

RISULTATI PRELIMINARI NELL'APPLICAZIONE DI ALGORITMI AUTOMATIZZATI (WEDGEFAIL) PER L'ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ A FRANE DI SCIVOLAMENTO IN ROCCIA IN UN'AREA CAMPIONE DELLA COSTA VIOLA

*L. Spina¹, A. Loiacono¹, P. Ferrari¹, A. Tavella¹, R. Dominic², P. A. Basta³,
D. Modaffari⁴ e A. Viscomi³*

¹ Stagista del corso di alta formazione SIGIEC

² Università degli Studi della Calabria - Dipartimento DiBEST

³ Libero professionista

⁴ Regione Calabria - Dipartimento Ambiente e Territorio - Centro Cartografico

1 - Premessa

Nel presente lavoro, realizzato nell'ambito del corso di alta formazione *SIGIEC PON01_02651* (Sistemi per la Gestione Integrata dell'Erosione Costiera), è stata studiata la suscettibilità a frane da scivolamento in roccia nell'area compresa tra il Torrente San Gregorio ed il centro abitato di Scilla, attraverso il *tool WEDGEFAIL* contenuto nel *software free SAGA GIS*. Il funzionamento di questa estensione si basa su una serie di algoritmi che incrociano le caratteristiche del DTM, con i principali parametri geotecnici degli ammassi rocciosi (angolo di attrito massimo e minimo) e la loro giacitura. Per estrapolare i parametri geotecnici, sono stati effettuati dei rilievi geomorfologici e geologici e 13 stazioni di analisi geomeccaniche mediante l'utilizzo del GSI (*Geological Strength Index*). Il risultato finale ottenuto in SAGA GIS, è un *raster* che esprime in modo qualitativo la suscettibilità a frane da scivolamento in roccia. La sua accuratezza e grado di dettaglio dipendono dal numero di stazioni geomeccaniche effettuate, i cui dati vengono interpolati tra di loro per costruire l'elaborato finale.

2 – Inquadramento geologico

L'area interessata dal presente studio è ubicata nella fascia costiera tirrenica della Calabria sud-occidentale in provincia di Reggio Calabria, e si estende per circa 6 kmq tra il centro abitato di Scilla e il Torrente San Gregorio (fig. 1). La Costa Viola fa parte dell'Arco Calabro Peloritano (fig. 2) che rappresenta una delle massime zone di distorsione dell'orogene che circonda il Mediterraneo. In questo settore affiora l'Unità tettonica dell'Aspromonte rappresentata dal *bedrock* cristallino metamorfico, che in corrispondenza degli altopiani risulta essere ricoperto da ghiaie e sabbie bruno-rossastre di età pleistocenica, e da depositi alluvionali e costieri lungo la piana costiera. Di conseguenza, la successione litostratigrafica locale, partendo dai litotipi più antichi verso quelli più recenti risulta essere schematizzata come segue:

- Scisti e paragneiss biotitici bruno-nerastri (Paleozoico);
- Gneiss occhiadini quarzoso-feldspatici (Paleozoico);
- Rocce acide biotitiche (Paleozoico);
- Ghiaie e sabbie bruno-rossastre (Pleistocene);
- Depositi costieri ed alluvionali (Attuale);
- Depositi alluvionali mobili di spiaggia (Attuale).

Risultati preliminari nell'applicazione di algoritmi automatizzati (WEDGEFAIL) per l'analisi di suscettibilità a frane di scivolamento in roccia in un'area campione della Costa Viola

