed un peso complessivo ad ogni fattore, che rappresentano l'influenza relativa nella determinazione del livello di suscettibilità. La sovrapposizione in ambiente GIS di tutti i livelli informativi relativi ai parametri discriminanti ed ai fattori predisponenti produce lo strato informativo di sintesi che identifica le porzioni di territorio caratterizzate da una particolare combinazione di fattori, ossia le UTO.

Un'opportuna funzione di suscettibilità implementa gli indici ed i pesi associati alle componenti e ne ricava una mappa della suscettibilità all'innesco:

$$S = (I_{cop} \times I_{pend}) \times \frac{\sum_n (i_n \times P_n)}{\sum_n P_n}, \quad [1]$$

dove  $S$  rappresenta la suscettibilità,  $I_{cop}$  è l'indice del parametro discriminante copertura,  $I_{pend}$  è l'indice del parametro discriminante pendenza,  $i_n$  è l'indice del fattore predisponente n-esimo e  $P_n$  rappresenta il peso del fattore predisponente n-esimo.

### La regressione logistica

Il metodo della regressione logistica (Guzzetti et al., 1999; Hosmer et al., 2000; Dai and Lee, 2002; Chen and Wang, 2007) è un approccio di tipo multivariato che permette di correlare l'occorrenza o non-occorrenza di un evento franoso con variabili di tipo continuo o semplici categorie. Tra gli approcci di analisi multivariata, il metodo della regressione logistica 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 da elementi caratteristici del bacino, etc.) sia di tipo discreto o categorico (uso suolo, 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 valore 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:

$$P[Y = 1 | X_i] = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p)}} = \frac{1}{1 + e^{-z}}. \quad [2]$$

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

$$\log it[Y] = z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p, \quad [3]$$

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; 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 attraverso il metodo della massima verosimiglianza.

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 che fornisce la probabilità che la frana si verifichi.

### Caso di studio: I bacini di Briga e Giampilieri

I bacini idrografici del torrente Briga e del torrente Giampilieri (Figura 1) ricadono interamente nel territorio comunale della città di Messina ed hanno un'estensione areale compresa tra 10 e 10.5 km<sup>2</sup>. Essi presentano una morfologia decisamente aspra, caratterizzata da strette valli, con versanti scoscesi e accidentati, profondamente incise da impluvi brevi e a notevole pendenza e rilievi che raggiungono quote superiori anche ai 1300 m s.l.m.. Il regime idrologico è marcatamente torrentizio, tipico delle “fiumare”, e si contraddistingue per i corsi d'acqua di ridotta lunghezza e pendenza notevole con deflussi superficiali scarsi o assenti nel periodo primavera-estate e consistenti nei mesi autunnali e invernali. Le precipitazioni medie annue variano da un minimo di 882 mm per la zona costiera ad un massimo di 1149 mm per le aree più interne. La vegetazione dei bacini si presenta ricca e diversificata ed è dominata da colture agricole e arboree.

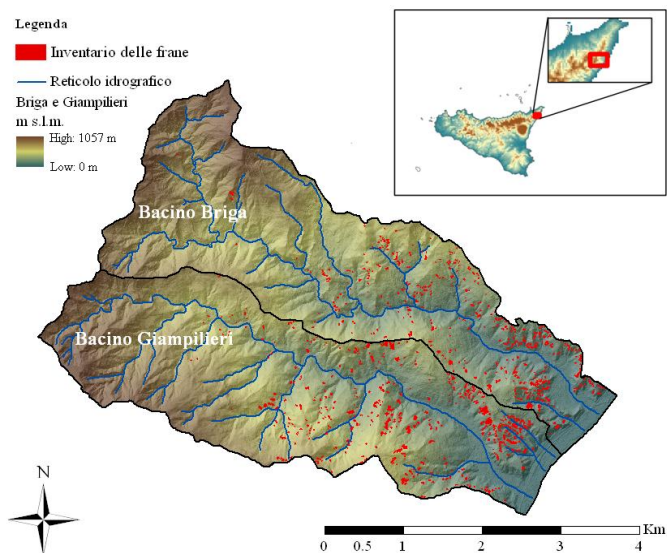


Figura 1. DEM dei bacini Briga e Giampilieri.

