

L'INDICE MULTIPARAMETRICO DI SUSCETTIBILITÀ POTENZIALE AL DISSESTO IDROGEOLOGICO

(Luigi Fanizzi - ECOACQUE®)

Gli indicatori di suscettività potenziale al dissesto idrogeologico, rappresentano un utile strumento a supporto delle politiche di mitigazione del rischio (Ercanoglu M., 2008), per l'individuazione delle priorità di intervento, in ambito regionale, per la ripartizione dei fondi tra i Comuni (A. Trigila, et Al., 2018) e la programmazione degli interventi di difesa del suolo (Piano stralcio aree metropolitane e urbane contro le alluvioni - Delibera CIPE N. 32/2015; Piano nazionale di mitigazione e contrasto al rischio idrogeologico - DPCM 5 dicembre 2016). In questo studio, la valutazione euristica (ad indice pluriparametrico) della suscettività potenziale al dissesto idrogeologico, si basa sul riconoscimento di parametri discriminanti e fattori predisponenti, al fine di individuare Unità Territoriali Omogenee (UTO). I parametri discriminanti sono tipicamente di ordine geologico (litologia del substrato) e morfologico (clivometria) e sono definiti, come le condizioni necessarie, ma non sufficienti, per cui una porzione di territorio sia potenzialmente suscettibile al fenomeno di detta instabilità. Attraverso l'overlay mapping in ambiente GIS, di questi parametri informativi, il territorio viene suddiviso in unità caratterizzate dalla presenza di entrambi i parametri discriminanti. I fattori predisponenti sono rappresentati dalle condizioni geologiche, geomorfologiche, morfometriche, climatiche ed antropiche il cui contributo determina la maggiore ovvero la minore suscettibilità dell'UTO. Ogni parametro discriminante e fattore predisponente, è spazializzato e costituisce uno strato informativo geografico. Ciascun fattore predisponente è scelto in base alla sua particolare significatività. In funzione, quindi, del contributo all'instabilità, sono assegnati, in ciascuna classe, dei pesi, uno per 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: esso identifica le porzioni di territorio caratterizzate dalla particolare combinazione di fattori: le Unità Territoriali Omogenee (UTO). Un'opportuna funzione di suscettibilità, implementa i pesi associati alle componenti e ne ricava una mappa della suscettibilità all'innesco.

SUSCETTIBILITÀ

La metodologia euristica di riferimento proposta, prevede, dapprima, il raggruppamento degli elementi dei singoli tematismi, in classi, per ottenere una rappresentazione aggregata del territorio in esame; ad ogni classe è attribuita, quindi, una magnitudo (peso assoluto d'impedenza), in funzione del ruolo esercitato nella produzione di un dissesto (peso d'impedenza relativo = peso assoluto/peso totale). Nelle operazioni successive, di sovrapposizione degli effetti, si effettua una combinazione (somma algebrica) delle magnitudo attribuite, fino ad ottenere un punteggio finale, che rappresenta l'influenza complessiva che i fattori considerati hanno, sulla stabilità del versante. Questo valore ricadrà in un intervallo definito cui corrisponderà una classe d'instabilità potenziale. I fattori predisponenti più significativi (interni ed esterni; K. Terzaghi, 1950), sono visualizzati nella tabella seguente:

PARAMETRI DISCRIMINANTI	FATTORI PREDISPONENTI (INTERNI ED ESTERNI)		
Geologia	1	Litologia del substrato	I
Clivometria	2	Pendenza del versante	I
	3	Esposizione del versante	I
	4	Rapporto di giacitura strati/versante	I
	5	Aggressività climatica	E
	6	Uso del suolo	E

Ad ogni fattore considerato, è stato assegnato un peso crescente da 1 a 5 al fine di quantificare la relativa influenza nella valutazione della suscettibilità rispetto agli altri fattori considerati, mentre a ciascun livello dell'indice di suscettibilità è stata attribuita una magnitudo crescente da 0 a 10, onde affinarne la risoluzione intermedia.

