

Analisi di dati laser scanner terrestre per la valutazione del rischio potenziale da instabilità di una parete rocciosa sulla Costa di Serravalle (Vittorio Veneto, TV)

Aldino Bondesan (*), Simone Busoni (**), F. Coren (***),
Francesco Ferrarese (****), Roberto Francese (***)

(*) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo 6, 35131 Padova (PD),
aldino.bondesan@unipd.it, +39-049-8274085, +39-0421-326532

(**) Provincia di Treviso, Settore Ambiente e Pianificazione Territoriale, Via Cal di Breda 116, 31100 Treviso (TV),
sbusoni@provincia.treviso.it

(***) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, Sgonico (TS),
fcoren@inogs.it; rfrancese@inogs.it

(****) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Scienze Storiche Geografiche e dell'Antichità, DiSSGeA,
Sezione di Geografia, Via del Santo 26, 35123 Padova (PD)

Riassunto

Si presentano i risultati del rilievo laser a scansione di una parete rocciosa ubicata nel Comune di Vittorio Veneto (Treviso). Si tratta di un versante in roccia estremamente acclive interessato da fenomeni di dissesto, appartenente alla serie di *hogback* subalpini che caratterizzano il passaggio al margine prealpino nel territorio provinciale trevigiano. Lo studio prevede la sperimentazione di tecniche di rilievo a distanza delle condizioni della parete rocciosa per la classificazione morfologica e la definizione dei settori a rischio potenziale di crollo superficiale. Viene illustrata la strumentazione utilizzata, i metodi di rilievo e di analisi dei risultati. Il rilievo laserscan è stato integrato da un'indagine termografica. Le diverse informazioni dei dati elaborati dal modello della superficie e - laddove necessario - corretti dalla foto terrestre georeferita sono stati sintetizzati per ottenere la mappa da rischio instabilità di versante. I dati sono stati elaborati attraverso un algoritmo *multicriteria evaluation* (MCE) che ha permesso di pesare le variabili a disposizione e di sintetizzarle in una mappa finale che indica il diverso grado di rischio di distacco.

Abstract

We present the results of a laser scanning survey of a rock wall located in Vittorio Veneto (Treviso). This is an extremely steep slope in rock affected by instability phenomena, belonging to the series of *hogback* that characterize the transition from the prealpine margin within the province of Treviso. The study involves the testing of remote surveying techniques for the definition of areas at potential risk of collapse. The paper shows the used devices, the survey methods and results. The different information of the data processed by the model of the surface and - where necessary - corrected by terrestrial geo-referenced photos were synthesized to obtain the map of risk of slope instability. The data were processed through a multi criteria evaluation algorithm (MCE) that has allowed us to weigh the available variables and to synthesize them into a final map that shows the different levels of risk of detachment.

Introduzione

A seguito di un fenomeno di dissesto verificatosi sul versante in roccia posto a monte della "Strada Comunale dei Sassi" in località Costa di Serravalle (Vittorio Veneto, Treviso) è stata intrapresa una campagna di misure al fine di caratterizzare la parete rocciosa e di individuare gli eventuali rischi

connessi a possibili distacchi. Il rilievo laser a scansione da terra è stato realizzato con la collaborazione del Dipartimento di Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia e integrato dal rilievo LIDAR del territorio della Provincia di Treviso eseguito dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste.

Inquadramento generale

Dal punto di vista geologico l'intera Costa di Serravalle risulta costituita da arenarie, calcareniti e calcari terziari. La parete presenta uno sviluppo altimetrico che va dai circa 270 metri s.l.m.m. della strada comunale ai circa 570 metri s.l.m.m. della sommità della linea di cresta. La parete rocciosa in esame presenta un forte controllo strutturale con una morfologia fortemente influenzata dalla giacitura dei piani di stratificazione.