Le informazioni sulle frane provengono dalla Carta Inventario delle Frane (Figura 1) ottenuta da una campagna di rilevamento specifica eseguita da ENEA all'interno dell'Accordo di Programma con il Comune di Messina per la realizzazione di uno studio sulla valutazione della pericolosità da frana nel territorio del Comune di Messina, su una revisione del censimento contenuto nel PAI regionale, oltre che su dati interferometrici satellitari del periodo 1992-2008. La topografia dei bacini è derivata dal DEM (*Digital Elevation Model*) con risoluzione di 2 m. Le caratteristiche geologiche e di uso del suolo dei bacini provengono, rispettivamente, dall'esame della carta geologica in scala 1:50000 della Provincia di Messina e della carta di uso del suolo dei Monti Peloritani in scala 1:10000. La precipitazione media annua è stata ottenuta interpolando i dati relativi alle stazioni pluviometriche presenti nei bacini in esame. Per valutare l'influenza del regime pluviometrico sul verificarsi delle frane sono stati considerati anche i parametri idrologici  $a$  ed  $n$  della Curva di Probabilità Pluviometrica, espressa come  $h = ad^n$ , che consentono di tenere conto dell'effetto delle precipitazioni intense (Lo Conti et al., 2007).

### Applicazione della metodologia ENEA

La prima fase della metodologia è il censimento delle aree in frana. A tal scopo, nell'area in studio sono stati condotti preliminarmente un rilievo geomorfologico finalizzato all'interpretazione dei processi evolutivi in atto e un rilievo geologico volto al riconoscimento delle caratteristiche qualitative e geometriche delle differenti formazioni. Per dettagliare e validare l'inventario

preliminare dei fenomeni, si è reso necessario un rilevamento topografico con la compilazione di una scheda-rilievi che, oltre a descrivere gli elementi morfologici e morfometrici, contiene tutte le informazioni relative ai parametri discriminanti e ai fattori predisponenti. Tali informazioni sono state individuate attraverso un'analisi di sito sulle aree in frana censite che ha condotto all'individuazione delle UTLM.

I parametri discriminanti considerati sono la litologia (e relativa copertura) e la pendenza originaria del versante. Il range di pendenza in cui si sono impostate le nicchie di distacco ricavate dal lavoro di campo varia da 22° a 73°, ma l'intervallo di pendenza maggiormente significativo, estratto tramite elaborazioni statistiche sui fenomeni censiti, è risultato essere quello compreso fra 36° e 56°. L'intersezione in ambiente GIS delle zone in cui sussiste la presenza di entrambi i parametri discriminanti identifica, per i fenomeni censiti, le UTLM.

Ad ogni fattore considerato si è assegnato un peso crescente da 0 a 5 al fine di quantificarne la relativa influenza nella valutazione della suscettibilità rispetto agli altri fattori considerati, mentre a ciascuna classe di ogni fattore predisponente si è attribuito un indice crescente da 0 a 9.

Una volta digitalizzati, sia i parametri discriminanti che i fattori predisponenti sono stati integrati in ambiente GIS producendo così le UTO.

La semplice elaborazione GIS (*overlay*) dei due strati informativi principali, UTLM (contenente le informazioni sui parametri discriminanti) e UTO (contenente le informazioni sui fattori predisponenti), conduce all'individuazione, all'interno delle UTLM stesse, di aree soggette a diverse condizioni di suscettibilità all'innesco. L'applicazione della funzione di suscettibilità data dall'equazione [1] restituisce una carta della suscettibilità suddivisa inizialmente in 9 livelli e successivamente riclassificata in 5 livelli di rischio: molto basso, basso, medio, alto, molto alto (Figura 2).

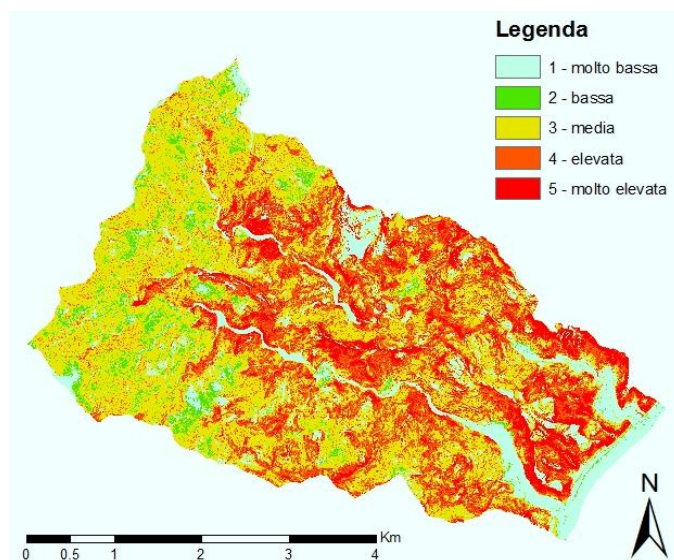


Figura 2. Mappa di Suscettibilità dei bacini di Briga e Giampileri ottenuta con la metodologia ENEA.

