

*A Fuzzy Methodology for Landslide
Susceptibility Mapping*

MAPPA DELLA SUSCETTIBILITA' FRANA MEDIANTE UTILIZZO DELLA LOGICA FUZZY*

Vincenzo Barrile, Francis Cirianni, Giovanni Leonardi, Rocco Palamara

Università Mediterranea di Reggio Calabria

Dipartimento DICEAM

Reggio Calabria, Italia

vincenzo.barrile@unirc.it; francis.cirianni@unirc.it; giovanni.leonardi@unirc.it; rocco.palamara@unirc.it

Abstract

The present paper proposes a new methodology to characterize the landslide susceptibility of Reggio Calabria territory. The values obtained were classified into five categories: very low, low, medium, high and very high, and were then exported into GIS environment to produce a landslide susceptibility map. The principal objective of the proposed study is to identify the sections of the road network exposed to landslide hazards starting from the susceptibility map. To this aim, a fuzzy system was designed with 2 input, 15 rules "if-then" and 1 output representing the "level of attention" for the considered transport infrastructure, being a higher value of attention level correspondent to a higher landslide hazard. From the obtained results it is possible to notice that the most relevant roads in terms of connection, as the highway A3, the road SS106 and other roads linking the Ionian Coast to the Tirrenic Coast, are those displaying the highest level of attention.

KEY WORDS: *Fuzzy logic, Landslide, Susceptibility map, Reggio Calabria, Gis.*

1. Introduzione

Fenomeni naturali come terremoti, frane e alluvioni rappresentano gli eventi più diffusi del "dissesto idrogeologico". Ogni anno in Italia si verificano numerosi fenomeni naturali, che causano la perdita di numerose vite umane ed ingenti perdite economiche.

Tra i vari fenomeni naturali quello franoso è considerato in Italia, ed in particolare in Calabria, come uno degli eventi più distruttivi che può causare ingenti perdite economiche, umane ed ambientali e che può portare anche all'isolamento di importanti centri abitati. Lo studio delle frane rappresenta un argomento di interesse per gli specialisti di diverse discipline, quali geotecnici, geologi, pianificatori, amministrazioni locali e decisori [1].

Le frane, oltre a creare un pericolo diretto per la vita delle persone, molto spesso creano dei rischi indiretti,

generati dalla distruzione o dall'interruzione delle cosiddette "lifelines".

Le *lifelines* sono sistemi a rete che si sviluppano nel territorio, in superficie, in elevazione o nel sottosuolo, che collegano i vari sistemi spaziali garantendo a questi ultimi una moltitudine di servizi essenziali ed assolutamente indispensabili per la sopravvivenza dell'attuale società [2]. Le infrastrutture stradali costituiscono dunque, da un lato, elementi esposti e spesso ad elevata vulnerabilità rispetto ai diversi fenomeni calamitosi e, nel contempo, infrastrutture di importanza strategica sia per la vita quotidiana di una collettività, che per la gestione dell'emergenza, risultando indispensabili per garantire l'accesso e l'esodo dalle aree colpite nella fase dell'immediato post evento. Il danneggiamento o la ridotta funzionalità di tali reti può incrementare, anche significativamente, le perdite di vite umane conseguenti ad un evento calamitoso.

*Il documento nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto dei quattro autori.

2. Area di studio

L'area di studio considerata è la Provincia di Reggio Calabria che con 97 comuni e circa 550.000 abitanti risulta essere la provincia calabrese con la più alta densità abitativa. La Provincia ha un'estensione territoriale di 3.183 km², di questi 1.685 km² (52,95%) sono rappresentati da terreni collinari, 1.275 km² (40,07%) sono montani e i restanti 223 km² (6,97%) sono rappresentati da terreni di pianura. Nel corso dell'ultimo secolo sono state osservate sul territorio provinciale diverse grandi e distruttive frane con diverso grado di pericolosità.

3. Metodologia

La zonizzazione della suscettibilità da frana proposta nel presente studio è stata basata sul database delle frane del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico).

L'obiettivo dello studio è quello di produrre una mappa di suscettibilità da frana per l'intera provincia di Reggio Calabria tramite la somma pesata ed il prodotto di indici derivanti dai valori che i fattori caratteristici considerati assumono nelle aree in frana già individuate dal PAI e rese disponibili su mappa e da un ulteriore processo di valutazione di tali fattori con il metodo di analisi multicriterio AHP. Gli indici calcolati sono riferiti a fattori quali la pendenza, l'elevazione, l'uso del suolo, la precipitazione media annua e la geolitologia del territorio, analizzati tramite GIS [3, 4, 5] (vedi Fig. 1).

