

Automazione nel calcolo della mappa dell'indice TOBIA per la realizzazione di una cartografia di propensione al dissesto

Corrado Cencetti (*), Pierluigi De Rosa (*), Andrea Fredduzzi (*), Ivan Marchesini (*)
& Annalisa Minelli (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Univesità di Perugia, Via Duranti 93, 06125 Perugia, 0755853670
corcen@unipg.it, pierluigi.derosa@unipg.it, fredduzzi@unipg.it, marchesini@unipg.it, annalisa.minelli@unipg.it

Riassunto

Il rapporto tra assetto della stratificazione e superficie topografica è uno dei fattori fondamentali per l'analisi di franosità di un versante. La nota propone un metodo che consente la rappresentazione cartografica automatica della giacitura degli strati in rapporto all'orientazione del versante, tramite la suddivisione dello spazio in campi, ognuno con un suo grado di conformità, che si basa sul calcolo dell'indice TOBIA - TOPographic/Bedding-plane Intersection Angle (Meentemeyer & Moody, 2000). Questo indice è correlato all'angolo di intersezione tra la superficie topografica e il piano di strato e viene calcolato a partire da 4 variabili (inclinazione e immersione degli strati; pendenza ed esposizione del versante). La mappa che si ottiene è suddivisa in 3 classi: a) franapoggio (lo strato ha la stessa immersione del versante); b) reggipoggio (lo strato ha immersione opposta a quella del versante); c) traversopoggio (l'immersione dello strato forma un generico angolo con quella del versante). Il calcolo dell'indice TOBIA necessita di una distribuzione omogenea nello spazio delle 4 variabili su citate. Tuttavia, mentre i dati di pendenza e di esposizione del versante sono immediatamente ricavabili tramite GIS e restituibili come mappe raster, diversa è la situazione per i dati di immersione/inclinazione degli strati, che sono puntuali. L'interpolazione di dati giaciture, in quanto attributi di una mappa vettoriale di punti distribuiti arealmente, può presentare alcune difficoltà di esecuzione poiché la coppia di parametri che definisce l'orientazione degli strati ha un dominio di valori definito ($0-360^\circ$; $0-90^\circ$) che rende complesso sia il trattamento del dato, sia l'interpretazione delle mappe risultanti. Inoltre, la presenza di possibili strutture plicative rovesce complica il problema. Sulla base di ciò, la nota presenta l'applicazione di una procedura che analizza la normale al piano di strato per la rappresentazione delle giaciture, illustrando gli strumenti utilizzati e i risultati ottenuti nel corso del lavoro, sviluppato in ambiente GRASS GIS.

Abstract

Information about geometric bedding plane and its interactions with land surface is a main factor in landslide susceptibility analysis. This work purposes a GIS-based method to obtain a raster map of the relation between bedding plane of the geological strata and topographic surface, using an index (TOBIA: TOPographic Bedding-plane Intersection Angle) first defined by Meentemeyer & Moody (2000). This index is calculated starting from four parameters: dip and strike of geological strata, slope and aspect of the terrain. Using such informations we can achieve a classification of the map in 3 classes: a) cataclinal (the bedding plane dips in the same direction as the slope); b) anacclinal (the strata dip in the opposite direction with respect to the slope); c) orthoclinal (the bedding plane dips in generical direction respect to the slope). To be modeled cnotinuously, the TOBIA index needs parameters spatially distributed. While it's easy to obtain continuous information about landscape using GIS starting from a DEM, it's not easy to deal with puntual geological data because the

couple of parameters defining orientation of geological strata has a precise range of value (0-360° and 0-90°) which is difficult to elaborate and interpolate, then it's difficult to considerate the presence of reversed folded structures. So, this work defines a representation method using the normal direction in order to define the orientation of bedding plane and it shows procedures and results obtained during the work, entirely developed in GRASS GIS.

1. Introduzione

Il lavoro si inserisce in un progetto di ricerca finalizzato alla messa a punto di una metodologia per la elaborazione di mappe di rischio da frana tramite metodi a indice (Clerici et alii, 2002).

2. L'indice TOBIA e la carta di interazione tra topografia e stratificazione – modello teorico

Il metodo utilizzato mira a cartografare in modo automatico, tramite l'utilizzo di più carte, la giacitura degli strati in relazione a quella dei versanti (Meentemeyer & Moody, 2000), al fine di descrivere l'intersezione tra la superficie topografica e il piano di strato mediante la suddivisione dello spazio in campi, ognuno con proprio grado di conformità.