Una volta digitalizzati sia i parametri discriminanti sia i fattori predisponenti, viene effettuata la loro integrazione in ambiente GIS producendo così le Unità Territoriali Omogenee (UTO). Ad esse viene applicata la seguente funzione lineare di suscettibilità:

$$I_s = 2 \cdot \sqrt{(P_1 \cdot P_2)^{0,50} \cdot (P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6)^{0,25}}$$

dove:

I_s : Indice di Suscettibilità al dissesto idrogeologico;

P_i : peso del Parametro Discriminante (1,2) ovvero del Fattore Predisponente N-simo (3,4,5,6).

Al termine di questo procedimento, le elaborazioni finali rappresentano la suscettibilità all'innescò di ogni singola tipologia di fenomeno di potenziale dissesto, espresse dall'Indice di Suscettibilità (**I_s**), come numero intero compreso fra **0** (Suscettibilità nulla) e **10** (Suscettibilità massima). Successivamente, per semplificare la rappresentazione e renderla coerente con la pianificazione di Bacino espressa dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), questi valori di suscettibilità (**I_s**) sono stati riclassificati in **5** livelli (Tabella) rispecchianti Classi di Suscettibilità crescente, da nulla a molto elevata.

I_s	CLASSI DI SUSCETTIBILITA'
0 ÷ 2	NULLA (SITUAZIONE POTENZIALMENTE STABILE)
2 ÷ 4	BASSA (INSTABILITA' POTENZIALE LIMITATA)
4 ÷ 6	MEDIA (INSTABILITA' POTENZIALE MEDIA)
6 ÷ 8	ELEVATA (INSTABILITA' POTENZIALE FORTE)
8 ÷ 10	MOLTO ELEVATA (MASSIMA INSTABILITA' POTENZIALE)

Alla fine di tale processo, possono essere redatte carte della suscettibilità per ciascuna tipologia di fenomeno di dissesto nel territorio al fine di perseguire i normali obiettivi di cui al DPCM 29 settembre 1998 (individuazione delle aree a rischio idrogeologico).

LITOLOGIA DEL SUBSTRATO

Le caratteristiche litologiche sono di comprovata importanza, in quanto è ragionevole pensare che le proprietà del terreno discriminanti per la sua stabilità (come la resistenza e l'intrinseca permeabilità), siano ad essa, in maniera diretta od indiretta, strettamente legate (i.e. circolazione idrica). In particolare, nelle aree potenzialmente interessate dall'innescò. Per litologia, non s'intendono unicamente le caratteristiche della natura dei terreni (sedimentari, vulcanici, metamorfici) ma, anche, le caratteristiche fisico-meccaniche ad essi relative (compattezza, grado di cementazione, stratificazione e scistosità). Per l'attribuzione dei pesi, si farà riferimento alle principali esperienze metodologiche riportate in bibliografia. La scala dei valori, da applicare, va da **1** a **5**; i valori più bassi corrispondono ai termini litologici più resistenti, compatti, poco alterati, mentre quelli più alti ai termini litologici più fragili, alterabili, caotici e sciolti (cd erodibili). In Tabella sono indicati i pesi concernenti le più comuni classi litologiche (Linee Guida P.A.I. - Attività d'individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia - Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato LL.PP., Cagliari, 2000).