I valori di suscettibilità frana ottenuti sono stati suddivisi in 5 classi, molto basso, basso, moderato, alto e molto alto. Successivamente, sovrapponendo alla mappa di suscettibilità ottenuta le infrastrutture stradali di primaria importanza, utilizzando concetti tipici della logica fuzzy, sono state individuate le infrastrutture stradali che, sulla mappa ottenuta, risultano essere di particolare importanza in caso di emergenza e per le quali risulta evidente la necessità di un serio piano di interventi atto a mitigare il rischio.

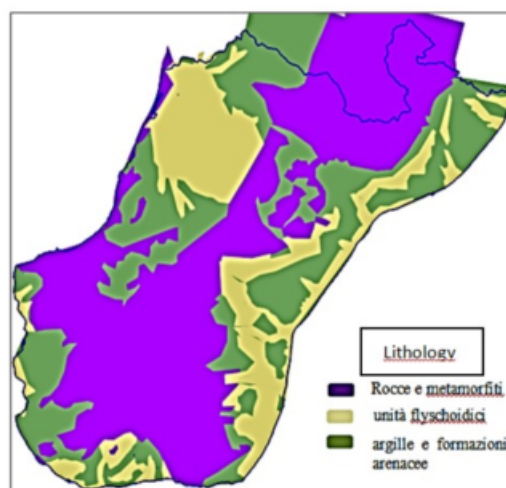
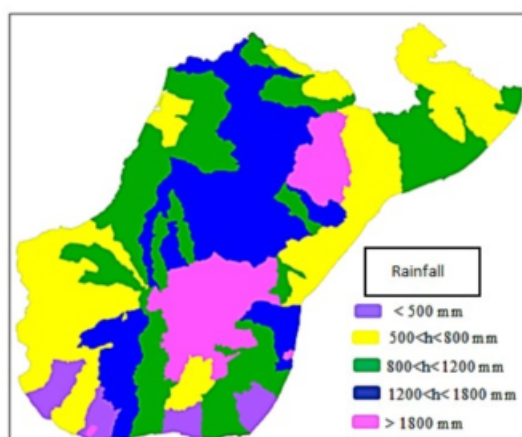
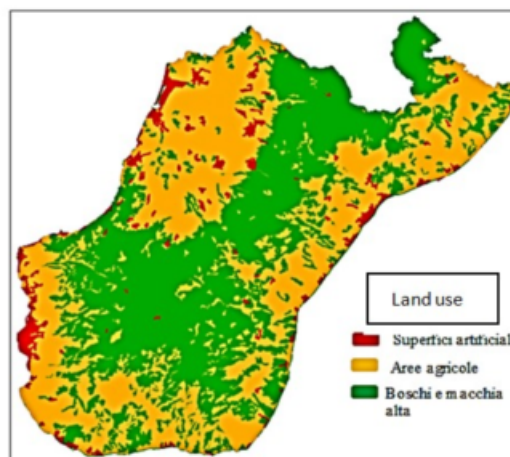
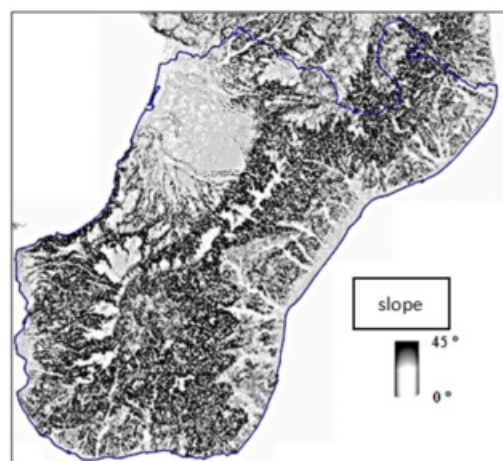
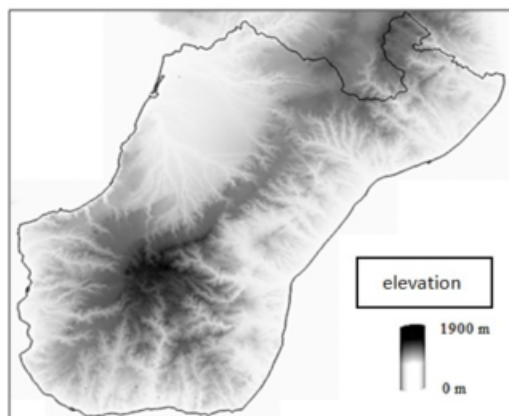