Il metodo produce campi spazialmente distribuiti basandosi su un indice: il TOBIA (TOPographic/Bedding-plane Intersection Angle) che misura appunto l'angolo di intersezione tra la superficie e il piano, calcolato a partire da quattro variabili: a) inclinazione degli strati (θ); b) immersione degli strati (α); c) pendenza del versante (S); d) esposizione del versante (A).

Il TOBIA può quindi essere modellizzato sia per categorie che come indice continuo. La modellizzazione categoriale prevede due steps successivi:

- a) le pendenze vengono classificate in tre tipi funzionali basandosi sull'intersezione tra immersione degli strati ed esposizione del versante;
- b) le pendenze sono nuovamente suddivise basandosi sul confronto tra angolo di pendenza del versante e inclinazione degli strati.

La modellizzazione continua prevede il calcolo del TOBIA tramite una sola equazione geometrica che coinvolge tutte quattro le variabili spaziali.

A prescindere dal modello usato, quando un ammasso roccioso presenta distinti i piani di giacitura degli strati, TOBIA può essere a priori suddiviso in tre classi base:

1. il piano di giacitura immerge nella stessa direzione del versante (franapoggio o cataclinale, dall'inglese *cataclinal*);
2. il piano di giacitura immerge nella direzione opposta a quella del versante (reggipoggio o anaclinale, dall'inglese *anaclinal*);
3. l'immersione dello strato forma un generico angolo con la direzione del versante (traversopoggio o ortoclinale, dall'inglese *orthoclinal*).

In particolare, in situazione di franapoggio, possiamo distinguere il caso in cui l'inclinazione dello strato sia maggiore, minore o uguale a quella del versante, cioè le situazioni di "franapoggio più" (*cataclinal overdip*), "franapoggio meno" (*cataclinal underdip*) o semplicemente "franapoggio uguale" (*cataclinal dip*) rispettivamente.

Una simile distinzione può essere utilizzata anche per i casi di reggipoggio e traversopoggio, ma in questa trattazione, l'ulteriore suddivisione viene omessa, perché la sua valenza ai fini della valutazione della stabilità del versante è trascurabile (in entrambi i casi si ha una situazione generalmente favorevole alla stabilità del versante stesso).

Per modellare in maniera continua l'intersezione della superficie topografica con quello di strato, viene riadattata e utilizzata la logica usata per modellare la variabilità topografica con la radiazione solare (Dozier, 1980).

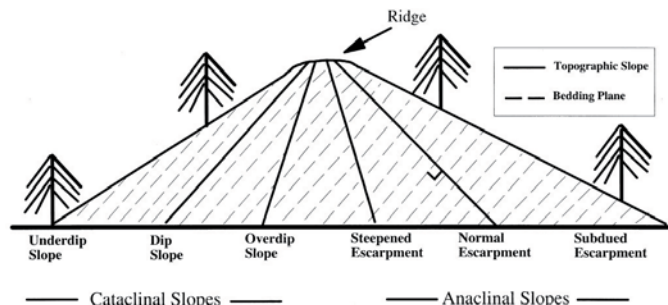


Figura 1 – Classificazione delle possibili situazioni di allineamento tra superficie topografica e giacitura (Meentemeyer & Moody, 2000).

L'indice TOBIA, in questo caso, può essere espresso in maniera continua come funzione lineare delle quattro variabili spaziali sopra definite (inclinazione e immersione degli strati; pendenza ed esposizione del versante):

$$TOBIA = \cos \theta \cos S + \sin \theta \sin S \cos \alpha \neq A$$

[1]

Si può osservare che l'indice TOBIA assume valori compresi tra -1 e 1.

Innanzitutto sono state calcolate alcune superfici fittizie in cui TOBIA varia solo in funzione della inclinazione e dell'angolo di pendenza del versante.

1. In caso di cataclinale, o franapoggio, si verifica che $(\alpha - A) = 0^\circ$.
2. In caso di anaclinale, o reggipoggio, si verifica che $(\alpha - A) = 180^\circ$.
3. In caso di ortoclinale, o traversopoggio, si verifica che $(\alpha - A) = 90^\circ$.

Per tutti tre i casi, se θ o S hanno valore nullo, il secondo fattore dell'equazione si riduce a zero e TOBIA varia tra uno e zero. In caso di franapoggio, per cui $\cos(\alpha - A) = 1$, il valore di TOBIA è circa uno per franapoggio con pendenza uguale a quella del versante e θ è paragonabile a S ; TOBIA tende invece a zero man mano che θ ed S divengono disallineati; si verifica la situazione di "franapoggio più" (*overdip*) se $\theta > S$ e di "franapoggio meno" (*underdip*) se $\theta < S$.