DESCRIZIONE DELLA CLASSE LITOLOGICA DEL SUBSTRATO	PESO
Detriti di falda con detritici e conoidi di deiezione, depositi incoerenti argillosi (argilliti), argille scagliose, sabbie eoliche, graniti e grandioriti alterati con potenti coperture di sabbioni arcocici	5
Depositi lagunari, lacustri e palustri, sabbie anche grossolane con livelli di ghiaiosi ed intercalazioni di arenarie, marne, calcescisti, micascisti ed argillosisti, tufi e tufi conglomeratici, flysh arenaceo-marnoso	4
Alluvioni ghiaiose recenti degli alvei fluviali, antiche e terrazzate ed alluvioni prevalentemente sabbiose, depositi alluvionali prevalentemente limoso argilloso, gneiss con elevata densità di giunti di fatturazione, andesiti	3
Calcari, calcari marnosi, dolomie, dolomie calcaree e calcari dolomitici, ignimbriti, basalti, trachiti, fonoliti e rioliti massicce	2
Graniti e grandioriti massicci privi di copertura ed alterazione	1

PENDENZA DEL VERSANTE

La pendenza dei versanti è un fattore morfologico molto importante in quanto maggiore è l'inclinazione di un pendio, maggiore è la tendenza al dissesto, per effetto della gravità, dell'azione degli agenti atmosferici, senza la protezione della vegetazione che non riesce ad insediarsi. Si può ritenere che le classi di pendenza siano cinque, considerando che le pendenze locali, superiori a 35°, risultano caratterizzate, generalmente, da substrato roccioso coerente affiorante (assenza, cioè, di copertura) o, addirittura, interessate da versanti instabili come i complessi rocciosi falesici (attivi o passivi: granitici, calcarei, arenacei ovvero arenitico argillosi). In Tabella sono indicati i pesi relativi, compresi nella scala di valori da 1 a 5.

DESCRIZIONE DELLA CLASSE DI PENDENZA DEL VERSANTE	PESO
Pendenza alta > 50 %	5
Pendenza medio-alta 36 % ÷ 50 %	4
Pendenza media 21 % ÷ 35 %	3
Pendenza medio bassa 11 % ÷ 20 %	2
Pendenza bassa 0 % ÷ 10 %	1

ESPOSIZIONE DEL VERSANTE

L'esposizione influisce sui processi di trasformazione dei versanti, in quanto i versanti esposti a nord sono quelli più freddi ed umidi (con cicli giornalieri, non solo stagionali), mentre quelli esposti a sud hanno condizioni più miti. I parametri connessi a tale fattore, come l'esposizione alla luce solare ed all'essiccazione dei terreni, dovuta ai venti, sono strettamente legati al grado di umidità dei terreni. L'esposizione del versante, infatti, ha delle implicazioni anche sul contenuto d'acqua, in quanto, pendici esposte a Nord (intervallo angolare 45° ÷ 315°), presentando, generalmente, una maggiore umidità, possiedono una maggiore copertura vegetale che può determinare una maggiore protezione del suolo, dai fenomeni erosivi e di dissesto. Nella successiva tabella si riporta la classificazione in base all'esposizione dei versanti. In essa sono indicate 5 classi, compresa la pianura (senza specifica esposizione).

DESCRIZIONE DELLA CLASSE D'ESPOSIZIONE DEL VERSANTE	PESO
Nord-Ovest	5
Ovest	4
Sud	3
Est	2
Nord e Pianura	1

USO DEL SUOLO

Fatta eccezione per la **geologia** del substrato e la classe di pendenza (cd parametri discriminanti), la cui importanza, in un'analisi del dissesto territoriale, è facilmente intuibile, per quanto fin qui esposto, appare necessario porre l'attenzione sul significato degli altri fattori predisponenti, considerati. Fondamentali per lo sviluppo del presente elaborato sono le informazioni relative alle caratteristiche fisiche ed alle condizioni ambientali dell'area di indagine. I fattori geoambientali considerati significativi per la determinazione della suscettibilità sono stati: l'uso del suolo ed elementi antropici e naturali; classificati secondo il Codice normalizzato Corine Land Cover 2000.