Fig.1 - Fattori caratteristici

4. Mappa della suscettibilità frana

Per produrre la mappa di suscettibilità di frana per l'area di studio sono stati utilizzati cinque fattori di condizionamento per le frane tra cui l'elevazione, la pendenza, la geolitologia, la precipitazione media annua e l'uso del suolo [1]. Ogni fattore è stato suddiviso in varie classi per le quali si è stimato il relativo peso.

L'analisi delle classi considerate sulla mappa prodotta dal PAI è stata effettuata grazie all'ausilio di software GIS. Per poter determinare il peso di ogni classe (vedi Tab. 1), sono stati esaminati i valori che ogni classe del fattore assume nelle aree in frana elaborate dal PAI, in modo da poter individuare l'importanza di ogni classe del fattori rispetto agli eventi franosi registrati in passato sul territorio provinciale.

Per determinare l'importanza dei cinque fattori invece, è stato utilizzato il metodo di analisi multicriterio AHP, considerando la pendenza, le precipitazioni e l'elevazione come i fattori più importanti. Infine è stato ottenuto un indice finale (vedi Tab. 2) moltiplicando i pesi delle singole classi del fattore per il peso del fattore stesso ottenuto con il metodo AHP.

Fattore	Classe del fattore	Pesi
PENDENZA [%]	<8°	0,29
	9 - 15°	0,26
	16-25°	0,24
	>26°	0,22
USO DEL SUOLO	boschi	0,12
	Aree agricole	0,77
	Aree superficiali	0,12
ELEVAZIONE [m]	0-150	0,25
	151-300	0,35
	301-600	0,3
	>601	0,09
PRECIPITAZIONE [mm]	<850	0,35
	850-1200	0,31
	1200-1800	0,25
GEOLOGIA	Rocce	0,29
	Argille e formazioni prev arenacee	0,57
	flyschoidi	0,15

Tab. 1 - Peso delle classi dei fattori caratteristici

		Peso della classe	Pesi dei fattori (metodo AHP)	Indice finale
PENDENZA	<8°	0,29		0,126
	9 - 15°	0,26	0,44	0,113
	16-25°	0,24		0,105
	>26°	0,22		0,095
USO DEL SUOLO	boschi	0,12		0,013
	Aree agricole	0,77	0,05	0,036
	Aree superficiali	0,12		0,005
ELEVAZIONE	0-150	0,25		0,079
	151-300	0,35		0,110
	301-600	0,30	0,31	0,094
	>601	0,09		0,029
PRECIPITAZIONE	<850	0,35		0,049
	850-1200	0,31	0,14	0,044
	1200-1800	0,25		0,036
GEOLOGIA	>1800	0,09		0,012
	rocce	0,29		0,015
	Argille e formazioni prev arenacee	0,57	0,05	0,030
	flyschoidi	0,15		0,008

Tab. 2 - Indici finali

La procedura di mappatura della suscettibilità da frana è stata sviluppata utilizzando la somma pesata ed il prodotto tra gli indici calcolati.

I dati ottenuti per la valutazione della suscettibilità frana sono stati classificati in cinque categorie: molto basso, basso, moderato, alto e molto alto. Secondo la procedura ed i fattori considerati il 5% dell'area di studio è classificata con suscettibilità molto bassa, il 17% come suscettibilità bassa, il 20% suscettibilità moderata, il 36% con suscettibilità alta ed il 22% come suscettibilità molto alta (vedi Tab. 3).

Dai seguenti risultati si evince come il 58% del territorio della provincia di Reggio Calabria risulta avere un valore elevato di suscettibilità frana (vedi Fig. 2).