Se poi α ed A sono opposti, cioè $\cos(\alpha - A) = -1$ la situazione è di reggipoggio; in questo caso TOBIA è inversamente proporzionale a θ e S ; cioè, più il valore di questi parametri cresce, più diminuisce TOBIA e viceversa. Nella fattispecie, se θ ed S sono bassi, TOBIA vale circa uno; se θ ed S sono perpendicolari, TOBIA vale circa zero; se θ ed S sono alti, TOBIA tende a -1.

Nel caso di traversopoggio, accade che α ed A sono tra loro generici; quindi, il secondo membro di destra dell'equazione decresce quanto più α diventa perpendicolare ad A ; quando questo accade, la seconda parte dell'equazione tende a zero e TOBIA varia tra 1 (se θ ed S sono piccoli) e 0 (quando θ ed S sono alti). In figura 2 è mostrato lo schema riassuntivo della casistica presa in esame.

3. La zona oggetto di studio

L'area considerata per l'applicazione del metodo sopra esposto è compresa nella Carta Geologica della Regione Umbria – Sezioni n. 312090 e 312130, in scala 1:10.000 ed è estesa per circa 38 km² tra i centri abitati di Armenzano e Collepio (PG). La scelta di tale zona è stata determinata dal fatto che non presenta in affioramento depositi sciolti (i quali non hanno un preciso assetto giacitura) e quindi è possibile individuare chiaramente la giacitura delle formazioni presenti. Inoltre, sono numerosi i dati geologici riportati in carta e sono assenti sistemi di fagliazione importanti.

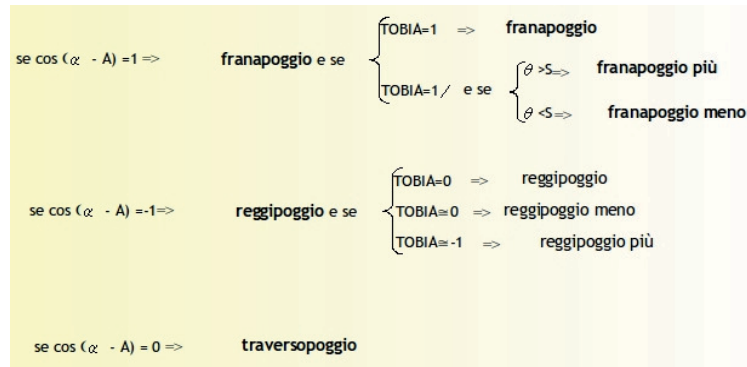


Figura 2 – Casistica presa in esame per l'analisi.

4. Preparazione dei dati: la superficie topografica

Per quanto riguarda i dati relativi ai versanti il lavoro è stato relativamente semplice, in quanto i dati di interesse (acclività ed esposizione) sono stati derivati direttamente da un modello digitale del terreno (DEM), tramite il comando di GRASS *r.slope.aspect*. In tal modo si hanno a disposizione le mappe *slope* e *aspect* del versante (figura 3).

5. Preparazione dei dati: l'assetto stratigrafico

Per quanto riguarda il dato geologico, si è proceduto alla digitalizzazione delle giaciture estrapolabili dalle carte geologiche (in totale più di 700 giaciture) e a un successivo raffittimento delle stesse tramite rilievo diretto di ulteriori giaciture. I problemi legati all'interpolazione del dato giaciturale (immersione e inclinazione degli strati) sono principalmente dovuti all'eterogeneità del

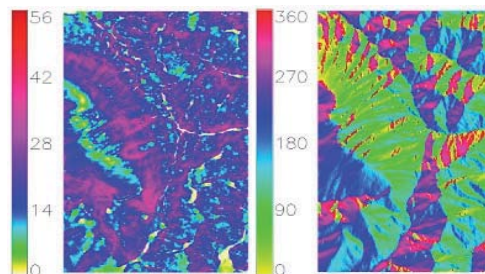


Figura 3 – Le mappe di pendenza ed esposizione del versante.

dato stesso e all'adozione di un metodo di interpolazione che tenga conto non solo degli strati in giacitura normale, ma anche di quelli rovesci.

