4. PREPARAZIONE DEI DATI

Frane superficiali diffuse, innescate simultaneamente da eventi meteorici su vaste aree, sono state registrate in molte regioni in tutti i continenti. Proprio per il loro rilevante impatto sul territorio e sulle attività umane, l'analisi di suscettibilità è un approccio che si è andato a consolidare negli ultimi anni (Glade, 1998; Baeza & Corominas, 2001; Gomez & Kavzoglu, 2005; Singh et al., 2005; Salciarini et al., 2006, 2008; Dahal et al., 2008a & 2008b; Godt et al., 2008; Gullà et al., 2008; Deb & El-Kadi, 2009; Gunther & Thiel, 2009; Harp et al., 2009; Miller et al., 2009; Wu & Chen, 2009; Piacentini et al., 2012).

Come visto nel Capitolo 2, il verificarsi di fenomeni franosi è dovuto, per ogni tipologia di dissesto, ad un insieme di cause predisponenti (litologia, stato di alterazione, pendenza, etc.) e di cause esterne che innescano il fenomeno (accelerazione sismica, precipitazioni, interventi antropici, etc.). I fattori predisponenti (geologico-ambientali) possono essere molti e agire con rilevanza diversa. Alcuni di essi incidono direttamente controllando il fenomeno di dissesto, viceversa l'influenza di altri fattori può essere subordinata e marginale. Individuare i fattori determinanti, necessari per l'analisi di suscettibilità, richiede una buona conoscenza dell'area di studio, della specifica tipologia del fenomeno, la valutazione della migliore metodologia e della scala di analisi (van Westen et al. 2008; Cascini, 2008).

Per lo studio della suscettibilità nelle aree colpite dai dissesti superficiali dell'Ottobre 2009, l'esperienza acquisita durante le attività sul terreno insieme alle conoscenze da letteratura sui fenomeni in esame, ha permesso di riconoscere sei fattori predisponenti: litologia, qualità degli ammassi rocciosi, geomorfologia, pendenza ed esposizione dei versanti, distanza dai corsi d'acqua (Scudero & De Guidi, 2011).

Questi fattori sono stati mappati su tutta l'area in studio alla scala 1:10.000 e sono stati elaborati in un Sistema Informatico Territoriale (G.I.S.) con risoluzione 10m x 10m. Considerando la scala delle mappe e le dimensioni degli oggetti considerati, il grado di risoluzione è sufficientemente accurato (Hengl, 2006).

Il modello di suscettibilità è stato elaborato solo su una parte dell'area in studio (area di training di circa 10 km^2) (Fig. 4.1), così da consentire una verifica indipendente nelle parti escluse dall'elaborazione del modello. I fattori geologico-

ambientali di seguito descritti fanno riferimento all'area di training, ma le caratteristiche sono essenzialmente comuni a tutta l'area di studio.

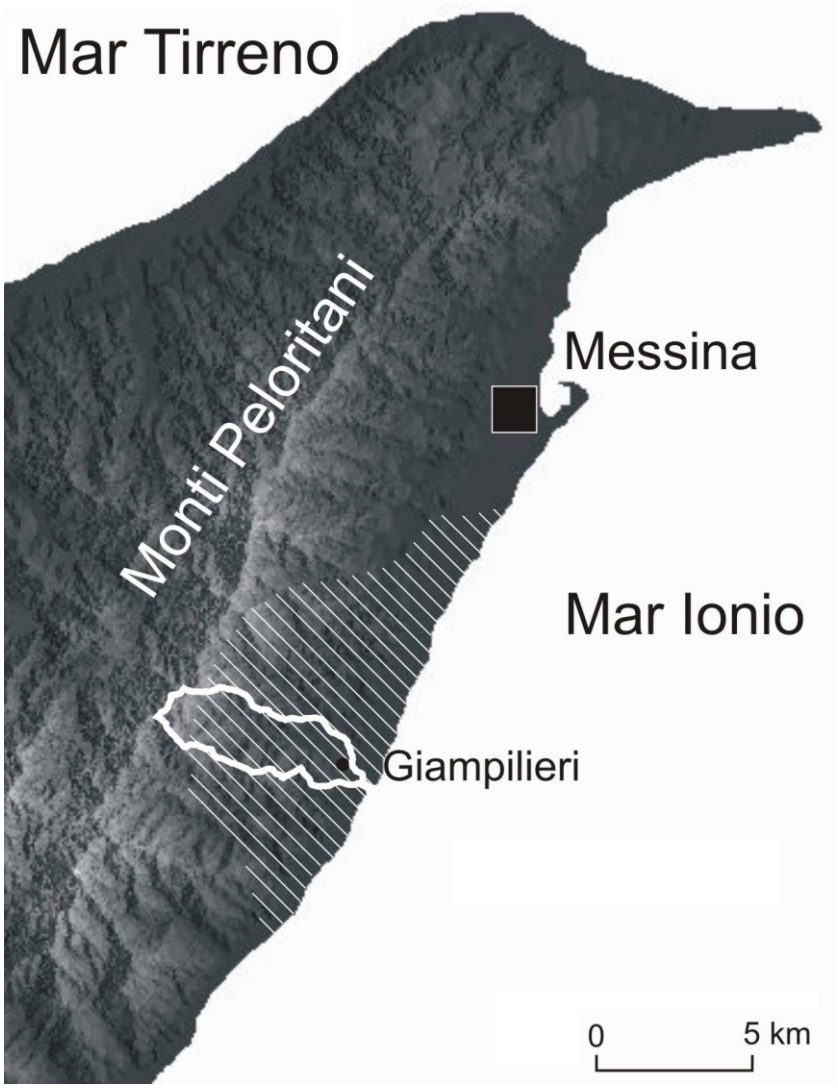

Fig. 4.1. Ubicazione dell'area di elaborazione del modello di suscettibilità (contorno bianco) e area coinvolta nei dissesti dell'Ottobre 2009 (area tratteggiata).

4.1. Catalogo fenomeni franosi

Al fine di mappare la suscettibilità ad una tipologia di evento franoso è necessario disporre di un catalogo dei fenomeni di dissesto. L'occorrenza simultanea di moltissimi dissesti, a seguito di fattori scatenanti come terremoti o forti piogge, fornisce l'esclusiva opportunità di studiarne la distribuzione in relazione ai fattori predisponenti.

Il primo Ottobre 2009 più di un migliaio di dissesti si sono verificati in un'area di ~ 30km^2 in conseguenza ad un eccezionale evento atmosferico. La mappa redatta

Dipartimento Regionale di Protezione Civile (Basile, 2010) è stata verificata sul terreno e integrata con i dati mancanti.

La mappa dei dissesti di Basile (2010) distingue le aree prevalentemente caratterizzate da erosione e le aree in prevalente accumulo (Fig. 3.20). Ma le condizioni critiche che determinano l'instabilità si verificano esclusivamente nella zona sorgente del dissesto, o nel suo immediato intorno. Il dissesto può successivamente propagarsi nello spazio sotto il controllo di altri fattori. Pertanto, l'analisi della suscettibilità deve considerare solo questa porzione della frana.