Rilievo laserscan

I dati ottenuti dal rilievo laser scan terrestre (Riegl Vz-1000) sono stati aggregati in forma di punti vettoriali formato ESRI (shapefile) e georiferiti. Il dataset consta di 3.336.728 punti distribuiti su un'area - in piano, a visione zenitale - di 37.257 m², lunga 585 m e larga, nel punto massimo, circa 160 m. La nuvola di punti è stata opportunamente trasformata in modo da avere una visione frontale della parete - e non più zenitale - lungo l'asse di maggior sviluppo della stessa. I dati così ruotati si sono distribuiti su un' area di 60.663 m², fornendo una densità di 55 punti per m², ma se non si considerano le aree non battute dallo strumento per disturbi di vario tipo (soprattutto vegetazione) la superficie utile è di 46.607 m², con una densità di 71 punti per m², dove però ben l'80% dei punti ha un passo medio inferiore ai 14 cm e il 50% ha passo medio inferiore a 10 - 11 cm.

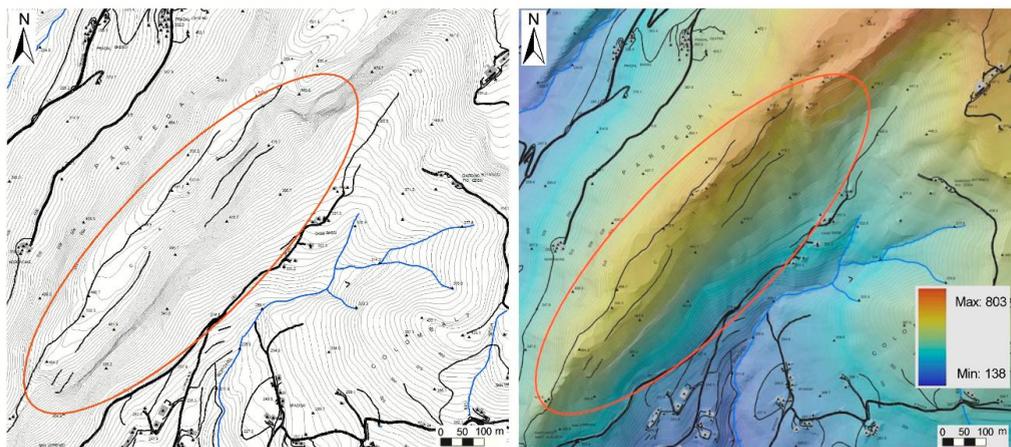


Figura 1. Ubicazione (sinistra) e carta altimetrica (a destra) dell'area di indagine. Le quote sono espresse in m.s.l.m.m.

Il modello della parete

Si sono applicati due metodi d'interpolazione data la grande densità di punti a disposizione. Il primo metodo applicato è stato un classico TIN (*Triangular Irregular Network*) secondo le regole di Delaunay, con una risoluzione di 0.1 m, praticamente equivalente al passo medio dei punti ottenuti dalla scansione su superficie indisturbata.

Il secondo metodo d'interpolazione utilizzato è un IDW (*Inverse Distance Weighted*) ad esponente 2 per la distanza ($1/d^2$), raggio di ricerca variabile tra punto e suoi vicini per un massimo di 12 punti in prossimità di ciascun dato. I modelli della superficie sono stati trattati con gli algoritmi di *surface analysis* per i comuni DEM (modelli d'elevazione digitale), tenendo in dovuto conto l'inversione dei

dati tra y e z; sono state calcolate in prima istanza, le derivate prime, ossia pendenza, direzione di massima pendenza (esposizione) e lumeggiamento.

Rimozione degli elementi di disturbo

Una questione interessante si è posta nell'individuazione e rimozione degli errori. Essi sono classificabili in due più evidenti categorie: a) errori di acquisizione dello strumento; b) errori dovuti alla presenza di ostacoli fisici.

Il primo errore a sua volta è divisibile in: 1) errore di giunzione di acquisizioni contigue; 2) *striping*, dovuti forse ad un difetto meccanico dello strumento in fase d'acquisizione.

Su questo tipo di errori si è operata una rimozione tramite filtraggi della superficie via FFT (*Fast Fourier Transform*) applicata a diverse frequenze.

Diverso approccio è stato applicato al disturbo provocato dalla presenza della vegetazione arboreo-arbustiva, che è stata identificata, quantificata e isolata. Si è agito in tal senso per due motivi:

1. ragionare su statistiche della sola superficie rocciosa o al massimo della superficie rocciosa coperta da un debole strato di suolo;
2. creare delle statistiche sulla distribuzione e grandezza degli impianti arboreo arbustivi.