### Applicazione della Regressione Logistica

La scelta delle variabili più significative da inserire nel modello di regressione è stata effettuata utilizzando il metodo *stepwise*, basato sul confronto dei valori di extradevianza delle diverse configurazioni del modello. Il metodo prevede, inizialmente, il confronto tra i  $k$  modelli di regressione contenenti una sola variabile. Tra questi viene scelto quello avente il valore più elevato di extradevianza; si passa dunque allo step 2 che prevede la costruzione di  $k-1$  modelli in cui, alla

variabile scelta nella fase iniziale, viene aggiunta ciascuna delle rimanenti variabili. Tra queste viene scelta quella che produce nuovamente il valore di extradevianza più elevato. Il processo va avanti fino a quando non si considera il modello completo, ovvero costituito da tutte quante le variabili a disposizione. Per ogni modello ottenuto ai vari step se ne valuta la bontà mediante il calcolo dell'area sotto la curva ROC (*Relative Operating Characteristics*) basata sul calcolo di valori di sensibilità e specificità per diversi valori di probabilità, i quali misurano rispettivamente la capacità del modello di individuare correttamente le occorrenze di eventi franosi e gli errori del modello dati da occorrenze stimate non corrispondenti a quelle osservate. La curva blu in Figura 3 mostra come l'incremento della ROC, ovvero il contributo della variabile introdotta nel relativo step, risulta essere maggiore ai primi passi, divenendo sempre minore man mano che il numero delle variabili esplicative prese in considerazione aumenta.

Per la scelta del modello che offre il miglior compromesso tra prestazioni dei risultati e quantità di variabili utilizzate, viene adoperato il criterio di informazione di Akaike AIC (Akaike, 1973). Bassi valori di AIC indicano un modello migliore. La curva rossa della Figura 3 mostra come all'aumentare delle variabili esplicative introdotte, l'AIC diminuisce.

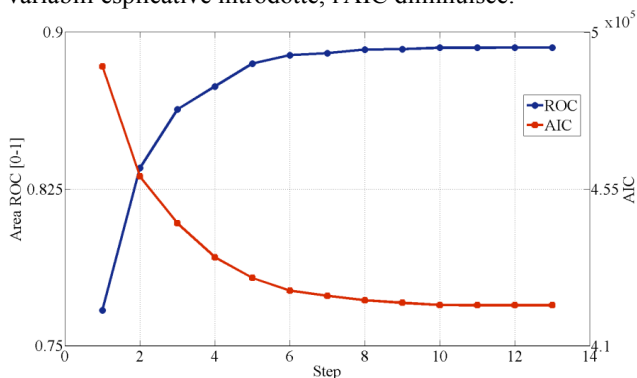


Figura 3. Valori dell'AIC ai vari steps della Regressione Logistica.

Il modello ottimale, che bilancia bontà di adattamento ai dati e parsimonia della modellazione, è stato considerato essere quello al passo 6, cioè un modello contenente, in ordine di immissione, le seguenti variabili: uso del suolo, precipitazione, pendenza, litologia, parametro  $a$  della CPP e la distanza dal reticolo idrografico.

La variabile  $z$  del modello di regressione logistica, in questo caso, assume la seguente forma:

$$z = -166.80 + \text{coeff}_{us} + (-0.00664 \cdot p) + (0.053370 \cdot \text{pendenza}) + \dots + \text{coeff}_{geo} + (4.217 \cdot a) + (0.002634 \cdot \text{dist}_{ret}) \quad [5]$$

Stimando la  $z$  tramite la [5] e inserendola nell'equazione [2], si procede alla determinazione della mappa di suscettibilità, nella quale sono individuati i valori di probabilità di occorrenza frana che vengono riclassificati in 5 livelli di rischio: molto basso, basso, medio, alto, molto alto (Figura 4).