Come area sorgente di ogni dissesto si è considerato un cerchio di 25 m in diametro che racchiude la zona di alimentazione di ogni evento franoso, assumendo così che le condizioni critiche sono uniformi all'interno di quest'area (Salciarini et al., 2006). Il valore scelto è coerente con la scala di analisi (Hengl, 2006) e con la variabilità spaziale dei fattori predisponenti così come osservato sul terreno.

Sono 182 i dissesti che ricadono all'interno dell'area di elaborazione, 1230 quelli mappati includendo anche le aree di test (Fig. 4.2).

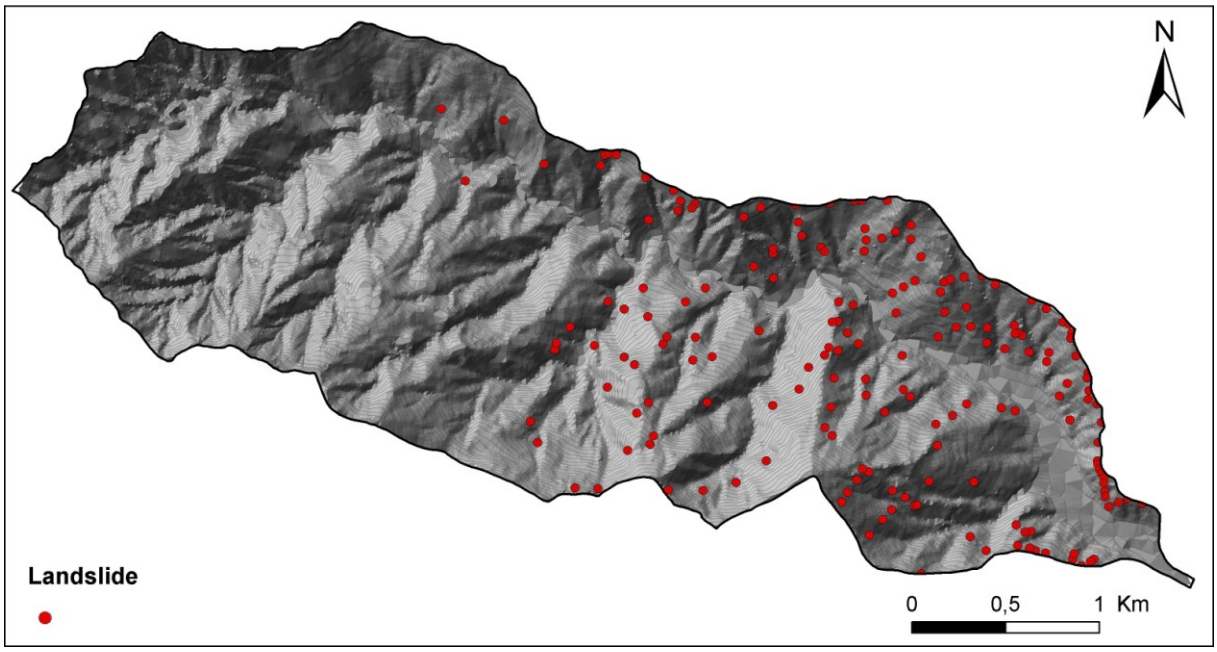

Fig. 4.2. Mappa dei dissesti per il bacino del Torrente Giampilieri. L'area di origine di ogni dissesto è rappresentata da un cerchio di 25 metri in diametro.

4.2. Geologia

Esiste una stretta relazione tra le caratteristiche geologiche di un territorio e la tipologia e l'intensità dei dissesti che lo caratterizzano. Pertanto, la mappa geologica

costituisce un fattore standard nelle analisi di suscettibilità da frana condotte con metodi qualitativi o quantitativi (van Westen et al., 2008).

La mappa geologica dell'area in studio è il risultato di rilievi condotti direttamente sul terreno. Il bedrock geologico nel settore in studio consiste principalmente in tre differenti tipi di rocce metamorfiche (Fig. 4.3) appartenenti alle varie unità tettoniche del complesso Kabilo-Calabride (APAT, 2008) che, come detto nel capitolo precedente, rappresentano il basamento deformato del paleo-margine europeo e che oggi costituiscono l'ossatura di tutta la catena peloritana.

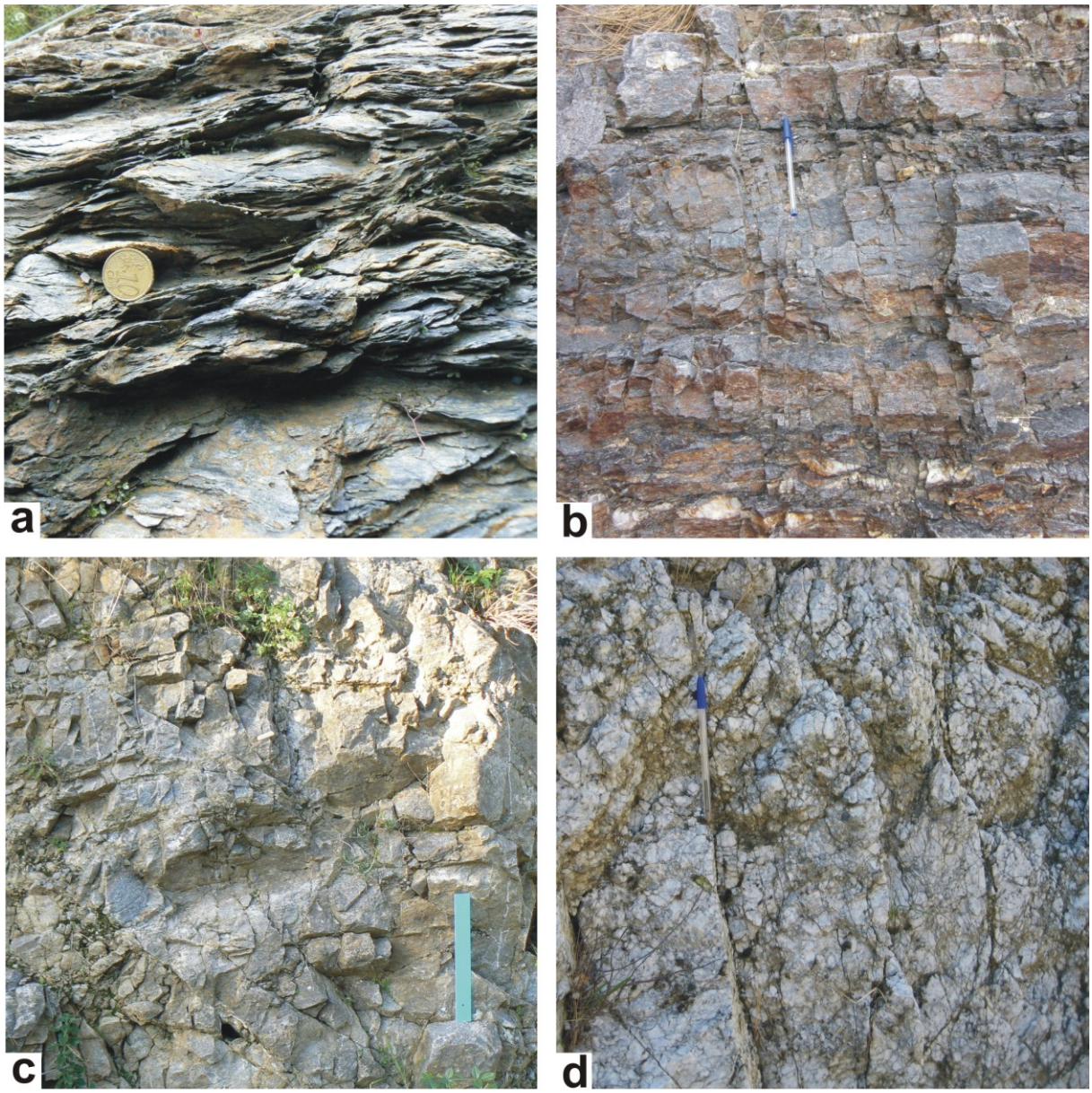

Fig. 4.3. Litotipi appartenenti alle unità metamorfiche peloritane; a: filladi (Unità di mandanici); b: micascisti (Unità del Mela); c: paragnaiss (unità dell'Aspromonte); d: grosso incluso quarzoso (Unità dell'Aspromonte). Si noti l'elevata fatturazione e alterazione di tutte i litotipi.