CODICE CLC	DESCRIZIONE DELLA CLASSE D'USO	PESO
131	Aree Estrattive	5
211	Seminativi in aree non irrigue	
221	Vigneti	
243	Aree prevalentemente occupate da Colture agrarie	
331	Spiagge, Dune e Sabbie	
332	Rocce nude, Falesie, Rupi ed Affioramenti	
411	Paludi	
511	Corsi d'acqua, Canali ed Idrovie	
512	Bacini d'acqua	
122	Reti stradali, Reti ferroviarie e Spazi accessori	
242	Sistemi colturali particellari complessi	
333	Aree con vegetazione rada	
111	Tessuto urbano continuo	3
112	Tessuto urbano discontinuo	
121	Aree Industriali e Commerciali	
124	Aeroporti	
222	Frutteti	
231	Prati stabili	
321	Aree a Pascolo naturale e Prateria d'alta quota	2
322	Brughiere e Cespuglieti	
324	Aree di Vegetazione boschiva ed Arbustiva in evoluzione	
311	Boschi di Latifoglie	1
312	Boschi di conifere	
313	Boschi misti	

AGGRESSIVITA' CLIMATICA

L'aggressività climatica (f. esterno), connessa alle precipitazioni piovose, rappresenta, sicuramente, uno dei fattori più importanti nella valutazione della suscettibilità di dissesto di un pendio. Con lo scopo di individuare una correlazione di facile applicazione, fra piogge e soglie di potenziale innesco di dissesto, adatta alla realtà del territorio nazionale, si è scelto l'indice di Fournier, così come modificato da H.M.J. Arnoldus nel 1977 (F_{FAO}), ricavabile dalla seguente relazione:

$$F_{FAO} = \frac{\sum_1^N \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}}{N}$$

dove:

P [mm] = precipitazione media annua;

p_i [mm] = precipitazione media del mese i-esimo;

N = anni di osservazione.

In letteratura si è evidenziato come l'indice F_{FAO} sia molto ben correlato con l'insorgenza e/o la riattivazione di dissesti idrogeologici di varia natura ed è, quindi, in grado di fornire una valutazione sintetica della potenzialità di accadimento (Scrinzi et Al., 2006). Per la definizione dei pesi, pertanto, sono state utilizzate cinque classi, in funzione delle soglie pluviometriche d'inesco (L. A. Manrique, 1988), in grado di fornire una valutazione sintetica della probabilità di eventi piovosi notevoli (sia intensi, di breve durata, sia distribuiti nel tempo).

DESCRIZIONE DELLA CLASSE D'AGGRESSIVITA' – TAB. I	PESO
> 300 mm Molto Alta	5
200 mm ÷ 300 mm Alta	4
100 mm ÷ 200 mm Moderata	3
50 mm ÷ 100 mm Bassa	2
< 50 mm Molto Bassa	1

Un indice pluviometrico, utilizzato all'interno di modelli di previsione della suscettibilità al rischio frana, per essere effettivamente funzionale, non deve tenere conto solo della semplice precipitazione media annua ed, eventualmente, del suo valore medio mensile ma altresì, e principalmente, della precipitazione massima giornaliera e delle anomalie legate all'evento massimo orario. All'uopo si è pensato di utilizzare, quindi, l'indice adimensionale di anomalia pluviometrica I_{AP} , che si basa sul rapporto tra la differenza dei valori di precipitazioni di massima intensità, nelle prime 3 ore (espressa in millimetri) e nelle successive 24 ore (sempre espressa in millimetri), normalizzati sui valori di pioggia giornaliera, di serie storiche di dati ($n = 30$ anni). La formula, come scritta qui di seguito, rappresenta la media dei valori (I_{AP}), calcolati per ogni singolo evento, nella stazione pluviometrica del territorio esaminato (G. Manzo, 2010):

$$I_{AP} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{h_{(\max 24)_i} - h_{(\max 3)_i}}{h_{(\max 24)_i}} \right]$$

dove:

I_{AP} = indice di anomalia Pluviometrica;

n = numero di eventi analizzati nella stazione pluviometrica;

$h_{(\max 24)_i}$ = valori di precipitazioni di massima intensità e breve durata nelle **24** ore giornaliere;