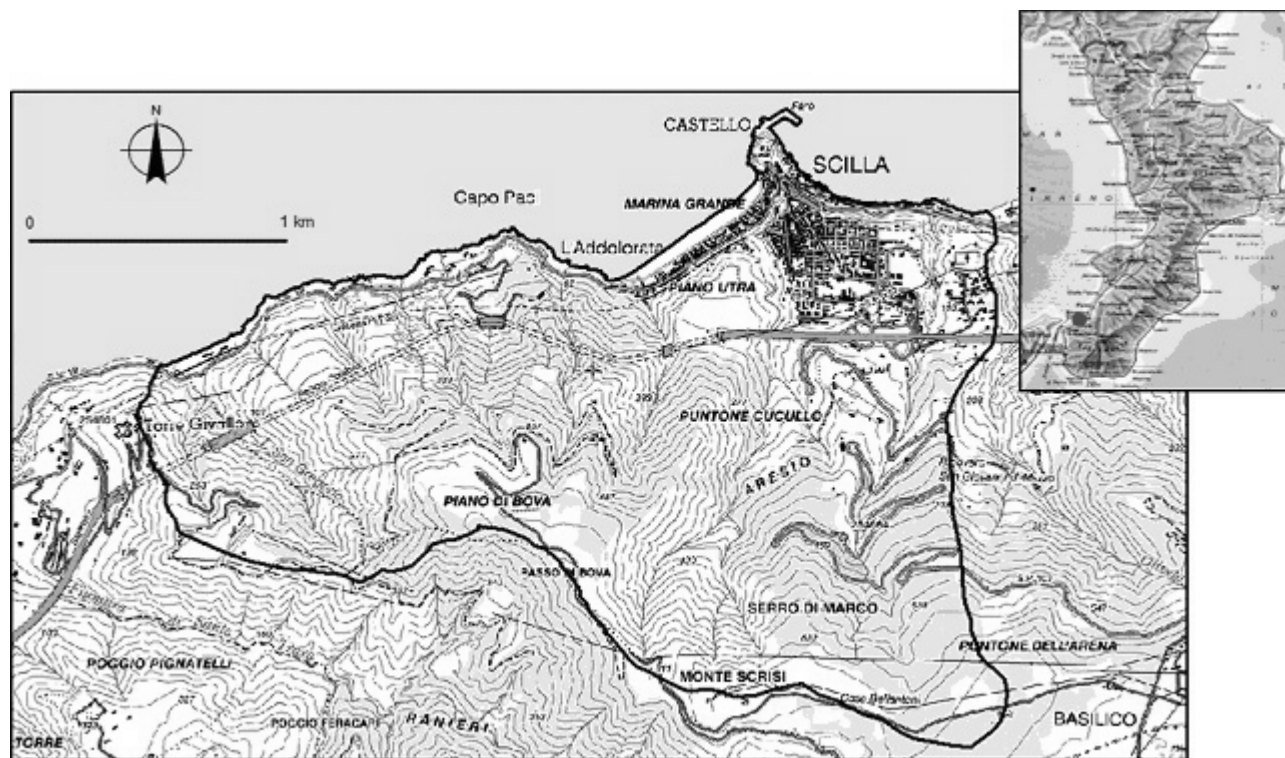


Fig.1 – Ubicazione geografica dell'area di interesse su base topografica 1:25000 (Stralcio della CTR in scala 1:25000, Foglio 589 sez. III "Bagnara Calabria", da Regione Calabria 2008)

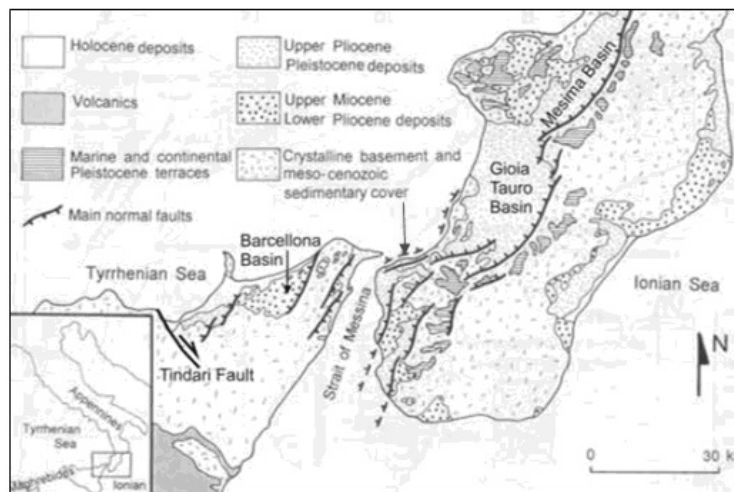


Fig. 2 – Inquadramento dell'area di interesse nell'Arco Calabro-Peloritano (Monaco et al., 1996, modificato)