Nel dettaglio, le unità metamorfiche che affiorano sono: l'Unità dell'Aspromonte, l'Unità del Mela e l'Unità di Mandanici (Fig. 4.4). Dal punto di vista geologico-strutturale l'area in studio ricade all'interno di una finestra tettonica; all'interno, in posizione strutturalmente inferiore, affiorano i terreni metamorfici di più basso grado (l'Unità di Mandanici), bordati superiormente dai micascisti e dai paragnessi delle Unità metamorfiche di grado metamorfico più alto (Unità del Mela e Unità dell'Aspromonte).

L'unità di Mandanici, il cui litotipo principale è rappresentato da filladi, affiora lungo un'estesa fascia del settore orientale della catena, per poi attraversarla, seppure in maniera discontinua, fino all'estremità occidentale. Nell'area in studio affiorano filladi a grana fina o finissima, di colore grigio-verde e grigio-argenteo, con comuni liste e noduli quarzosi; la scistosità è fitta e conferisce alla roccia un aspetto scagliettato.

L'unità del Mela affiora estensivamente solo nella porzione centrale della catena peloritana. Il litotipo principale è il micascisto a grana media e piccola, la struttura è fortemente scistosa. Si presenta spesso scolorito e alterato. Affiora principalmente tra gli abitati di Giampilieri Superiore e Molino.

L'Unità dell'Aspromonte affiora nell'estrema porzione occidentale dei Monti Peloritani, lungo la dorsale della stessa catena, ed estesamente nel massiccio dell'Aspromonte in Calabria Meridionale. Nell'area in studio essa è costituita quasi totalmente da paragneiss a grana media e grossa, con struttura spesso massiva e talora orientata. A questi si accompagnano dei grossi corpi quarzosi molto alterati e fratturati e dei marmi a silicati biancastri, massivi che costituiscono la vetta di alcuni rilievi.

Sono presenti depositi Miocenici e Plio-Pleistocenici di natura sedimentaria. Si tratta per lo più di depositi terrigeni, talora a contenuto marnoso; sono talvolta associati ai terrazzi marini si rinvengono anche limitati affioramenti di calcareniti giallastre fossilifere o sabbie.

Infine, depositi recenti e attuali di natura esclusivamente ghiaiosa o con matrice sabbioso-limosa, costituiscono piccole conoidi allo sbocco di valli secondarie o gli alvei alluvionali delle incisioni principali.

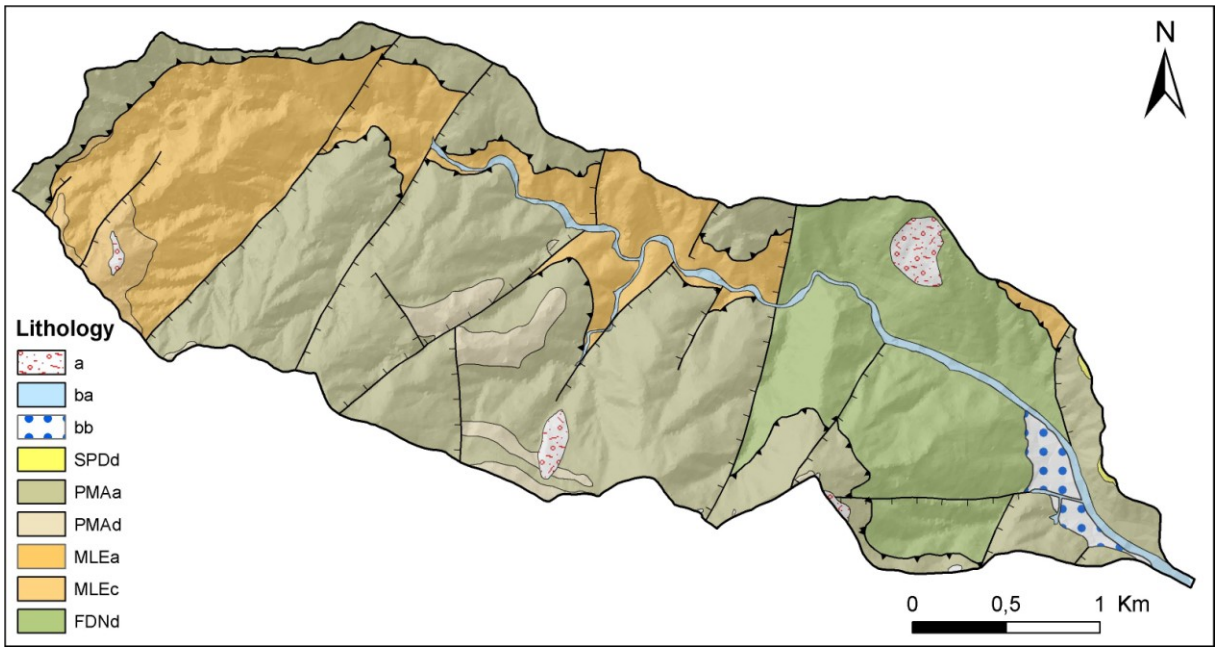

Fig. 4.4. Mappa geologica del bedrock (abbreviazioni da: APAT, Servizio Geologico d'Italia, Dipartimento Difesa del Suolo: Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 601, Messina. Reggio di Calabria, S.EL.CA, Firenze, 2008; a: depositi di versante; aa: depositi alluvionali attuali; bb:depositi alluvionali recenti; SPDd: calcareniti; PMAa: paragneiss dell'Unità dell'Aspromonte; PMAd marmi dell'Unità dell'Aspromonte; MLEa: mica-scisti dell'Unità del Mela; MLEc: marmi dell'Unità del Mela; FDNd: fuilladi dell'Unità di Mandanici.

4.3. Caratteristiche geomeccaniche

A causa della natura metamorfica e degli eventi deformativi a cui sono state soggette durante la loro storia geologica, le rocce sono profondamente fratturate e alterate. E' quindi utile una classificazione dei litotipi che si basi sulla qualità degli ammassi rocciosi al di là dei caratteri mineralogici o della posizione strutturale (Federici et al., 2007, van Westen et a., 2008). La classificazione adottata è il Rock Mass Rating (RMR) proposto da Bieniawski (1979), un indice che si basa sulla stima di diversi parametri al fine di classificare gli ammassi rocciosi in classi di qualità.