Per quanto riguarda in particolare il dato di immersione, è necessario considerare la distribuzione circonferenziale del dato giaciturale; per quanto riguarda il dato di inclinazione, invece, la presenza di strutture plicative rovesce può dar luogo a errori grossolani nella rappresentazione geologica in quanto, se da una parte esse sono di solito ben riconoscibili sul terreno, dall'altra, a un'analisi superficiale, si potrebbe rilevare una serie di strati in giacitura normale e, in fase di interpolazione, non si avrebbe nessuna traccia della reale presenza dello strato rovesciato (figura 4).

Si è quindi adottato un metodo che tiene conto della presenza di queste strutture, prendendo in esame la normale al piano di giacitura considerato (Cencetti et alii, 2009); è intuibile che in questo modo si possono identificare chiaramente gli strati rovesci, dal momento che l'orientazione della normale in uno strato rovesciato è opposta a quella dello strato diritto corrispondente (figura 5).

In questo modo si ottengono valori di immersione e inclinazione uguali a quelli rilevabili per gli strati diritti. Per gli strati rovesci, invece, i valori di immersione risultano sfasati di 180° rispetto a quelli rilevabili e l'inclinazione è pari all'angolo convesso compreso tra la normale al piano e l'asse z (figura 5b). Quindi, nel caso di strati rovesci, i due parametri non saranno più rappresentati con due valori distinti, ma saranno desunti in base all'immersione e all'inclinazione del vettore normale.

$$n = (x, y, z) = (N * \sin(incl) * \cos(imm); N * \sin(incl) * \sin(imm); N * \cos(incl))$$

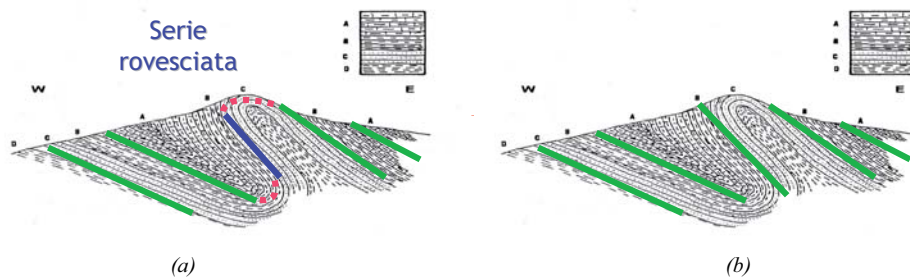


Figura 4 – Interpretazione della struttura plicativa rovescia corretta (a) ed errata (b).

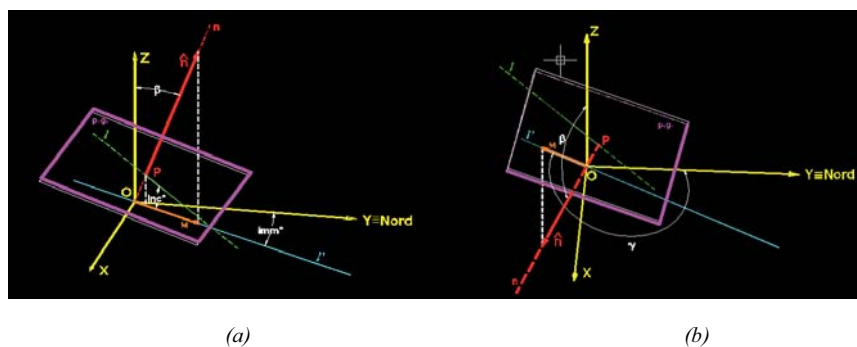


Figura 5 – Identificazione della reale giacitura di un piano di strato mediante l'adozione della normale al piano come parametro rappresentativo di strati diritti (a) e rovesci (b).

Per l'interpolazione del dato giaciturale, nell'area oggetto di studio è stato utilizzato *v.surf.rst*, un modulo di GRASS GIS che sfrutta un algoritmo del tipo *spline* (funzioni costituite da sequenze di polinomi che vengono raccordati tra loro rispettando la continuità di derivate di qualsiasi ordine), al fine di ottenere l'interpolazione più accurata possibile. Utilizzando tale algoritmo, si ottengono le mappe di immersione e inclinazione degli strati (figura 6). Nelle sezioni cerchiare in giallo si può osservare che, dove si hanno cambiamenti repentini dell'immersione (da 90° a 270°), questi si possono interpretare come la presenza di una piega rovescia. Allo stesso modo dell'immersione, anche nel caso della mappa di inclinazione (figura 7) si evidenziano in particolare tre zone a inclinazione maggiore di 90° e si può anche notare come esse si allineino in direzione Nord-Sud in maniera congruente all'assetto giaciturale dell'area.