3 - Inquadramento geomorfologico

L'assetto geomorfologico dell'area è controllato dai litotipi ed in particolare dalla loro resistenza all'erosione, dai sistemi di faglia e dai processi di erosione lineare ed areale idrici e gravitativi (fig.3). Uno degli elementi geomorfologici più caratteristici è rappresentato dalla presenza di terrazzi di origine marina tra cui quello su cui si sviluppa il centro abitato di Scilla di età pleistocenica. I processi gravitativi costituiscono il principale processo di modellamento dei versanti e di produzione di sedimento. Il rilievo geomorfologico dell'area ha permesso di mappare 81 movimenti gravitativi di tipo scorrimento, 6 di tipo colamento, 8 di tipo complesso, 6 di tipo crollo e un versante interessato da solifluzione, per un totale di 102 movimenti gravitativi, sia attivi che quiescenti, e che coprono in totale una superficie di 1.72 km² pari a circa il 28% dell'area di studio (circa 6 km²). L'assetto tettonico è condizionato dalla faglia sismogenetica di Scilla responsabile del terremoto del 6 febbraio del 1783 che generò una frana in località M.te Paci ed un'onda di tsunami, uccidendo 1500 persone. Questo enorme movimento gravitativo sismoindotto si è verificato durante la sequenza sismica del 'Terremoto delle Calabrie', la cui

La morfologia della zona di distacco è ancora visibile attualmente sotto forma di una grande depressione sul versante nord del M. Paci. L'area interessata da questa grande frana è circondata da due faglie rispettivamente nella parte superiore ed in quella inferiore, e lateralmente confinata (sul fianco sinistro) da una faglia di interesse regionale (Faglia di M. Paci). Le condizioni geologiche e strutturali della frana di M. Paci, rappresentano dei fattori predisponenti e di controllo cinematico per la frana di Scilla del 1783 (Mazzanti et al., 2011). In particolare, queste condizioni hanno fatto sì che la rottura del cuneo di roccia si sia evoluto in una valanga di roccia a causa dell'elevato grado di fratturazione ed alterazione delle litologie coinvolte e della morfologia della frana. Lo tsunami generatosi conseguentemente alla frana fu disastroso, infatti documenti storici riportano altezze di *run-up* di 9-16 m e 6-13 m rispettivamente nelle località Punta del Faro (Sicilia) e Marina Grande, mentre la distanza di inondazione a Punta del Faro fu di circa 400m (Gerardi et al., 2008).