Le stazioni di misura sono state scelte in modo da essere rappresentative delle diverse Unità metamorfiche e di avere una distribuzione quanto più omogenea sull'area in studio.

La rappresentatività del sito di misura può costituire un limite per la scelta del sito stesso; infatti affioramenti sufficientemente estesi non si rinvengono frequentemente sui versanti, o possono non essere accessibili. Pertanto, si è tenuto conto della possibilità di poter effettuare il rilievo su un affioramento continuo sia in lunghezza

che in altezza, di una buona esposizione delle superfici di discontinuità dell'ammasso roccioso e, non ultimo, di poter accedere agevolmente ai vari punti di stazione.

4.3.1. Rock Mass Rating (RMR)

La classificazione RMR di Beniawsky (1979) si basa sul rilievo diretto, in affioramento (Fig. 4.5), di cinque parametri:

A1 = resistenza a compressione uni assiale (UCS);
A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
A3 = spaziatura delle discontinuità;
A4 = condizione delle discontinuità (persistenza, apertura, rugosità, riempimento, alterazione);
A5 = condizioni idrauliche;

La somma algebrica dei cinque parametri fornisce il valore chiamato "RMR base"e (RMRb = A1+A2+A3+A4+A5), che viene poi inserito in uno schema di cinque classi che descrivono la qualità dell'ammasso roccioso. Le classi sono: molto scarso, scarso, discreto, buono e molto buono

Sono di seguito descritti i parametri e le procedure di elaborazione dei dati; le tabelle relative ad ogni stazione sono in Appendice.

Il valore del parametro A1 è funzione della resistenza alla compressione uni-assiale (Uniaxial Compressive Strength, UCS) della roccia. Quest'ultima è stata stimata in sito tramite l'impiego del martello di Schmidt (noto anche con il nome di sclerometro), che misura la "durezza di rimbalzo" (R) di una massa spinta sulla superficie della roccia stessa. L'indice di rimbalzo R, opportunamente corretto in funzione dell'orientazione dello strumento all'atto della misurazione, è direttamente correlabile alla resistenza uniassiale della roccia. In letteratura esistono numerose relazioni empiriche che forniscono UCS in funzione di R (Deere & Miller, 1966; Aufmuth, 1973; Irfan & Daerman; 1978; Beverly et al., 1979; Kidybinsky, 1980; Sheorey et al., 1984; Haramy & De Marco, 1985; Cargill & Shakoor, 1990; Xu et al., 1990; Kahraman, 2001; Basu & Aydin, 2004; Aydin & Basu, 2005; Aydin, 2009); alcune fanno specifico riferimento a determinati litotipi, altre invece hanno carattere generale. I valori di UCS sono stati inizialmente calcolati con diverse relazioni e il confronto ha messo in luce una certa variabilità dei risultati per alcune di esse (Fig.

4.6); tale variabilità non incide in maniera rilevante sui valori di RMRb (Fig. 4.7). Si è comunque preferitala relazione proposta da Xu et al., (1990) poiché prende in considerazione litologie affini a quelle affioranti; in dettaglio UCS=298e^(0.06R).

Fig. 4.5. Attività condotte sul terreno per la stima della qualità degli ammassi rocciosi.

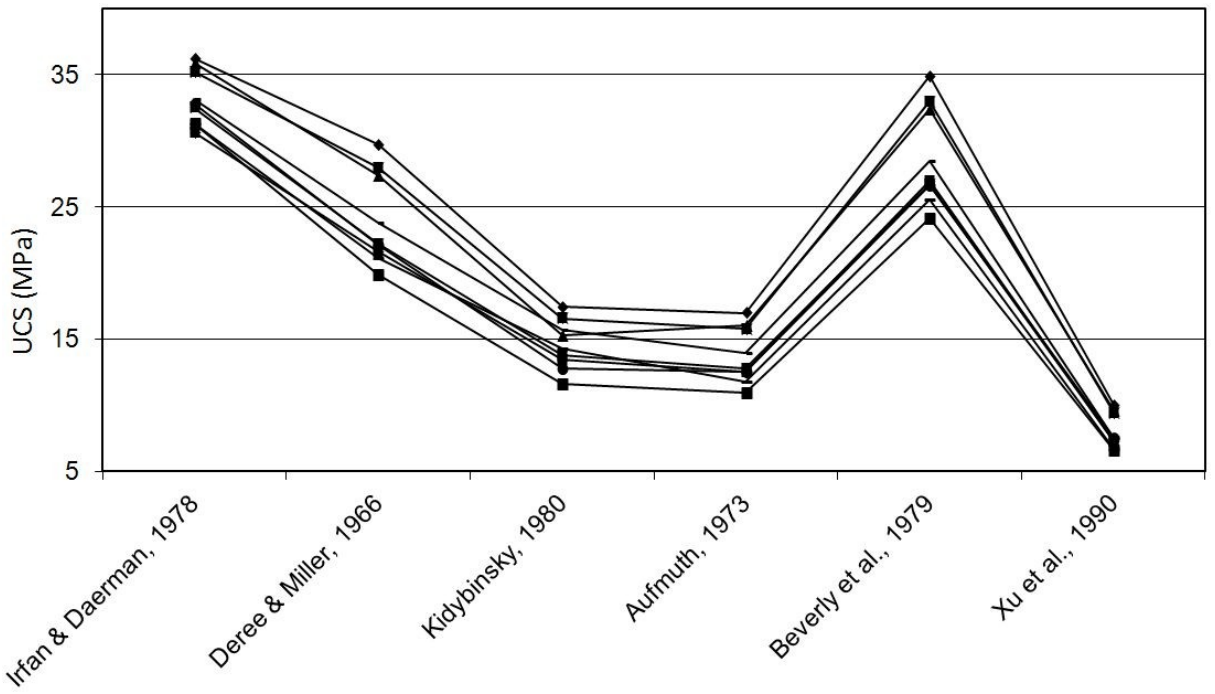

Fig. 4.6. Variabilità della resistenza a compressione uni assiale (UCS) per le varie stazioni, calcolata con diverse relazioni empiriche.