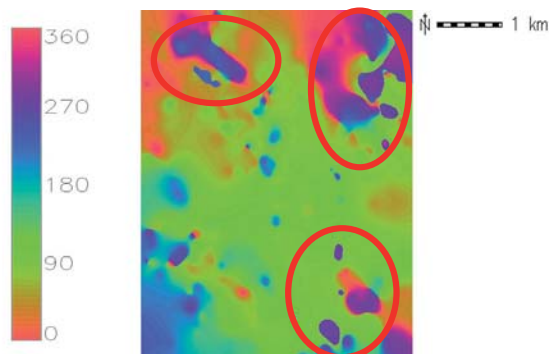


Figura 6 – Mappa di immersione degli strati per la zona di indagine.

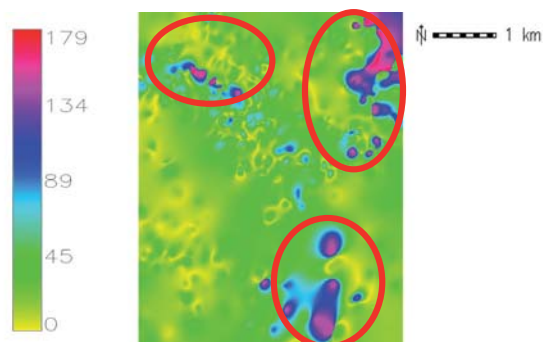


Figura 7 – Mappa di inclinazione degli strati per la zona di indagine.

6. Fase di elaborazione – calcolo dell'indice TOBIA e della mappa di interazione delle superfici geologica e topografica

Avendo ora a disposizione le mappe di pendenza ed esposizione del versante e di immersione ed inclinazione degli strati, si è proceduto al calcolo dell'indice TOBIA tramite la procedura descritta al paragrafo 2. La mappa che si ottiene è riportata in figura 8.

Allo stesso modo, a partire da questa, sono state individuate le zone con giacitura a franapoggio (più, meno o ugualmente inclinate rispetto alla superficie topografica), a reggipoggio e a traversopoggio, e per ognuna è stata prodotta una mappa. Le mappe sono state quindi unite per ottenere quella finale di interazione tra superficie topografica e assetto giaciturale (figura 9).

7. Analisi dei risultati e conclusioni

Osservando alcuni *screenshots* della mappa risultante (figure 10 e 11) si può constatare che il metodo descritto produce risultati ragionevoli anche in caso di strutture rovesce. In figura 10 si può ad esempio osservare come, dalla variazione dei valori riportati nella mappa, si possa ipotizzare l'andamento della struttura plicativa rovesciata che si trova a Nord-Est.

In figura 11 si possono osservare viste 3D della mappa nella zona della dorsale principale. Si può osservare come l'alternanza reggipoggio-franapoggio si verifichi sia a cavallo della dorsale stessa (sezione B-B), sia sul versante (sezione C-C). Si può notare come, anche in questo caso, il metodo rappresenti verosimilmente l'assetto stratigrafico.

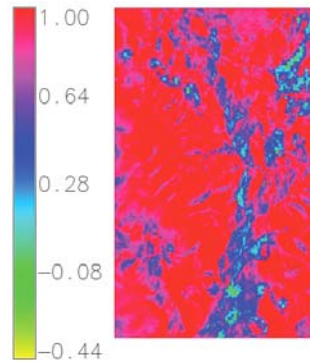


Figura 8 – Mappa dell'indice TOBIA così come definito al paragrafo 2.

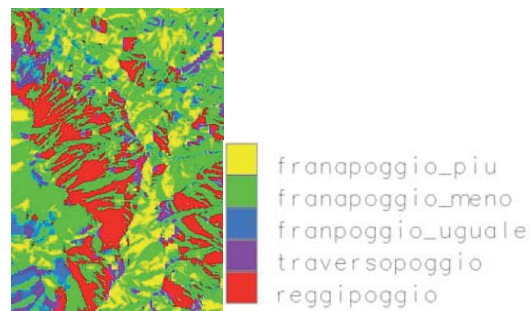


Figura 9 – Mappa finale di interazione della superficie topografica con la superficie geologica.