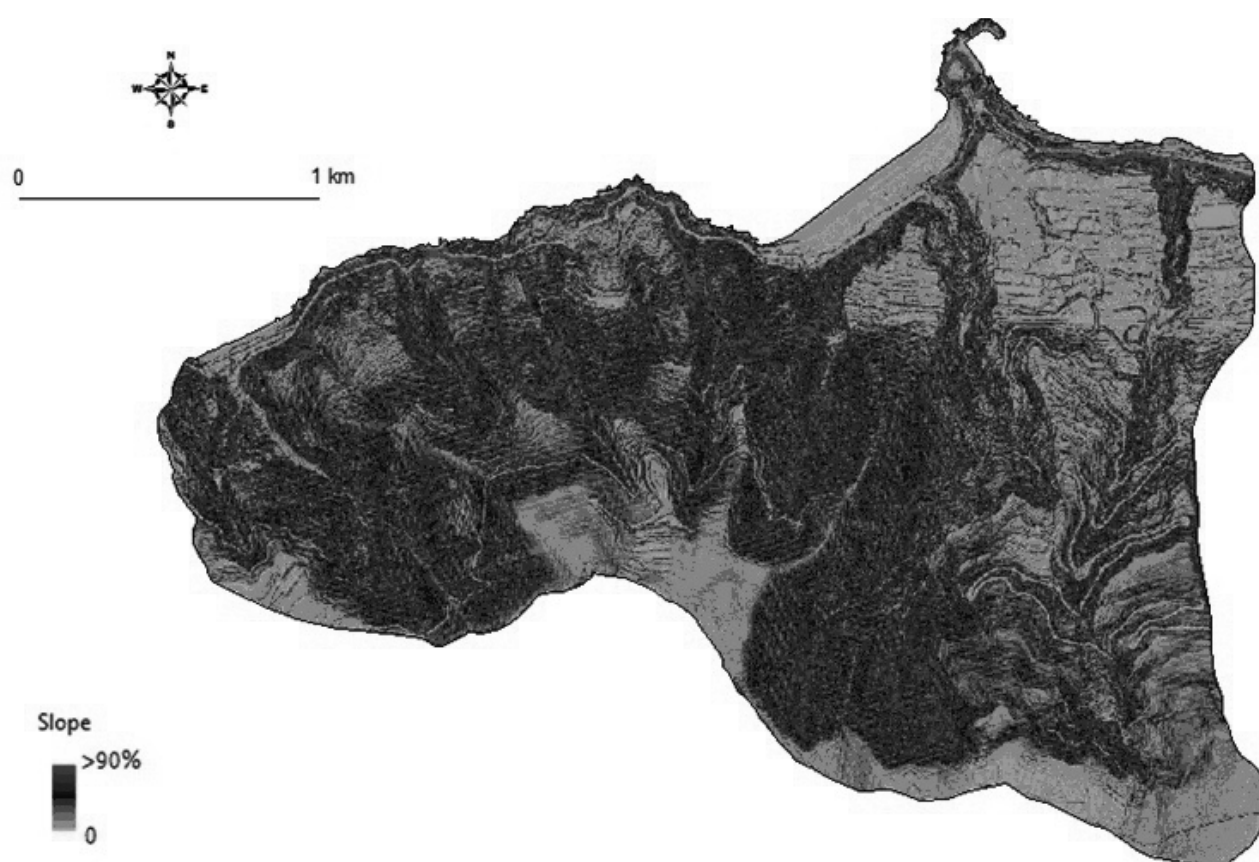


Fig. 3 – Carta clivometrica dell'area di studio realizzata in QGIS

4 – Rilievo geomeccanico speditivo e realizzazione della carta di suscettibilità

Il rilevamento geologico e geomorfologico è stato integrato da un rilievo geomeccanico. In questo studio sono state eseguite 13 stazioni di misura. La scelta delle stazioni è stata definita in relazione ad una serie di fattori tra cui la raggiungibilità dei luoghi e la rappresentatività del rilievo geomeccanico in relazione ai litotipi ed al contesto geomorfologico-strutturale. Per il rilievo è stato utilizzato un martello di Schmidt, e i dati sono stati elaborati attraverso il software free *RocLab*. Nella tab. 1 riportata di seguito, sono riassunti i parametri più cautelativi che sono stati desunti con il metodo GSI. Questi dati, sono stati utilizzati per le interpolazioni atte a costruire i *raster Dip/Plunge direction grid*, *Dip/Plunge grid*, *Min friction angle grid*, *Max Friction angle grid*. Essi sono poi stati combinati con il DTM dell'area (Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare), permettendo quindi la successiva realizzazione della carta di suscettibilità riportata in fig. 4.

I parametri geomeccanici che sono stati estrapolati dall'elaborazione dei dati derivanti dal rilievo speditivo, sono 4:

Risultati preliminari nell'applicazione di algoritmi automatizzati (WEDGEFAIL) per l'analisi di suscettibilità a frane di scivolamento in roccia in un'area campione della Costa Viola

- s_{gci} (Mpa) : resistenza a compressione monoassiale degli elementi di roccia intatta valutata mediante prova sclerometrica (Martello di Schmidt).
- GSI (Adimensionale): indice geologico di resistenza che sintetizza le caratteristiche strutturali dell'ammasso.
- m_i (Adimensionale): costante litologica che dipende dalla litologia dell'ammasso.
- D (Adimensionale): fattore di disturbo che varia in un range da 0 ad 1 in funzione del grado di disturbo.

Litologia	Sgci (Mpa)	GSI	m_i	D
Paragneiss	54	35	28	0.7
Graniti	74	44	32	0.7
Materiale di riempimento delle fratture (molto alterato)	25	20	9	1

Tab. 1 – Parametri (più cautelativi) derivanti dalle elaborazioni attraverso il metodo GSI