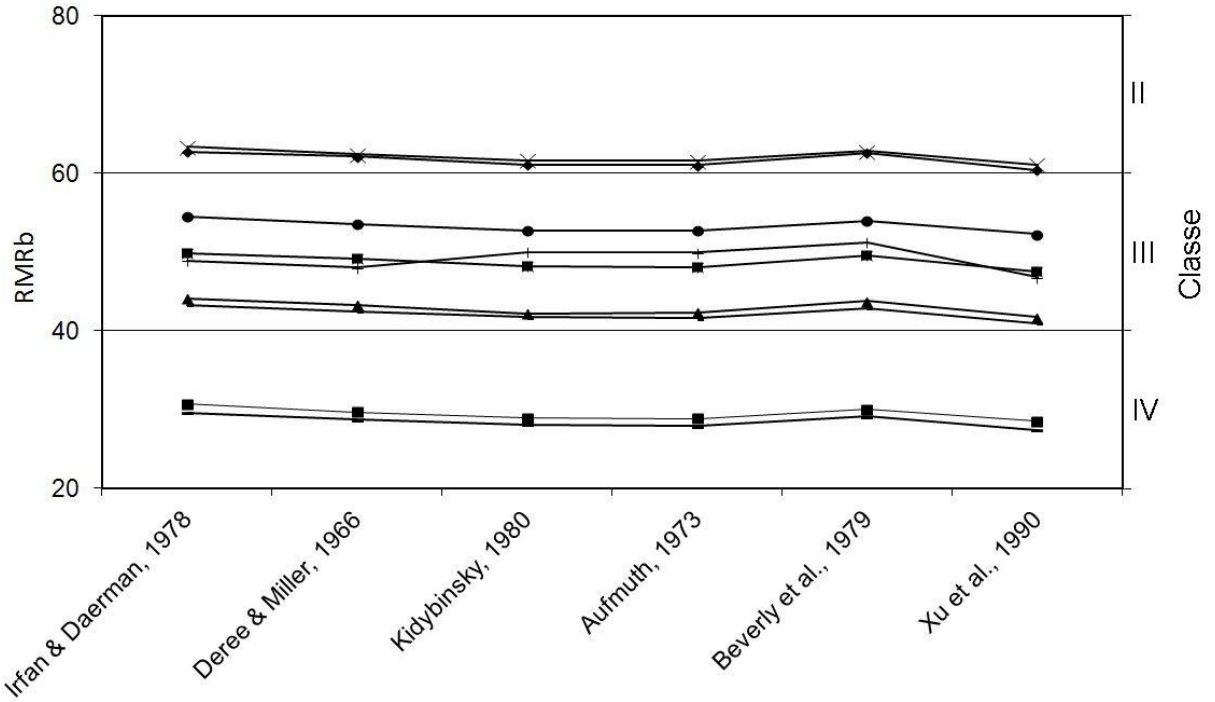

Fig. 4.7. Variabilità dell'indice RMRb, calcolato considerando relazioni diverse (Fig. 4.5) per la stima del parametro A1.

Il parametro A2 è funzione del valore del Rock Quality Designation Index (RQD). L'indice RQD è definito dalla percentuale dalla somma delle porzioni di un carotaggio meccanico con lunghezza maggiore o uguale a 10 cm, rispetto alla lunghezza totale della perforazione. Non sempre è possibile effettuare un sondaggio diretto, pertanto il valore di RQD può essere ricavato dal numero e dalla spaziatura delle discontinuità in affioramento. In funzione del tipo di approccio del rilievo dell'ammasso roccioso (finestra o scanline) si ricorre a diverse relazioni empiriche che si basano su parametri di densità delle discontinuità. Dalla relazione di Palmström (1982) si ha:

$$RQD = 115 – 3{,}3 * Jv$$

con:
Jv numero di fratture per metro cubo di roccia.

Dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100\, e^{(0{,}1\, n)} * (0{,}1\, n + 1)$$

con:
n numero medio di giunti per unità di lunghezza.
La scelta dell'una o dell'altra relazione è dettata esclusivamente dall'approccio monodimensionale (scanline) o bidimensionale (finestra) del rilievo.

Il valore di A3 è funzione della spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti.

Il valore del parametro A4 è relativo alle condizioni delle discontinuità, e, benché alcune procedure siano standardizzate, è quello più suscettibile alla soggettività del rilevatore. Questo parametro si compone combinando le stime sulla persistenza delle discontinuità (continuità nello spazio), sull'apertura media tra le pareti della discontinuità, sulla rugosità delle pareti, sul grado di alterazione, sulla presenza e sulla natura di materiale di riempimento nelle discontinuità.

Il parametro A5 dipende dalla presenza e dalla quantità di acqua nelle discontinuità. Si differenziano discontinuità asciutte, umide, o con venute più o meno abbondanti di acqua.

Infine, i valori di RMRb sono classificati in cinque intervalli a cui corrispondono altrettante valutazioni di qualità dell'ammasso roccioso (Tabella 4.1). Inoltre, dal valore di RMRb è possibile stimare anche i parametri caratteristici dell'ammasso: coesione, angolo di attrito e modulo di deformazione.

ID	Località	Quota	Litologia	RMR base	Classe	Descrizione
101118_01	Torrente Giampilieri	380	micascisti	60,4	III	mediocre
101118_02	Scuola di Molino	200	filladi	28,5	IV	scadente
101125_01	Puntale S. Anna	390	filladi	41,7	III	mediocre
101130_01	Molino	180	micascisti	61,1	II	buono
101203_01	Torrente Giampilieri	110	filladi	47,5	III	mediocre
101103_02	Giampilieri Via Vallone	150	micascisti	52,2	III	mediocre
101207_03	Portella S. Andrea	410	paragneiss	46,8	II	buono
101221_01	Torrente Motte	133	paragneiss	41,0	III	mediocre
101222_01	Vallone Leddatena	660	paragneiss	27,4	IV	scadente

Tabella 4.1. Valori dell'indice RMRb di Bieniawski (1979) e classificazione qualitativa per le stazioni di misura nel bacino del Torrente Giampilieri.

4.3.2. Mappa delle caratteristiche geomeccaniche

Al fine di avere una mappa utile all'analisi della suscettibilità, è necessario che i risultati sulle singole stazioni puntuali siano estesi nello spazio.

I valori di RMRb, e conseguentemente le classi di qualità mostrano una certa variabilità anche a parità di litologia (Fig 4.8). I micascisti sono quelli che generalmente hanno caratteristiche migliori, viceversa i paragneiss sono quelli mediamente più scadenti.

Greco and Sorriso-Valvo (2005) hanno verificato, in Aspromonte, la dipendenza delle caratteristiche dell'ammasso roccioso, a parità di litologia, dalla distanza dai principali lineamenti tettonici (van Westen et al., 2008). In condizioni geologiche analoghe, per la distribuzione spaziale delle caratteristiche degli ammassi si è tenuto

conto, oltre alla litologia, di due classi di distanza dai lineamenti tettonici dell'area (25 m e 75 m) (Fig. 4.9).