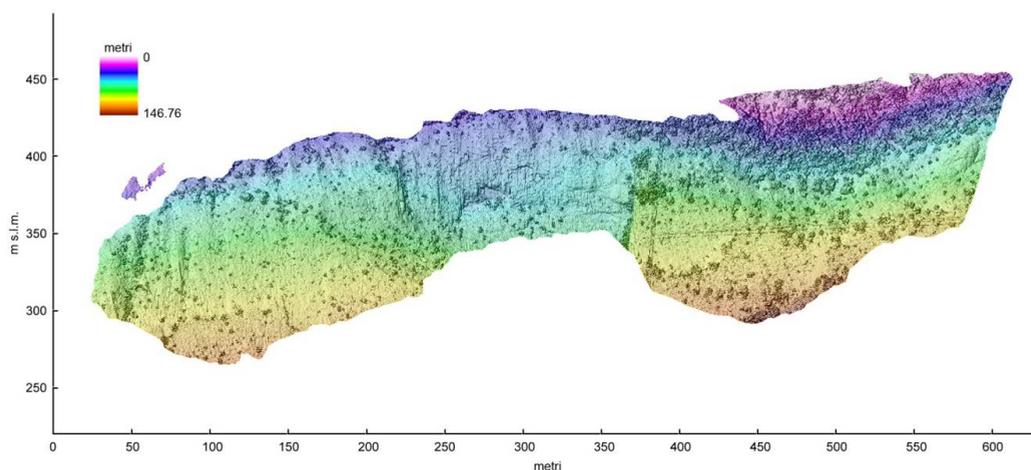


Figura 2. Modello della parete di Serravalle realizzato con interpolazione IDW. Tinte ipsometriche di profondità verso l'osservatore con lumeggiamento. Le zone frastagliate subcircolari, di diversa grandezza corrispondono a vegetazione arboreo-arbustiva.

FFT (Fast Fourier Transform)

Questa operazione consiste in una tecnica di filtraggio dei valori dei pixel atti ad enfatizzare o a ridurre certe classi di valori stessi. L'immagine originaria, la cui distribuzione di valori viene considerata come la somma di più onde armoniche a diversa frequenza ed ampiezza, viene scomposta nella parte reale e immaginaria di un numero complesso, più un esponente per cui questi due valori vanno elevati per ottenere il dato originario. Modificando opportunamente questo esponente è possibile ricomporre l'immagine originaria filtrando certe lunghezze d'onda in modo da eliminarle o ridurne l'importanza. In particolare è molto efficace per ridurre le armoniche della superficie verso forme più semplici e ampie che contengono forme più complesse; ad esempio con filtri *low pass* è possibile isolare le morfologie più estese ed elementari.

Nel nostro caso si sono applicati filtri *low pass* nella modalità di Hannings che, utilizzando una funzione sigmoidale, rende il passaggio graduale tra i valori filtrati: il raggio di *cut off* con cui si

escludono le frequenze meno rappresentative dei dati originali è stato posto a 25 m, 15 m, 6.5 m e 4.5 m, ottenendo via via *smoothing* sempre più incisivi sulle piccole forme. Questa tecnica di filtraggio permette da un lato di attenuare disturbi dati dalla presenza di piccoli *cluster* di valori anomali (la vegetazione) e dall'altro di ottenere delle forme principali, riconducibili a scale di analisi più ampie.

Identificazione della vegetazione

La vegetazione è stata isolata mediante due metodi. Il primo, più classico, tramite *unsupervised classification* di foto georiferita (rispetto al modello); il secondo tramite riclassificazione del modello della parete.

Nel primo metodo si è georiferita, in ArcGIS10.0, una foto della parete rispetto al modello della superficie: tramite l'ancoraggio di 52 punti e applicando una correzione *spline* che forza i punti di ancoraggio a coincidere, si realizza una ridistribuzione graduale tra i valori dei pixel, evitando effetti drastici e irrealistici. La foto così corretta è stata scomposta nelle tre bande rosso, verde e blu, e riclassificata tramite algoritmi di *clustering* in 9 classi (*cluster*) principali. Questa procedura è stata applicata in ambiente ENVI 4.8 con algoritmo ISODATA. Successivamente una lieve correzione della parte centrale, ha completato l'operazione. Aggregando opportunamente le 9 classi risultanti, è possibile ottenere una buona individuazione ed estensione della vegetazione.