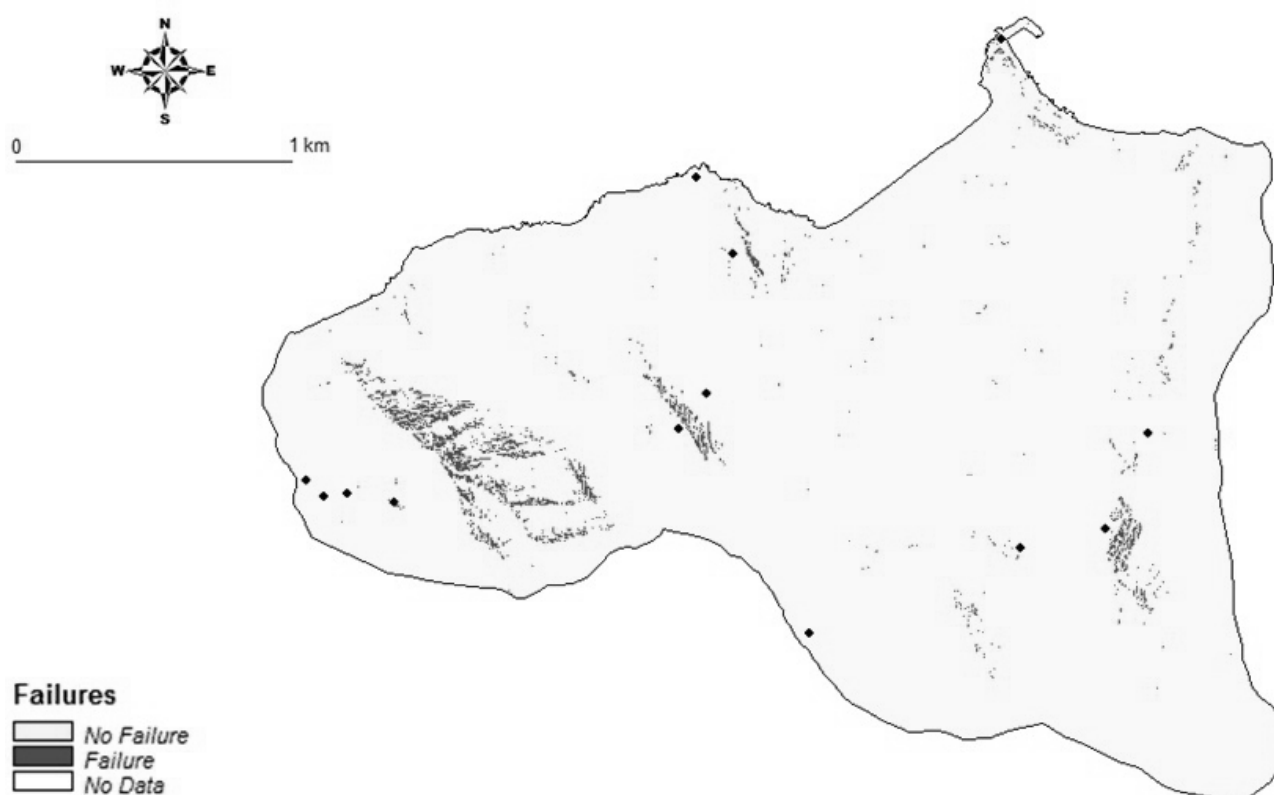


Fig. 4 – Carta di suscettibilità alle frane da scivolamento in roccia ed ubicazione dei punti di misura delle stazioni geomeccaniche

5 – Analisi di stabilità con i metodi L.E.M.

Per validare in via preliminare i risultati ottenuti dalla carta di suscettibilità sono state eseguite due verifiche di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite attraverso il software freeware *SSAP2010* (vers. 4.6.0 - Borselli L., 2015). Sono state modellate due sezioni (fig. 5) rappresentative delle aree a suscettibilità bassa (B-B') ed alta (A-A').

Le verifiche di stabilità sono state eseguite in condizioni statiche utilizzando i parametri geomeccanici del versante (tab. 1). I risultati della verifica stimano un $F_s < 1$ (pari a 0,54) lungo la la sezione A-A' ad elevata suscettibilità di frana (fig. 6) ed un valore di F_s pari a 2,63 lungo la sezione B-B' a bassa suscettibilità (fig. 7).