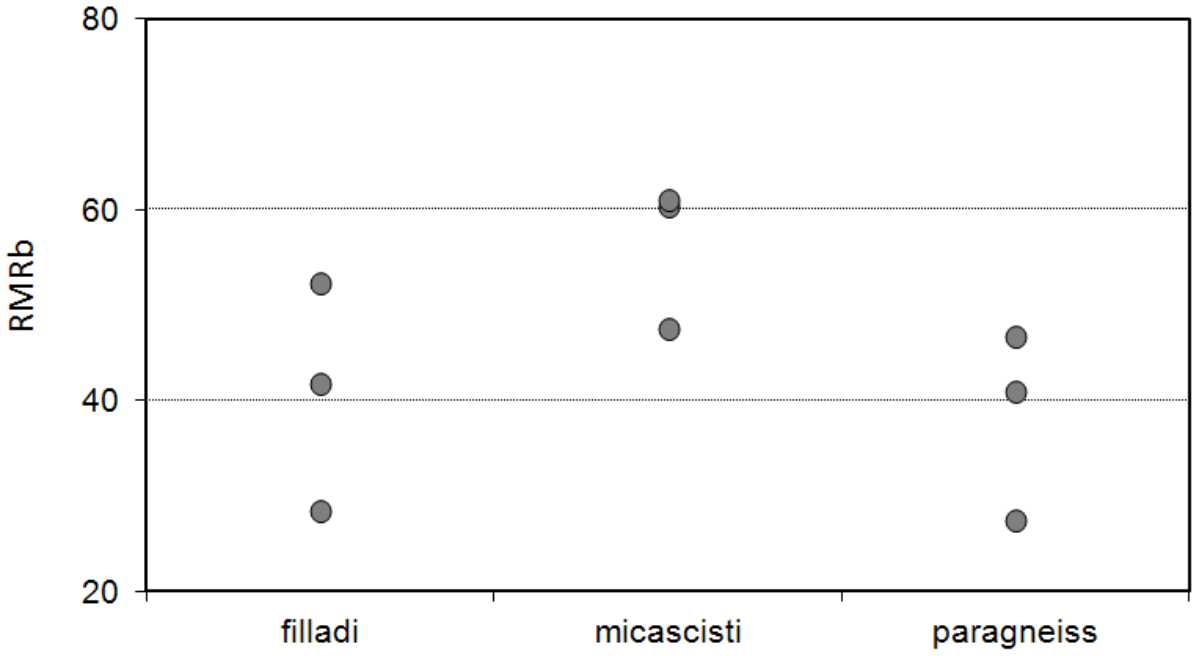

Fig. 4.8. Valori dell'indice RMRb di Bieniawski (1979) per differenti litologie.

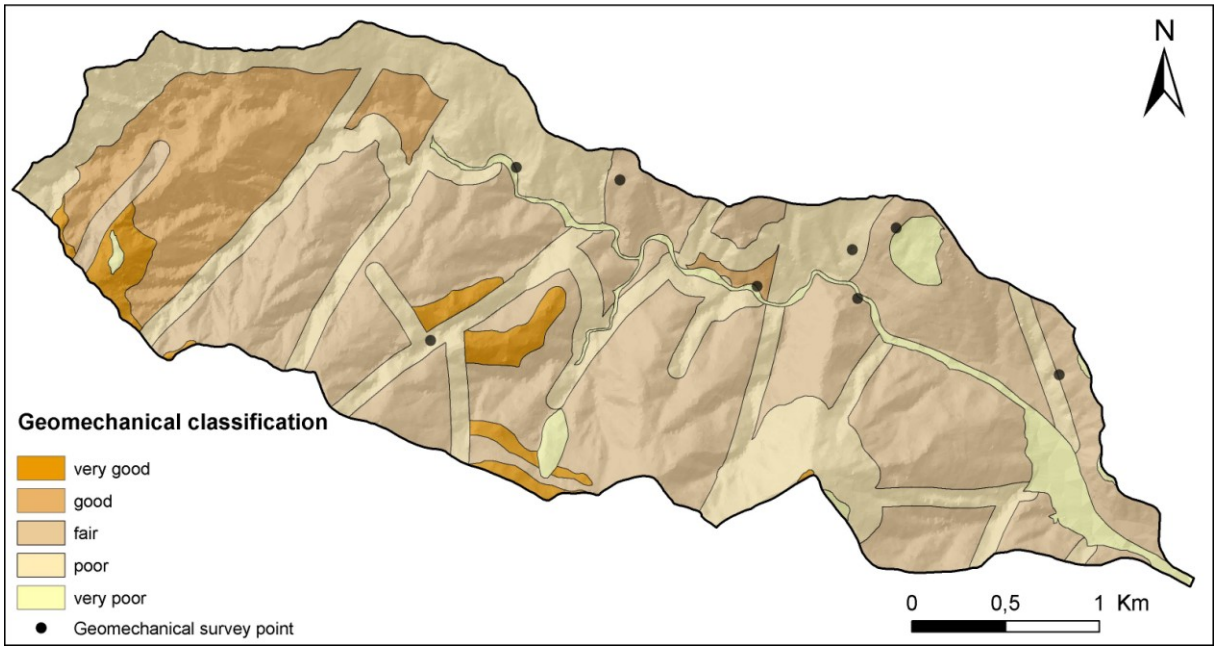

Fig. 4.9. Classificazione geomeccanica per il bacino del Torrente Giampilieiri; è il risultato della combinazione del valore RMR di Bieniawski (1979) con due classi di distanza dai principali lineamenti strutturali (25 m e 75 m).

4.4. Geomorfologia

Non esistite una classificazione universale degli elementi geomorfologici ma essa è funzione delle caratteristiche specifiche del territorio in esame. Inoltre dipende dalla scala e dagli scopi della mappa stessa e anche dell'esperienza del compilatore (van Westen et al., 2008). La carta geomorfologica è stata compilata tramite osservazioni dirette e con l'ausilio di foto aeree. Essa distingue unità di terreno tenendo in considerazione i processi agenti, l'origine, e il materiale dei singoli elementi morfologici. Tra questi, la copertura colluviale rappresenta l'elemento più rilevante. Questo materiale ricopre la maggior parte dei versanti con uno strato di spessore piuttosto uniforme (~ 1 m). Tra le altre classi si distinguono: pendii rocciosi, canali a forte incisione lineare e aree con erosione superficiale diffusa.

Naturalmente, in una stessa porzione di territorio possono coesistere due o più processi morfologici. In questo caso sarà il processo che si esplica con maggiore rilevanza ad essere preso in considerazione e ad essere rappresentativo per quella porzione di territorio (Fig. 4.10).

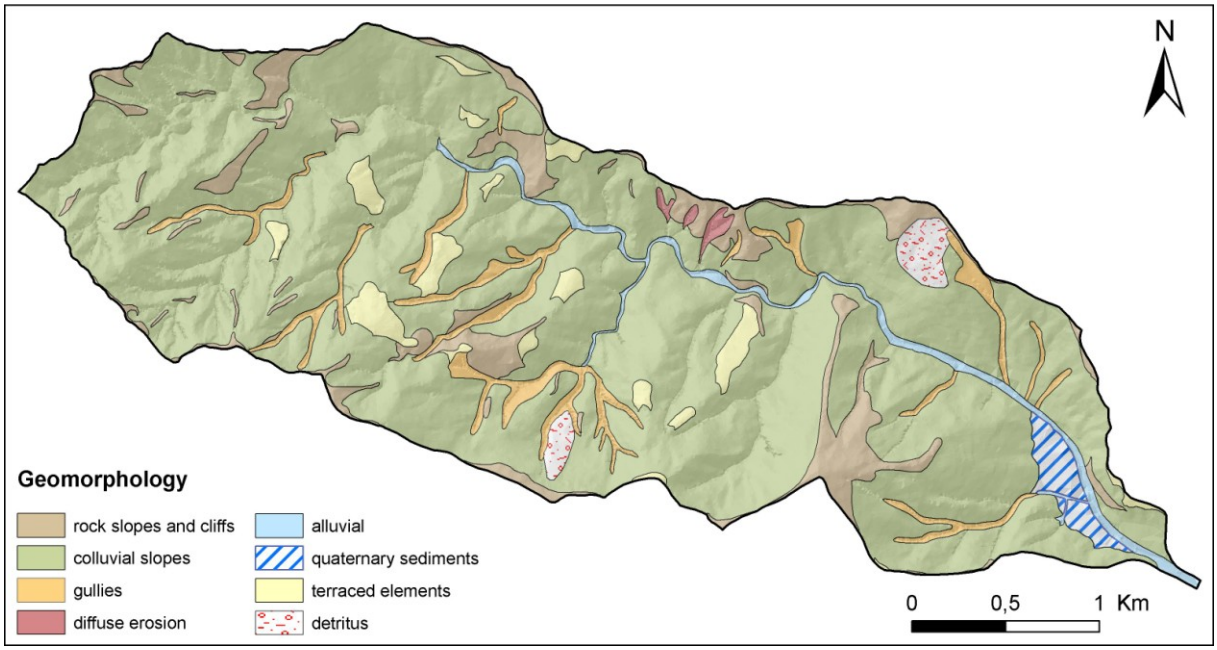

Fig. 4.11. Mappa delle unità geomorfologiche.