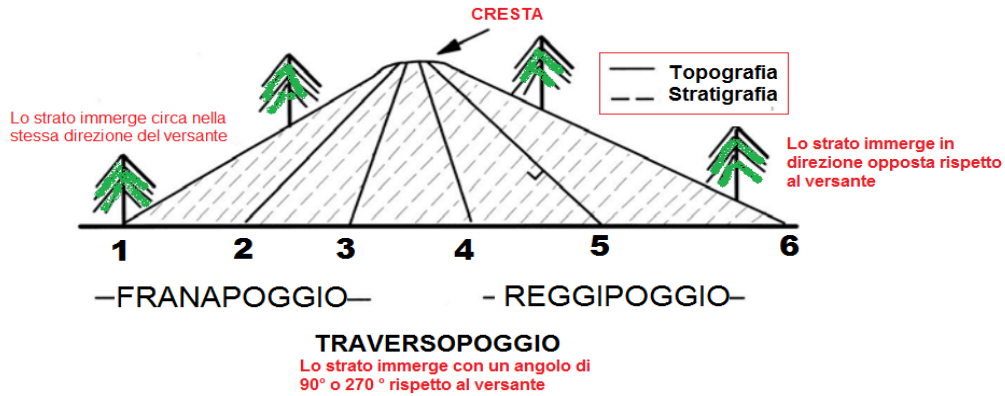
$h_{(\max 3)_i}$ = valori di precipitazioni di massima intensità nelle prime **3** ore di scroscio.

DESCRIZIONE DELLA CLASSE D'AGGRESSIVITA' – TAB. II	PESO
> 0,72 Anomalia Alta	5
0,62 ÷ 0,72 Anomalia Medio Alta	4
0,52 ÷ 0,62 Anomalia Medio Alta	3
0,42 ÷ 0,52 Anomalia Medio Bassa	2
< 0,42 Bassa	1

Per la definizione del peso da assegnare, al fattore predisponente: aggressività climatica, quindi, andrà utilizzato il maggiore dei due valori, ricavato dalle due tabelle.

RAPPORTO DI GIACITURE STRATI/VERSANTE

Un altro fattore predisponente molto importante è costituito dal rapporto dalla giacitura degli strati e la giacitura della superficie topografica del versante. Sulle carte geologiche la giacitura degli strati (cd scistosità), è rappresentata da un'apposita simbologia convenzionale che comprende direzione, immersione, verso ed angolo di inclinazione della superficie considerata. Tale misura, messa in relazione con la forma e la pendenza topografica del versante (individuabile dall'andamento delle curve di livello), rende immediato il concetto di assetto di strati a reggiopoggio e franapoggio, rispettivamente, se la disposizione degli strati immerge come il pendio ovvero contro il pendio.



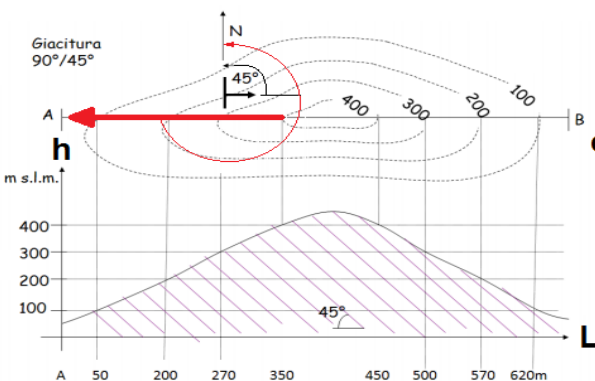
L'indice utilizzato, per valutare tale fattore, pertanto, è funzione lineare di quattro variabili spaziali:

1. Inclinazione degli strati (θ);
2. Immersione degli strati (α);
3. Pendenza del versante (S);
4. Esposizione del versante (A).