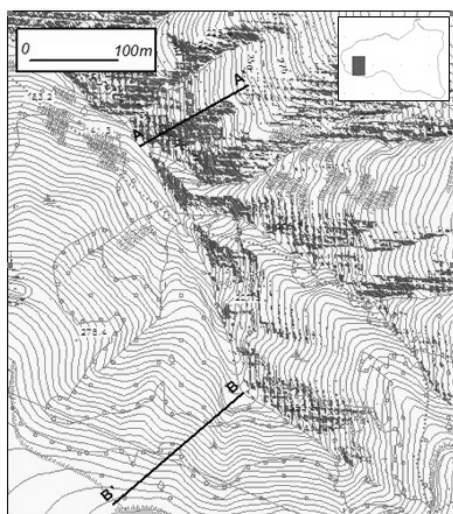


Fig. 5 – Ubicazione delle due sezioni sottoposte ad analisi di stabilità

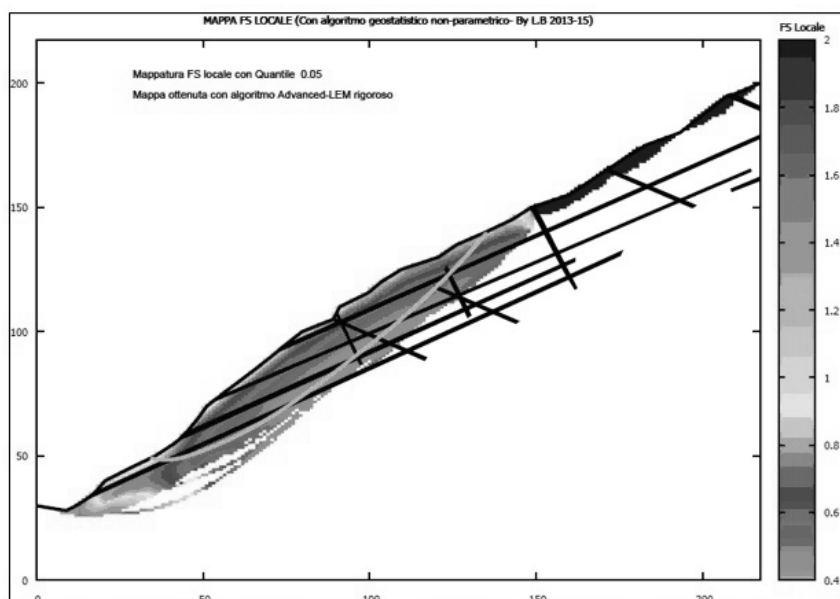


Fig. 6 – Verifica di stabilità lungo la sezione A-A' e rappresentazione del fattore di sicurezza (Mappa di FS locale ottenuta attraverso metodo LEM rigoroso) e della superficie di scivolamento con Fs minimo pari a 0,54

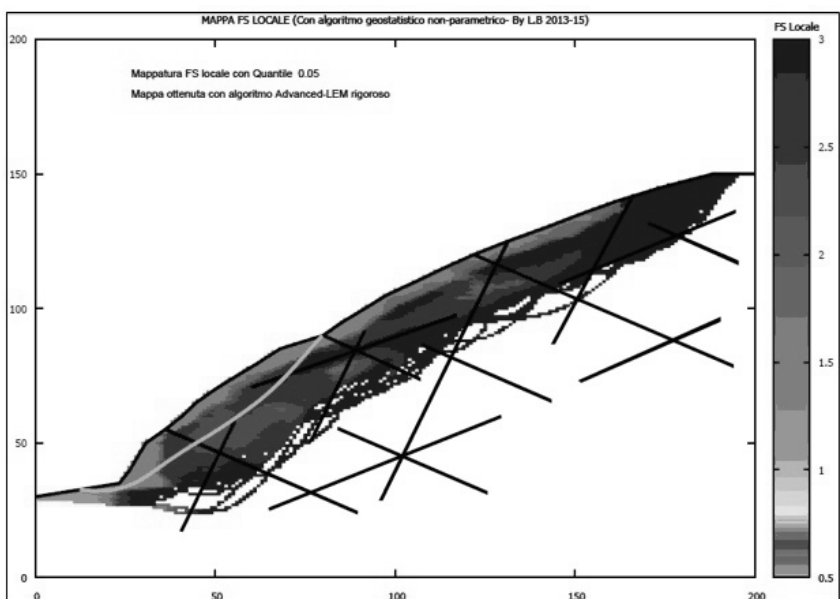


Fig. 7 - Verifica di stabilità lungo la sezione B-B' e rappresentazione del fattore di sicurezza (Mappa di FS locale ottenuta attraverso metodo LEM rigoroso) e della superficie di scivolamento con Fs minimo pari a 2,63

6 – Conclusioni

Il presente lavoro costituisce un esempio di applicazione del *tool WEDGEFAIL* contenuto nel software *SAGA GIS* per l'individuazione delle aree suscettibili a frane da scivolamento in roccia.