4.4. Fattori derivati da DEM

La topografia è tra i fattori principali nelle analisi di pericolosità geologica. È necessario rappresentare la superficie del terreno con un accurato livello di precisione; la rappresentazione digitale è chiamata Digital Elevation Model (DEM).

Un DEM può essere costruito con varie tecniche; per l'area in studio la base è costituita dalla Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000 ed equidistanza di 10 m (Fig. 4.11). Il modello approssima la superficie reale in maniera sufficientemente dettagliata (risoluzione 10 x 10) da poter derivare tre fattori topografici che hanno influenza sui dissesti: pendenza, esposizione, distanza dalle linee di drenaggio.

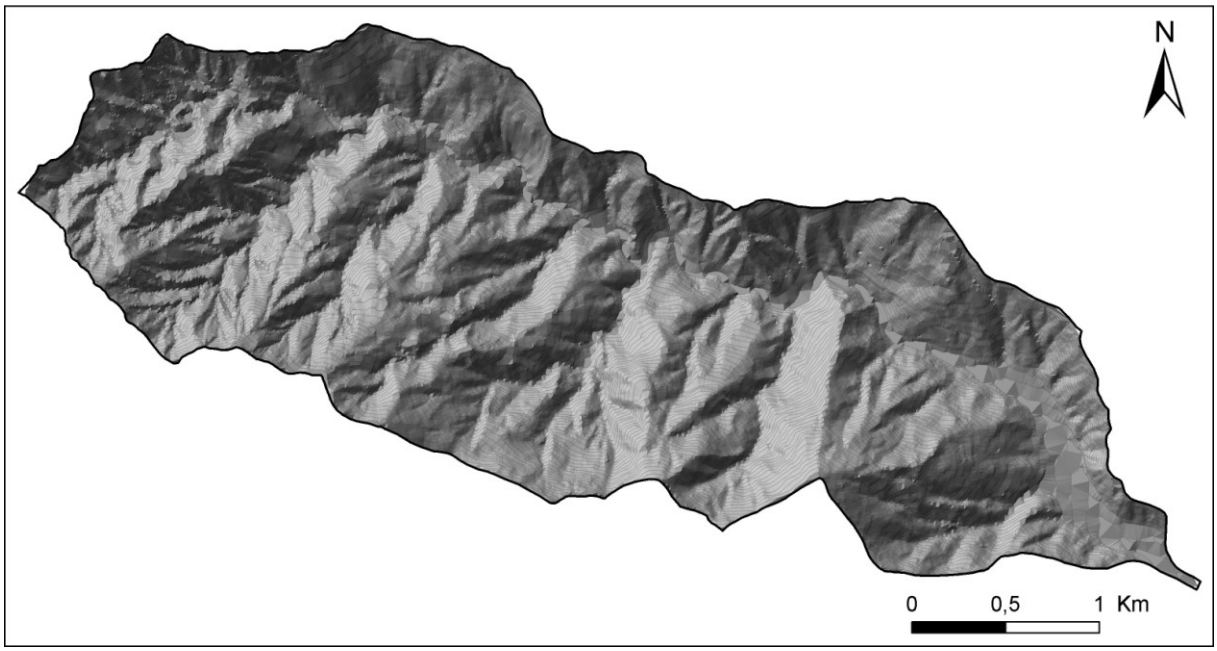

Fig. 4.11. Modello digitale (DEM) del bacino del Torrente Giampilieri.

La pendenza esercita un controllo diretto sull'innesco di tutte le tipologie di fenomeno franoso. Anche nel caso di dissesti superficiali, l'inclinazione dei versanti è un fattore determinante ed è preso in considerazione in tutte le analisi quantitative di suscettibilità e pericolosità (van Westen et al., 2008). In questo settore dei Peloritani e le cime dei rilievi raggiungono i 1200 m s.l.m entro i 5 km dalla linea di costa; ne conseguono pendenze molto elevate, per esempio, nell'area di elaborazione del modello la pendenza media è di 32°. Il fattore pendenza è stato suddiviso in sei classi: la prima comprende le aree pianeggianti o con debolissime pendenze (<5°), quattro classi hanno intervallo costante di 10°, infine l'ultima classe raggruppa le aree con anglo di pendenza >45° (Fig. 4.12). Questa suddivisione in intervalli irregolari è dovuta alla distribuzione di frequenza delle frane superficiali in relazione alla pendenza del punto di innesco. Infatti, la distribuzione presenta un picco a pendenze intermedie e decresce sia verso quelle minori che verso quelle maggiori.

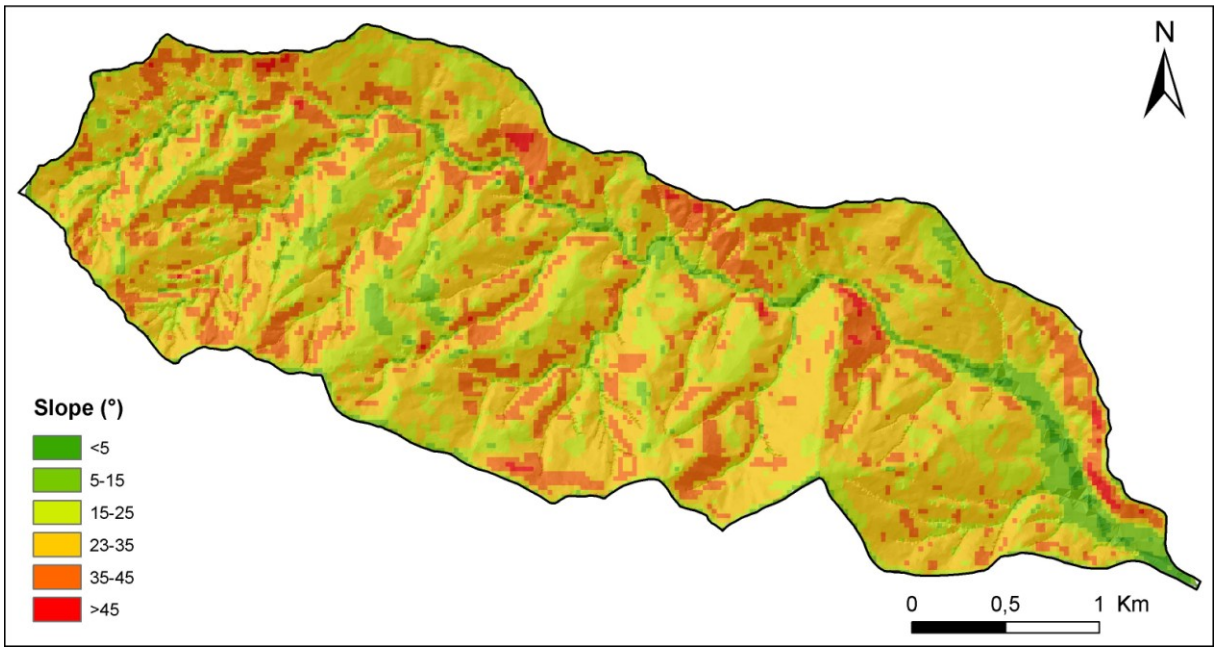

Fig. 4.12. Carta delle pendenze del bacino del Torrente Giampilieri.