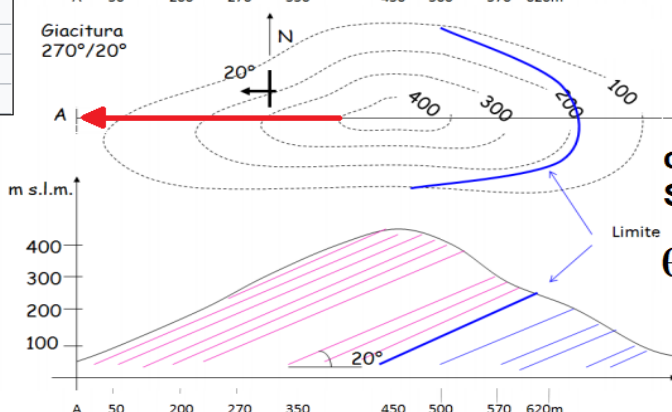
Denominato **TOBIA** (acr. **TO**pographic **B**edding-Plane **I**ntersection **A**ngle; Meentemeyer & Moody, 2000), l'indice fattoriale predisponente è espresso dalla seguente equazione:

$$\text{TOBIA} = \cos(\theta) \cdot \cos(S) + \sin(\alpha) \cdot \sin(S) \cdot \cos(\alpha - A)$$

S	$\Delta h/\Delta L$
0,57°	1%
1,15°	2%
1,72°	3%
2,86°	5%
4,57°	8%
5,7°	10%
8,5°	15%
11,3°	20%
14,0°	25%
16,7°	30%
21,8°	40%
26,6°	50%
45°	100%
63,4°	200%
90°	∞

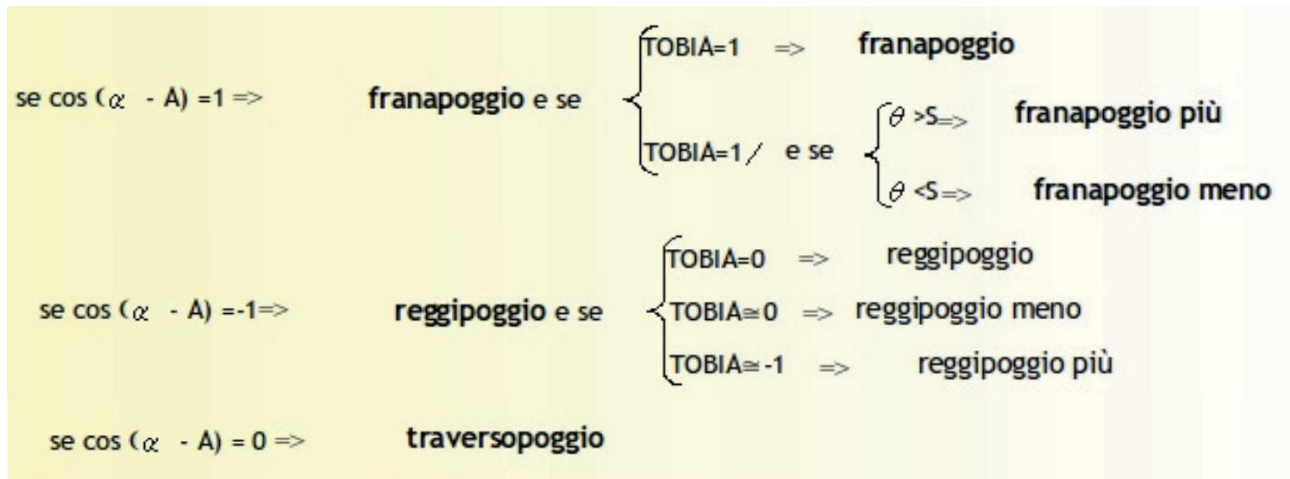


$$\begin{aligned} A &= 270^\circ \\ \alpha &= 90^\circ \\ \cos(\alpha - A) &= -1 \\ S &= 300 \text{ m} / 300 \text{ m} = 100\% (45^\circ) \\ \theta &= 45^\circ \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} A &= 270^\circ \\ \alpha &= 270^\circ \\ \cos(\alpha - A) &= 1 \\ S &= 300 \text{ m} / 300 \text{ m} = 100\% (45^\circ) \\ \theta &= 20^\circ < S \end{aligned}$$

Come si può evincere, dalla formulazione trigonometrica, esso può assumere valori compresi **tra -1 e +1**.