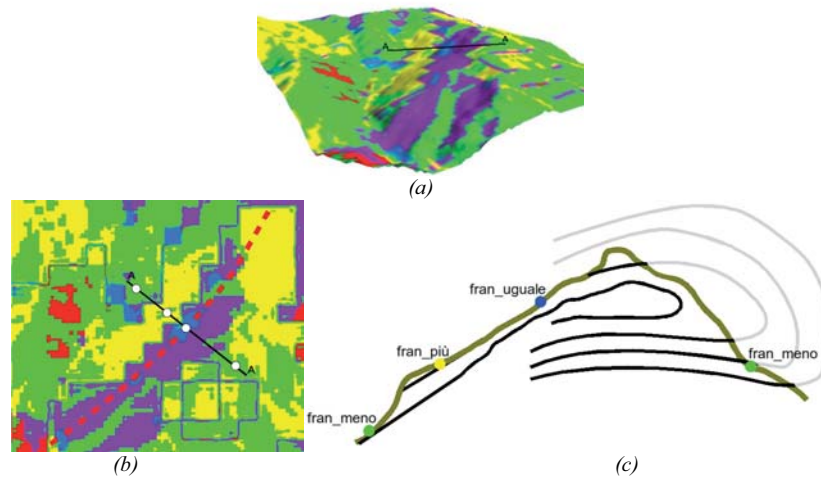


Figura 10 – Vista 3D (a), in planimetria (b) e in sezione (c) di un particolare della zona in esame in cui sono presenti strati rovesciati

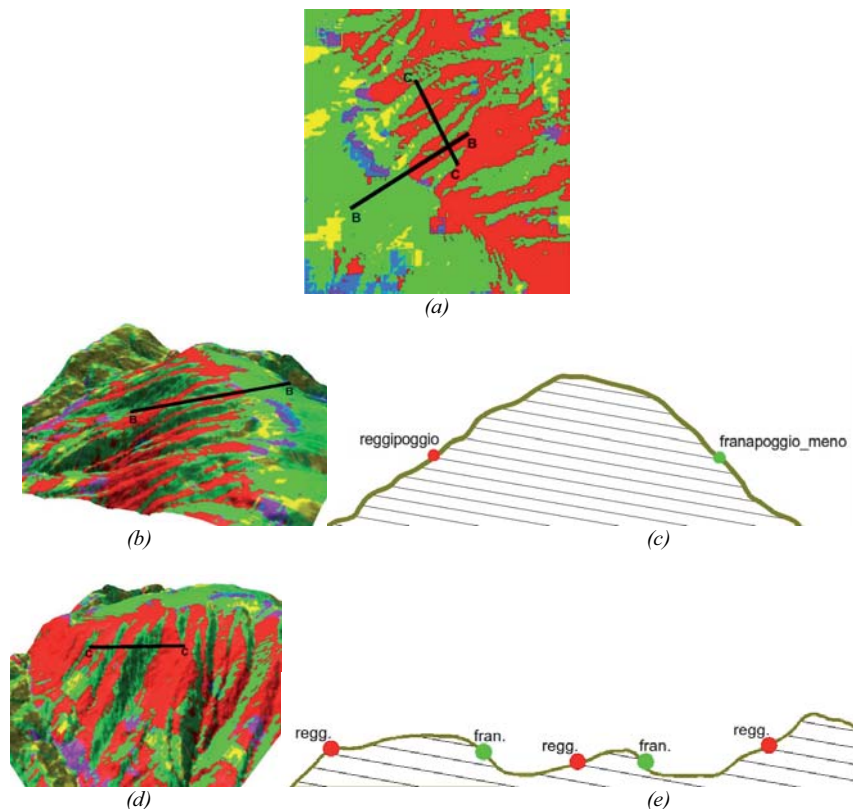


Figura 11 – Vista in planimetria (a), in 3D (b e d) e in sezione (c ed e) della zona della dorsale principale con alternanza di situazioni a reggipoggio e a franapoggio.

Riferimenti Bibliografici

- Cencetti C., De Rosa P., Fredduzzi A., Marchesini I. & Minelli A. (2009) - *Interpolazione di dati giacitureali*. X° Meeting degli Utenti Italiani di GRASS GIS & GFOSS (Cagliari 25-27 febbraio 2009), presentazione orale.
- Clerici A., Perego S., Tellini C. & Vescovi P. (2002) - *A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method*. Geomorphology 48, 349–364.
- Dozier J. (1980) - *A clear-sky spectral solar radiation model for snow-covered mountainous terrain*. Water Resour. Res., 16, 709–718.
- Meentemeyer R. K. & Moody A. (2000) - *Automated mapping of conformity between topographic and geological surfaces*. Computers & Geosciences 26, 815-829.