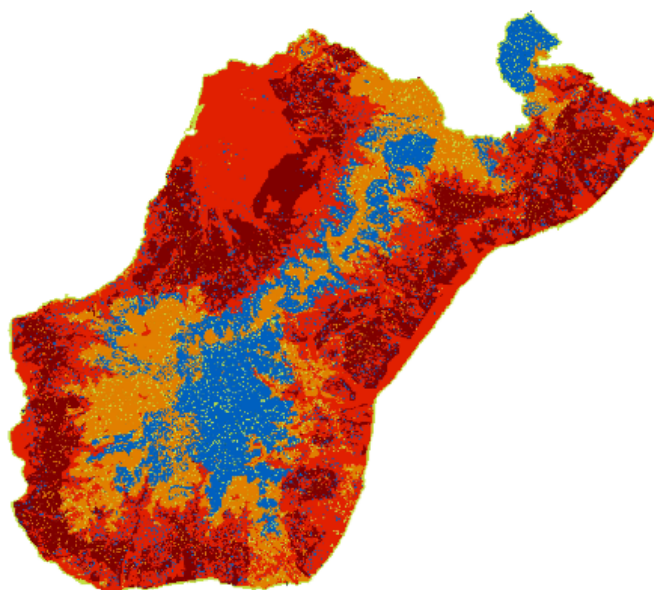


Fig. 2 - Mappa suscettibilità frana

Suscettibilità frana	Indice
MB	0,05
B	0,17
M	0,20
A	0,36
MA	0,22

Tab. 3 - Valutazione suscettibilità frana

5. Le lifelines stradali nella provincia di Reggio Calabria

Il sistema stradale della Provincia di Reggio Calabria è composto da una rete di 1850 km di strade.

La qualità e le caratteristiche delle infrastrutture stradali, in molti casi, risultano essere inadeguate, sia a causa della datata costruzione di quest'ultime, sia per le caratteristiche e la conformazione morfologica del territorio. Nel sistema stradale è stata individuata una rete di infrastrutture (vedi Fig. 3) di particolare importanza, poiché permette di raggiungere e di collegare i vari centri abitati ed i vari centri di gestione delle emergenze individuati dalla Protezione Civile.



Fig. 3 - Rete di infrastrutture considerata

La rete individuata è stata caratterizzata da tre differenti livelli di importanza:

- Infrastrutture strategiche;
- Infrastrutture di collegamento trasversali;
- Infrastrutture di servizio.

L'obiettivo finale è quello di calcolare, per la rete considerata, tramite l'utilizzo di un modello di logica *fuzzy* [6, 7], il "livello di attenzione". Il modello di logica *fuzzy* è stato sviluppato come un sistema gerarchico con 2 ingressi e 15 regole "Se-Allora" che producono un'unica uscita ossia il "Livello di attenzione".

6. Modello di logica fuzzy

Nel modello gerarchico il numero di ingressi corrisponde alle variabili linguistiche (indicatori considerati), mentre l'uscita rappresenta una valutazione complessiva del "Livello di attenzione" per le infrastrutture stradali considerate rispetto al pericolo frana. I due indicatori sono la "suscettibilità frana" calcolata come visto precedentemente, e l'importanza delle infrastrutture considerate mentre l'uscita ottenuta è il "Livello di attenzione".

Nel sistema di logica *fuzzy* proposto (vedi Fig. 4), la variabile di input 1, "suscettibilità frana", è rappresentata da cinque funzioni di appartenenza *fuzzy*, "molto basso", "basso", "moderato", "alto" e "molto alto", mentre la variabile di input 2, "importanza dell'infrastruttura stradale", è rappresentata da tre funzioni di appartenenza *fuzzy*, "strada strategica", "strada di collegamento", "strada di servizio" con i relativi livelli di importanza, "alto", "moderato" e "basso".

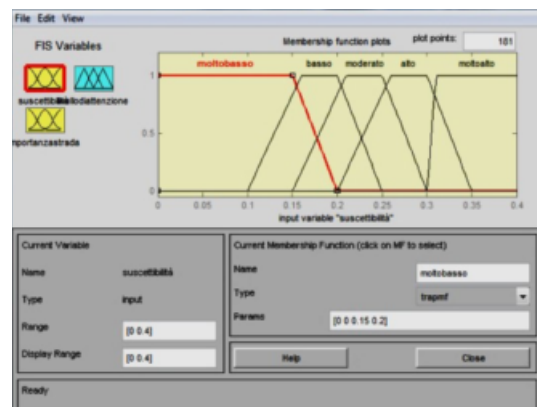


Fig. 4 - Esempio di modello fuzzy utilizzato

La variabile input 1 è stata valutata nell'intervallo [0, 0.4] utilizzando la funzione di appartenenza trapezoidale, mentre la variabile input 2 è stata valutata nell'intervallo [0, 10] utilizzando una funzione di appartenenza triangolare. L'output raggiunto attraverso questo sistema di logica fuzzy è descritto da tre funzioni di appartenenza *fuzzy* (Basso, Moderato, Alto) nell'intervallo [0, 10], utilizzando funzioni di tipo triangolari.