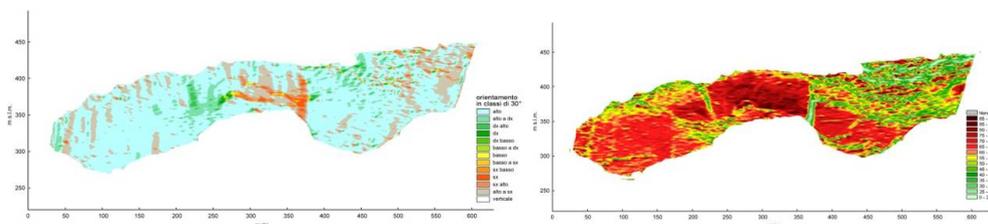


Figura 3. Mappe di orientamento (*sx*) e di inclinazione (*dx*) della parete di Serravalle sul modello dopo filtraggio Hanning *low pass* con "cutoff" a 6,5 m che consente di mantenere più del 99% di frequenze cumulative dell'immagine originaria. Si noti la riduzione in elementi più grandi e semplici della parete stessa.

Nel secondo metodo si sono isolate le inclinazioni del modello della parete superiori a 70° (20° reali) e si sono incrociate con la differenza tra il modello stesso e una sua versione filtrata tramite FFT Hanning *low pass* a 15 m (si ottiene così una versione più blanda di un filtro *high pass*, che individua le differenze maggiori a una certa soglia tra un valore e quelli adiacenti).

La vegetazione così individuata è stata utilizzata come elemento per il calcolo dell'indice di rischio della parete. In particolare si è suddiviso in quattro classi la presenza di vegetazione:

1. piccoli arbusti isolati;
2. arbusti di medie dimensioni, isolati o vicini tra loro;
3. grossi arbusti o alberi, probabilmente in più piante per stazione;
4. tessuto arboreo-arbustivo continuo, tipico delle pendenze minori come cenge, sommità e piede del rilievo.

Rischio connesso alla morfologia della parete in roccia

Inclinazione e sua direzione

Il modello della parete in roccia è stato analizzato nelle sue derivate prime di inclinazione e direzione di massima inclinazione. Si sono raccolti i dati di inclinazione in classi di 5° ciascuna, eccetto per l'ultima classe che raccoglie i valori da 0° a 20°; si sono poi raccolti i dati di esposizione in classi di 30° secondo il valore centrale (la classe 0°, indicante i valori orientati verso l'alto, comprende valori orientati in direzioni da 345° a 15°; la classe 30° valori orientati tra 15° e 45° è così via). Quindi si è moltiplicato il seno dell'angolo (classe di angolo) dell'inclinazione per il

coseno della classe d'angolo di esposizione e, per avere una scala di valori positivi, si è cambiato il segno alla moltiplicazione e si è sommato il valore costante "1.1".

Il primo calcolo di questo tipo è stata condotto sul modello filtrato tramite FFT Hanning low pass, *cut off* a 6,5 m (fig. 3), per avere un dato più generale sulla parete intera, il secondo invece è stato applicato sulle derivate del modello originario, privo di filtraggi.

Fratture e irregolarità della massa rocciosa

Di possibile interesse per una mappa di instabilità, l'individuazione e classificazione del reticolo di fratture, solchi, diedri e altre irregolarità della superficie rocciosa. Essi sono stati individuati calcolando il dislivello tra ogni quota e la sua minore adiacente, ottenendo una pendenza misurata come dislivello, a volte classificata come "energia del rilievo". Questo risultato è stato trattato come modello di superficie, essendo del resto un *raster* a valori reali, da cui si è ricavato il *runoff*, ovvero l'accumulo di unità di precipitazione per unità di superficie.