Anche l'esposizione di un versante può avere influenza sui processi idrologici e quindi indirettamente agisce sull'alterazione, sulla vegetazione e lo sviluppo delle radici (van Westen et al., 2008). Ma la mappa dell'esposizione suggerisce anche quali versanti sono maggiormente inclini al dissesto considerando che l'orientazione dei versanti è strettamente collegata allo stato di evoluzione del reticolo di drenaggio. Il fattore esposizione è suddiviso in otto intervalli uguali di ampiezza 45° (Fig. 4.13).

Considerare la presenza del reticolo di drenaggio, specialmente se in erosione, è prassi negli studi di suscettibilità a piccola e media scala (van Westen et al., 2008). Nei Monti Peloritani sia i segmenti di primo ordine, che quelli principali, sono in forte erosione (Morgagni et al., 1993; Goswami et al., 2012), pertanto si sono considerate tre classi con distanza crescente dal sistema di drenaggio: 50, 150 e >150 m (Fig. 4.14).

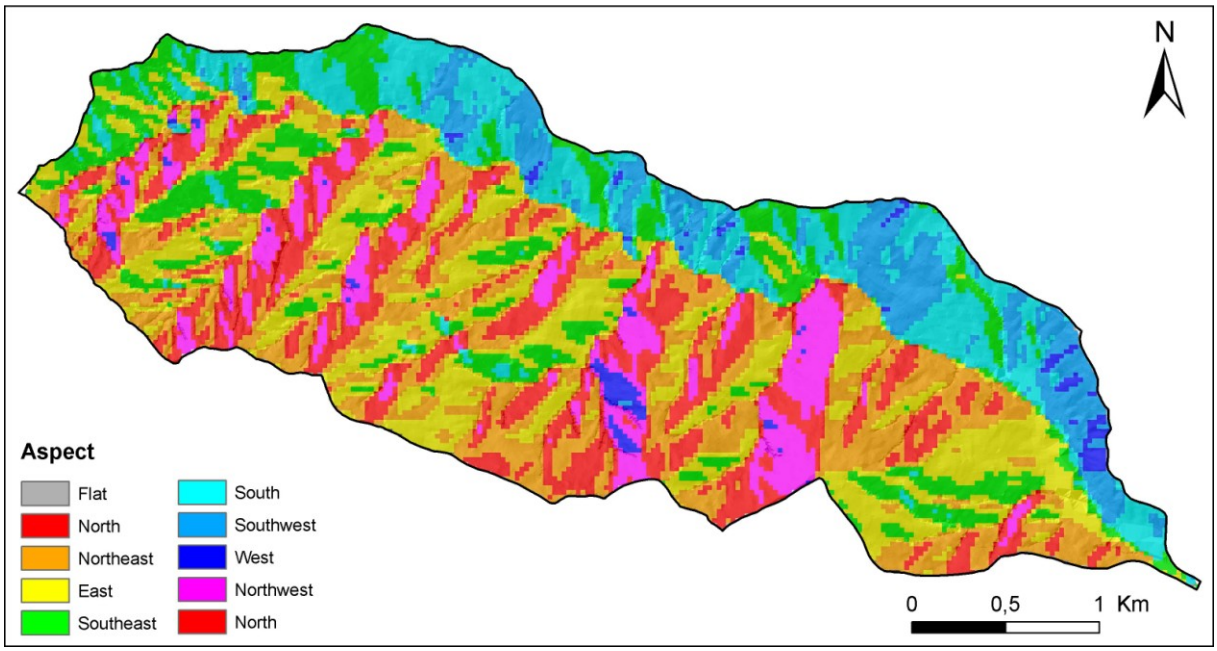

Fig. 4.13. Carta di esposizione dei versanti del bacino del Torrente Giampilieri.

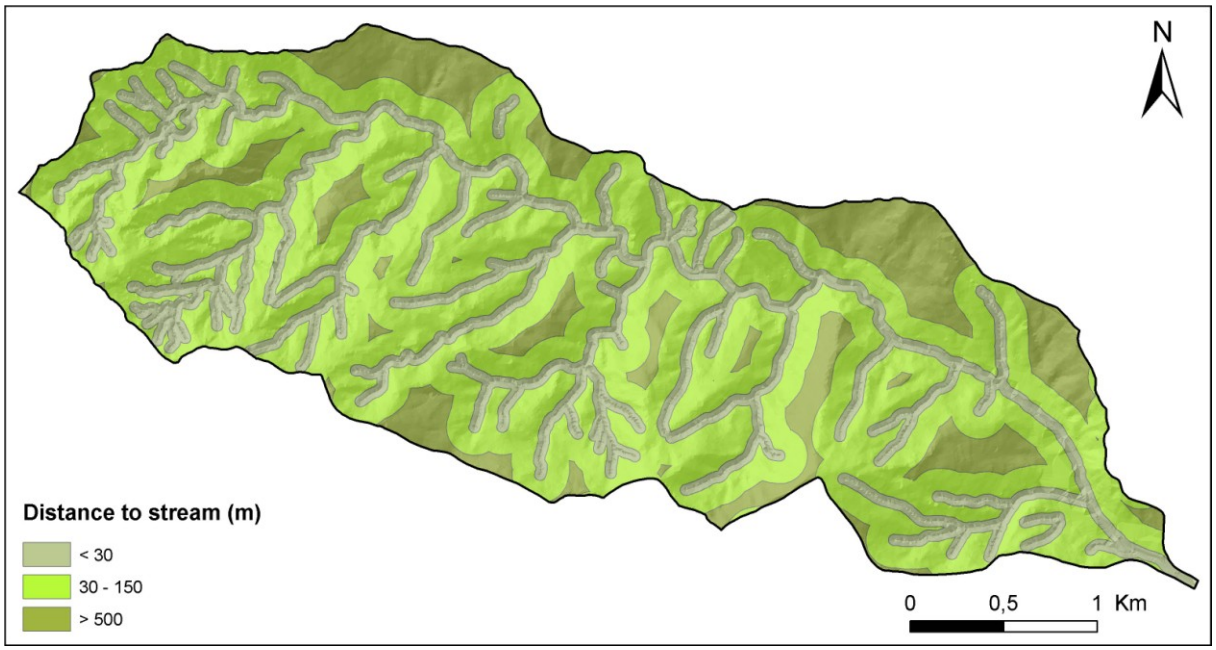

Fig. 4.14. Carta delle classi di ditanza dal reticolo di drenaggio.