Per poter valutare il "Livello di attenzione" sono state impostate 15 regole fuzzy "if-then".

Le regole utilizzate sono del tipo:

- Se "Suscettibilità" è basso e "Importanza strada" è moderato allora il "livello di attenzione" è "basso";
- Se "Suscettibilità" è moderato e "Importanza strada" è moderato allora il "livello di attenzione" è "alto";
- Se "Suscettibilità" è alto e "Importanza strada" è moderato allora il "livello di attenzione" è "alto".

7. Risultati e conclusioni

Dai risultati ottenuti (vedi Fig. 5), è possibile notare che le strade più rilevanti in termini di connessione, come l'autostrada A3, la SS106 e altre strade che collegano la costa ionica della costa tirrenica, sono quelle per le quali è stato ottenuto il livello più alto di attenzione.

Questo risultato mette in evidenza la debolezza del sistema stradale della provincia di Reggio Calabria.

Inoltre molte delle infrastrutture corrispondenti ad un elevato livello di attenzione costituiscono l'unico collegamento per grandi aree.

L'analisi effettuata evidenzia come risultano indispensabili interventi, sia attivi che passivi, per mitigare il livello di rischio sulle *lifelines* individuate, ricordando che le infrastrutture rappresentano l'unico modo per raggiungere le zone colpite da un evento calamitoso per fornire il primo soccorso alle popolazioni.

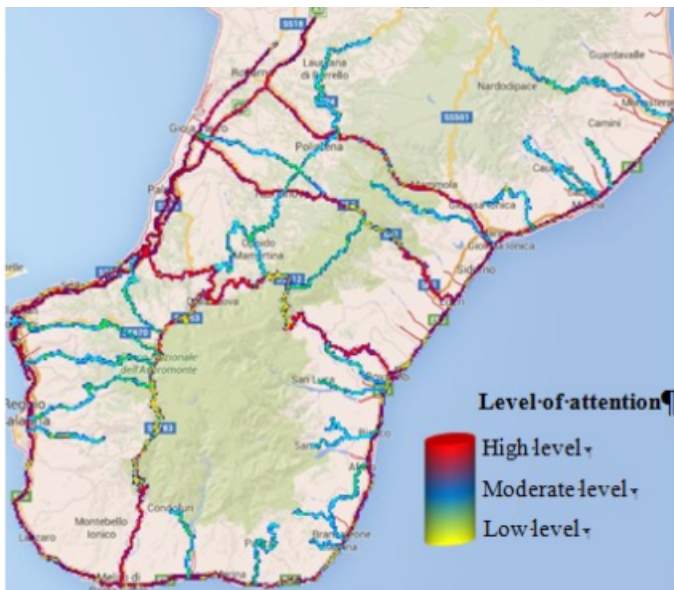


Fig. 5 - Livello di attenzione per le strade considerate

Bibliografia

- [1] Barrile V., Cirianni F., Leonardi G., *A fuzzy-based methodology for Landslide Susceptibility Mapping*. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 223, pp. 896 - 902, 2016
- [2] Barilla D., Leonardi G., Puglisi A., *Risk Assessment for Hazardous Materials Transportation*. In: Applied Mathematical Sciences, 3, pp. 2295 - 2309, 2009
- [3] Barrile V., Bilotta G., Meduri G. M., *An open GIS for the significance analysis of displacements arising from GPS networks repeated over time: an application in the area of Castrovillari*. In: Wseas Transactions on Signal Processing, 10, pp. 582 - 591, 2014
- [4] Barrile V., Cuzzocrea D., Bilotta G., *A MIS-GIS application for the historical centers*. In: XXIII International CIPA Symposium, Prague, 2011
- [5] Ilanloo M., *A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran*. In: Procedia-Social and Behavioral Sciences, 19, pp. 668 - 676, 2011
- [6] Beaula T., Partheeban J., *Risk Assessment of Natural Hazards in Nagapattinam District Using Fuzzy Logic Model*. In: International Journal of Fuzzy Logic Systems, 3, pp. 27 - 37, 2013
- [7] Zlateva P., Pashova L., Stoyanov K., *Fuzzy logic model for natural risk assessment in SW Bulgaria*. In: 2nd International Conference on Education and Management Technology, Vol. 13, Singapore: IACSIT Press, 2011