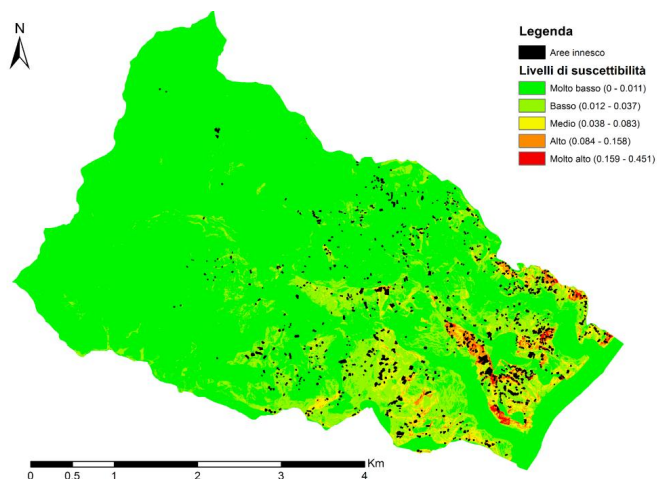


Figura 4. Mappa di suscettibilità dei bacini Briga e Giampileri ottenuta con la Regressione Logistica.

### Confronto tra metodologia ENEA e regressione logistica

Il confronto delle due metodologie è stato affrontato in termini di ROC. In questo caso l'area sotto la curva ricavata mediante metodologia ENEA risulta essere pari a 0.78, a cui corrisponde un modello previsionale accettabile, ovvero un modello previsionale che riesce a distinguere in modo accettabile i soggetti che sperimentano l'evento da quelli che non lo sperimentano. In Figura 5 si riportano a confronto gli andamenti delle ROC ottenute con la regressione logistica, e relative ai passi 1, 6 e 13, con la ROC relativa alla metodologia ENEA, inclusi i valori delle aree sotto le ROC relativi ai modelli considerati.

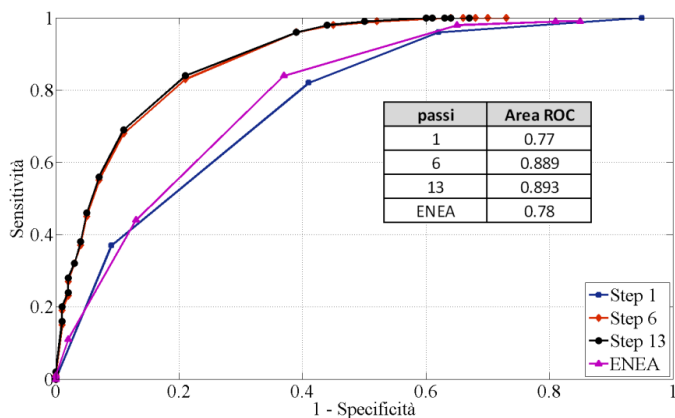


Figura 5. Confronto tra le ROC relative agli steps 1, 6 e 13 della Regressione Logistica ed ENEA.

Come si nota dalla Figura 5, i valori ai passi 6 e 13 presentano valori simili tra loro, ma comunque maggiori, seppur con piccoli incrementi, rispetto a quelli ottenuti al passo 1 della regressione logistica e con la procedura dell'ENEA. Si può concludere che la metodologia euristica dell'ENEA si presenta, in termini di capacità previsionale, con caratteristiche di poco superiori al primo passo della regressione logistica dove si era considerata soltanto la variabile esplicativa uso del suolo.

## Conclusioni

In questo studio è stata condotta un'analisi comparativa tra una metodologia statistica ed un approccio di tipo euristico per la derivazione di mappe di suscettibilità da frana, ed in particolare da colate rapide.

Il metodo statistico scelto è quello della regressione logistica; tale tecnica è in grado di valutare quali siano i fattori più correlati e dunque maggiormente influenzanti il fenomeno analizzato e quindi calcolare, in seconda analisi, la probabilità di occorrenza sulla base solamente di questi fattori. L'applicazione del metodo ai bacini Briga e Giampileri si è articolata in due fasi: nella prima sono state selezionate le variabili esplicative, ossia i fattori predisponenti, influenzanti maggiormente il fenomeno franoso oggetto di studio attraverso un procedimento *stepwise*; nella seconda fase è stata determinata la mappa di suscettibilità. Dalla selezione delle variabili esplicative è emerso che i fattori che determinano un adattamento migliore del modello di regressione logistica sono, in ordine di importanza: uso del suolo, precipitazione, pendenza, litologia, parametro *a* della curva di probabilità pluviometrica, distanza dal reticolo.