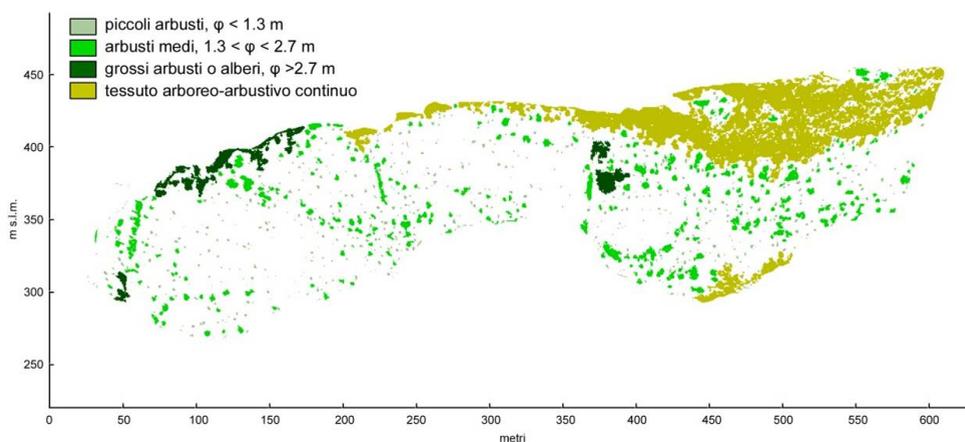


Figura 4. Riclassificazione della presenza di vegetazione in base all'estensione delle stazioni individuate.

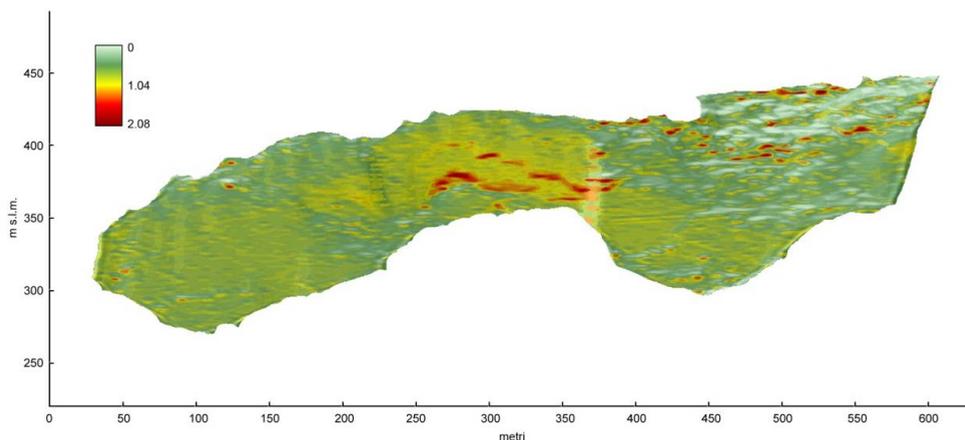


Figura 5. Mappa del rischio legato alla combinazione di inclinazione ed esposizione sul modello FFT Hanning low pass, *cut off* 6.5 m. Il rischio aumenta andando dal verde al rosso.

Verso una mappa del rischio da instabilità

Le diverse informazioni dei dati elaborati dal modello della superficie per la morfologia e dalla foto terrestre georiferita per il tipo di copertura, sono state sintetizzate per testare la possibilità di creare una mappa tematica utile a definire il rischio di instabilità del versante. In questo caso si dispone di:

1. inclinazione della superficie;
2. esposizione morfologica della superficie rocciosa;
3. reticolo di fratture e irregolarità;
4. entità del dislivello del reticolo di fratture e irregolarità;
5. ubicazione ed entità della copertura arborea arbustiva.

Per la zona studiata, inoltre, sono reperibili le informazioni inerenti:

- inclinazione media degli strati rocciosi;
- escursione termica giornaliera proveniente da fotocamera.

Tutti questi dati possono essere caricati su un algoritmo *multi criteria evaluation* (MCE) che permette di pesare le variabili a disposizione e di sintetizzarle in una mappa finale che indicherà il diverso grado di rischio di distacco.