DESCRIZIONE DELLA CLASSE DI GIAGITURE STRATI/VERSANTE	PESO
Franapoggio più	5
Franapoggio meno	4
Traversopoggio	3
Reggipoggio meno	2
Reggipoggio più	1

CONCLUSIONI

La metodologia euristica, esposta in questo studio, rende speditiva, grazie all'ausilio di un indice sintetico multiparametrico, l'individuazione delle aree di potenziale suscettibilità al dissesto idrogeologico che ben si presta, interpretando molto bene i parametri discriminanti (morfogeologici affioranti), ad elaborazioni automatiche, relativamente semplici. Sulla base dei risultati, che forniscono indicazioni sui livelli di potenziale "Pericolosità" delle singole aree, nel territorio d'indagine, si potrà procedere alla valutazione dei livelli di "Rischio", relazionandoli alla presenza di persone e/o di beni, ed alla loro perimetrazione, secondo le normali intersezioni matriciali (Pericolosità/Rischio), onde poter intervenire con opere di preventiva mitigazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Puglisi, Campolo, L. Falconi., G. Leoni, S. Lumaca (2012): "La pericolosità geomorfologica dei bacini di Briga e Giampileri (Messina) in seguito all'evento del 1° ottobre 2009", *Geologia dell'Ambiente*, Suppl. N 2, Ed. Sigea, Roma.
- [2] Terzaghi K. (1950). "Mechanism of landslides", Geological Society of America, Engineering geology Vol., Berkley, USA,
- [3] G. Manzo (2010): "Applicazioni di tecniche gis e modelli di suscettibilità per la previsione del rischio da frana a scala regionale", Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Settore Disciplinary: GEO-05, Università degli Studi, Firenze.
- [4] C. Cencetti, P. De Rosa, A. Fredduzzi e A. Minelli (2010): "La valutazione della suscettibilità di frana tramite i metodi dell'Analisi Condizionale e degli Indici di Franosità: un'applicazione tramite GRASS al bacino del T. Ventia (Umbria settentrionale)", *Geomatics Workbooks n° 9*, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, in *Geomatics Workbook*, Vol. 9, Ed. Politecnico Milano - Polo Reg. Como, in Fossat4G-it, Lugano;
- [5] H.M.J. Arnoldus (1977): "Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due sheet and rill erosion in Marocco", Annex IV, FAO, Soils Bulletin, Rome. [9] G. Scrinzi, E. Gregori, F. Giannetti, D. Galvagni, G. Zorn, G. Colle G, M. Andrenelli (2006): "Un modello di valutazione della funzionalità protettiva del bosco per la pianificazione forestale: la componente stabilità dei versanti rispetto ai fenomeni franosi superficiali", *Rivista Italiana Forest@*, Ed. SISEF, Roma.
- [6] M. Bossard, J. Feranec e J. Otahel (2000): "CORINE land cover technical guide – Addendum 2000", Technical report N° 40 , Ed. European Environment Agency, Copenhagen.
- [7] Meentmeyer R.K. & Moody (2000): "Automated mapping of conformity between topographic and geological surface", *Computers & Geosciences*, N. 26, Ed. Pergamon, Edinburgh.
- [8] L. A. Manrique (1988) "LEAM – Land Erodibility Assessment Methodology", Editorial and Publication Shop, Honolulu, HI.
- [9] Trigila A., Iadanza C., Bussetini M., Lastoria B. (2018): "Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio", *Rapporti 287/2018*, Edizione ISPRA, Roma.
- [10] Ercanoglu M., Kasmer O., Temiz N. (2008): "Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 67/4, Ed. Springer Verlag, Berlin