Il rilievo geomorfologico è stato effettuato su un'ortofoto ottenuta mediante restituzione fotogrammetrica con l'utilizzo del software *Racurs Photomod ver. 5.23*, della strisciata 31 del Lotto 4, Volo Calabria anno 2007, forniti dal Centro Cartografico della Regione Calabria.

L'analisi integrale e globale dei dati dei rilievi e dati geomorfologici, geologici e geomeccanico è stata eseguita in QGIS.

La validazione dell'*output* del modello di suscettibilità è stata validata mediante la sovrapposizione delle zone di suscettibilità con il rilevamento dei processi gravitativi ed analisi di stabilità con i metodi L.E.M. su due sezioni di versante campione (A-A' ricadente in un versante in frana, B-B' lungo un versante stabile), attraverso il *software free SSAP2010* che utilizza il criterio di rottura di Hoek & Brown (sgci, GSI, mi, D e delle famiglie di discontinuità degli ammassi rocciosi).

I risultati del confronto tra aree di suscettibilità frane da scivolamento in roccia, il rilevamento geomorfologico e le verifiche di stabilità dimostrano l'efficacia del *tool WEDGEFAIL*, evidenziando comunque l'estrema necessità di utilizzare DTM (1mx1m), carte geologiche e geomorfologiche di dettaglio ed un numero cospicuo e ben distribuito di analisi geomeccaniche, rappresentative dei diversi ammassi rocciosi nelle diverse condizioni di esposizione, pendenza, fratturazione ecc. Solo l'utilizzo di dati di *input* di dettaglio, permettono ai *tools* come *WEDGEFAIL* di elaborare carte di suscettibilità a frana che possono diventare strumenti pianificatori per la gestione delle aree costiere.

Bibliografia

- Amodio-Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E. & Zuppetta A., 1976 - *L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., 17: 1-60
- Borselli L., 2015 - *SSAP2010 (Slope Stability Analysis Program) – Manuale di riferimento – versione 4.5.2*
- Gerardi F., Barbano MS, De Martini PM, Pantosti D. (2008) - *Discrimination of tsunami sources (Earthquake versus Land- slide) on the basis of historical data in Eastern Sicily and Southern Calabria*. Bull Seismol Soc Am 98 (6):2795–2805
- Günther A., Wienhöfer J., Konietzky H., 2012 - *Automated mapping of rock slope geometry, kinematics and stability with RSS-GIS*. Natural Hazards, 61, 29-49.
- Hoek E., 1994. *Strength of rock and rock masses*, ISRM News Journal, 2 (2), 4-16.
- Mazzanti P., Bozzano F. - *Revisiting the February 6th 1783 Scilla (Calabria, Italy) landslide and tsunami by numerical simulation*. Mar Geophys Res. 2011 DOI 10.1007/s11001-011-9117-1.
- Messina A., Joppolo S., 1982 – *La massa migmatitica di Scilla (Calabria Meridionale)* – Rendiconti della Società italiana di Mineralogia e Petrologia, 38 (3): pp. 1051-1064.
- Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare – *Dati Lidar. Geoportale Nazionale* <http://www.pcn.minambiente.it/GN/>
- Monaco C., Tortorici L., Nicolich R., Cernobori & L. Costa M., 1996a - *From collisional to rifted basins: an example from the southern Calabrian Arc (Italy)*. Tectonophysics, 266, 233-249.
- Olaya Victor, 2004 – *A gentle introduction to SAGA GIS - Edition 1.1 — Rev. December 9, 2004*
- Ogniben L., 1969 - *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano*. Mem. Soc. Geol. It., 8: 453-763.
- Rocscience Inc. ©, 2007 - *RocLab - Rock mass strength analysis using the Hoek-Brown failure criterion - User's Guide*