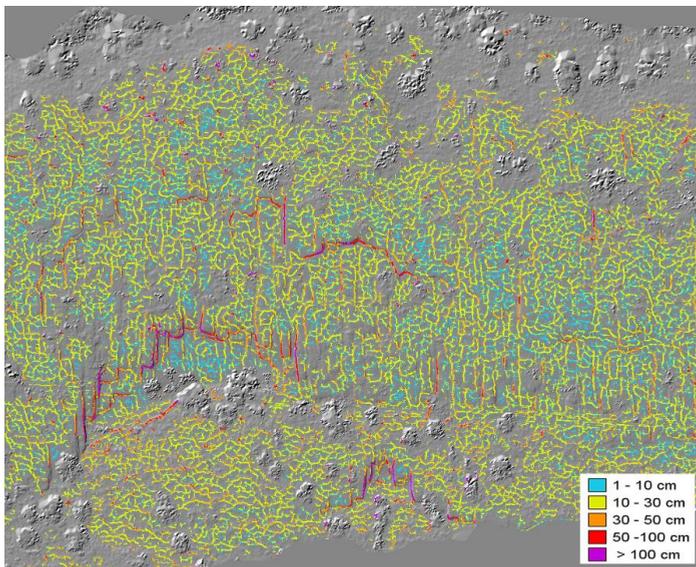


Figura 6. Particolare di reticolo di irregolarità della superficie rocciosa in cinque classi di entità di dislivello che esso realizza localmente. Il lato inferiore è lungo poco più di 100 m. Si noti come la vegetazione sia stata mascherata e come i dislivelli maggiori appartengano a fratture principali ad andamento rettilineo e/o parallelo.

Mappa della vulnerabilità della superficie

Attraverso una procedura *Multi Criteria Evaluation* (MCE) si è realizzata una mappa di vulnerabilità della parete in oggetto di studio. I vari fattori sono stati sintetizzati in un'unica rappresentazione. In questo caso sono stati considerati:

1. inclinazione della superficie
2. esposizione della superficie rocciosa
3. reticolo di fratture e irregolarità comprensivo del dislivello tra facce omologhe
4. ubicazione ed entità della copertura arborea arbustiva

Questi quattro fattori, rappresentati come mappe della parete, sono stati standardizzati in modo da utilizzare un'unica scala di valori, ricampionando gli stessi tramite *stretch* lineare su scala valori *byte*, ovvero numeri interi nell'intervallo 0 - 255. Così, ad esempio, un'inclinazione di 90° diverrà 255, di 45° diverrà 127, e di 0° sarà 0.

I fattori standardizzati sono poi stati pesati con la tecnica *pairwise comparison*, in cui tutti i fattori vengono paragonati a due a due e viene assegnata l'importanza relativa dell'uno rispetto all'altro. Nel caso in questione è stata data più importanza alla disposizione e entità della fratturazione e sfaccettatura (45%), chiaramente indice anche dei pregressi movimenti di materiale in parete, quindi a scalare all'esposizione delle faccette (32%), all'inclinazione delle stesse (13%) e infine minor peso alla presenza e consistenza della copertura della vegetazione (10%). Ottenuti i pesi i fattori vengono sommati, tramite MCE: quello che si ottiene è una mappa di sintesi i cui valori rappresentano la somma totale dei fattori di vulnerabilità concorrenti presi in considerazione.

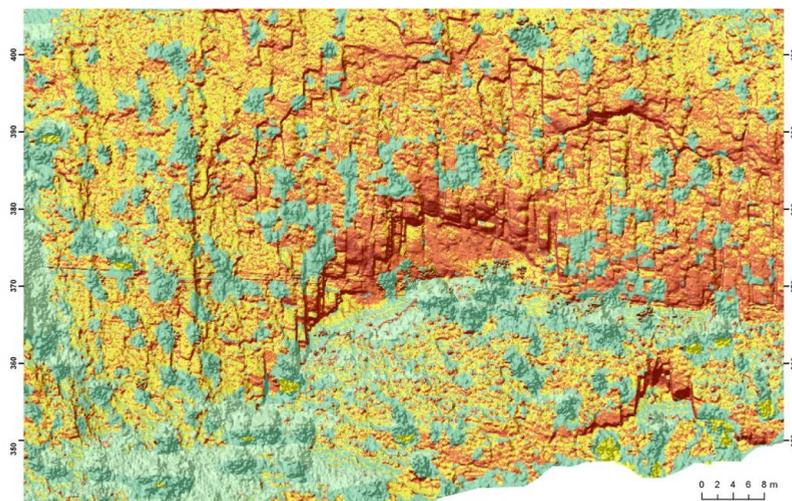


Figura 7. Mappa della vulnerabilità di superficie. Dettaglio della porzione centrale della parete di Serravalle. Si noti l'ambigua resa della vegetazione che in alcuni punti ha limitato l'individuazione, pur intuibile, del reticolo di fratture.