Il metodo euristico si basa su una metodologia messa a punto da ENEA. Essa prevede la catalogazione degli eventi avvenuti nel passato e l'individuazione dei parametri della franosità (discriminanti e predisponenti) responsabili della attivazione dei dissesti, per poi sviluppare dei modelli predittivi che consentano di cartografare le aree suscettibili nel futuro. I fattori considerati discriminanti sono stati: l'uso del suolo e la presenza dei terrazzamenti.

Dal confronto dei risultati, eseguito in termini di ROC, è emerso che la metodologia euristica dell'ENEA mostra una capacità previsionale con caratteristiche di poco superiori a quelle del modello della regressione logistica costituito da una sola variabile esplicativa, nello specifico dall'uso del suolo. Nel caso del modello ottimale a sei variabili e del modello completo a tredici variabili, le performance del metodo statistico diventano notevolmente superiori.

La metodologia adottata dall'ENEA presenta difficoltà di utilizzo in maniera diretta e acritica per la pianificazione territoriale, pur risultando utile per il miglioramento dello stato delle conoscenze.

Il modello statistico della regressione logistica ha il vantaggio di essere oggettivo, in quanto i fattori predisponenti le frane e le loro interrelazioni vengono valutati su base statistica. Tuttavia, esso necessita di un'approfondita conoscenza del territorio, per una corretta scelta dei fattori da utilizzare e, soprattutto, della disponibilità di affidabili inventari di frane avvenute nel passato.

## Ringraziamenti

Il lavoro è stato parzialmente finanziato con i fondi del Progetto SESAMO (*SistEma informativo integrato per l'acquisizione, gestione e condivisione di dati ambientali per il supporto alle decisioni*, PO FESR 2007-2013, CUP: G23F11000790004).

## Bibliografia

- Abbattista F., D'Agostino G., Delmonaco G., Di Filippo L., Falconi L., Leoni G., Margottini C., Puglisi C., Romano P., Spizzichino D. (2005), "La valutazione della suscettibilità da frana: applicazione alle colate rapide di Cervinara (AV)", *Geologia tecnica & ambientale*, n°1/2005, ISSN 1722-0025.
- Akaike H. (1973), "Information theory and an extension of the maximum likelihood principle", *Second International Symposium on Information Theory*, Petrov B.N. and Csaki F., Budapest.
- Ayalew L., Yamagishi H. (2004), "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan", *Geomorphology*, 64 (3-4), 17 pp.
- Bartolomei A., Brugioni M., Canuti P., Casagli N., Catani F., Ermini L., Kukavacic M., Menduni G., Tofani V. (2006), "Analisi della suscettibilità da frana a scala di bacino, Bacino del fiume Arno, Toscana-Umbria, Italia", *Giornale di Geologia applicata* 3, 189-195.
- 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". *Hong Kong. Civil Engineering*, 42, 213-228.
- Falconi L., Campolo D., Leoni G., Lumaca S., Puglisi C. (2011). "Geomorphology hazard assessment of Giampileri and Briga river basins after the rainfall event on the October 1, 2009 (Sicily, Italy)". *Proceedings of the Second World Landslide Forum*, 3-7 October 2011, Rome.
- Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P. (1999), "Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy", *Geomorphology*.
- Hosmer D.W., Lemeshow S. (2000), "Applied Logistic Regression". *John Wiles e Sons, Inc.*
- Lo Conti F., Noto L., Cannarozzo M., La Loggia G. (2007), "Regional frequency analysis of extreme precipitation in Sicily, Italy", *2<sup>nd</sup> International Workshop on Hydrological Extremes: Variability in space and time of extreme rainfalls, floods and droughts*. Cosenza.
- Puglisi C., Falconi L., Leoni L., Pino P., Rasà R., Tripodo A. (2007). "Analisi della Suscettibilità da frana in Sicilia (1:250.000): Relazioni con scenari climatici futuri", *Workshop "Cambiamenti Climatici e Dissesto Idrogeologico: Scenari Futuri per un Programma Nazionale di Adattamento"*; Napoli, 9-10 luglio 2007.
- Puglisi C., Campolo D., Falconi L., Leoni G, Lumaca S., 2011. "Landslide hazard assessment project in the Messina municipality area (Sicily, Italy)". *Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October 2011, Rome*.