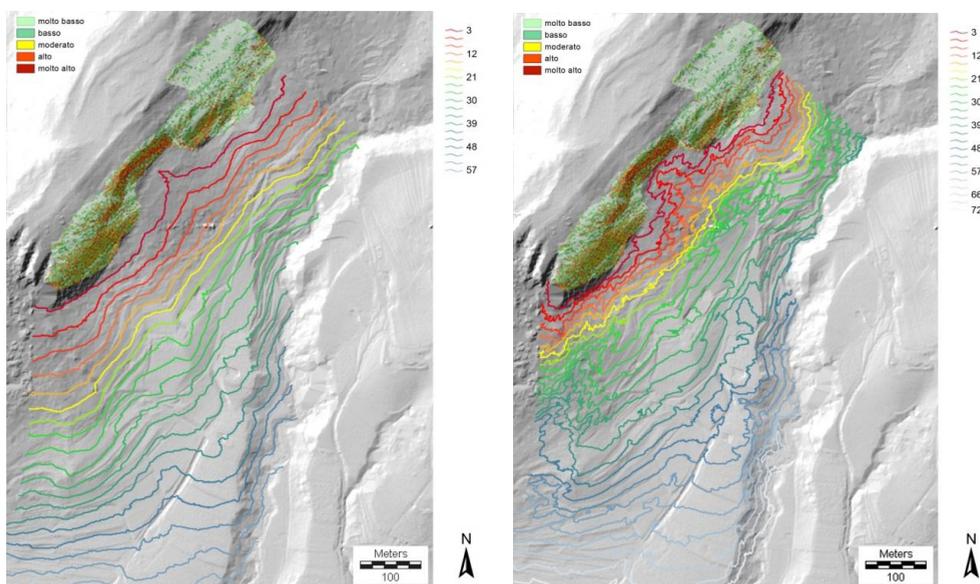


Figura 8. Mappa di "isoenergetiche" per movimenti gravitativi dalla parete di Serravalle, valori alto e molto alto. A sinistra isolinee ottenute dalle quote e in funzione delle pendenze. A destra mappa ottenuta da quote in funzione della pendenze e dal tipo di uso del suolo insistente.

Cost analysis

Dalla mappa di vulnerabilità della parete di Serravalle si è calcolata la distanza, in termini di costo energetico, dalle zone a vulnerabilità alta e molto alta. In questo approccio si sono riorientati i dati in senso zenitale e ricollocati in posizione georiferita. Quindi si è calcolata la distanza dalla zone suddette in funzione anche della morfologia (pendenza) effettiva presente poiché, ovviamente, essa influenza gli eventuali moti gravitativi che possono innescarsi. Per tale morfologia è stato utilizzato un LiDAR DTM a passo 1 m. Inoltre un secondo calcolo introduce anche frizioni derivanti dal tipo di uso del suolo, ottenute da riclassificazione di foto aeree.

Questa analisi è stata svolta sia in ambiente ArcGIS che Idrisigis, quest'ultimo per l'applicazione anche di frizioni isotropiche.

La *cost analysis* assegna ad ogni punto dell'area di studio l'ammontare di "energia" necessaria per raggiungere quel punto partendo dalle zone target (in questo caso gli elementi più vulnerabili della parete), considerando dove e quanto il terreno è favorevole (quanto attrito oppone) o sfavorevole. In tal modo è possibile ottenere una mappa di vulnerabilità o di rischio nel caso a essa si abbinasse una carta dell'uso del suolo.

Il tipo di uso del suolo è stato suddiviso in poche classi, essendoci nella scena essenzialmente bosco, vite, prato, strade e alcune abitazioni. Certo che la presenza del bosco può essere in grado di creare forti attriti ad eventuali movimenti e a questo è dovuta la contrazione delle isolinee di figura 8, a destra. Questo tipo di analisi non eccessivamente sofisticata, può comunque individuare in prima battuta criticità del territorio legate a fenomeni di questo tipo, inoltre, segmentando ulteriormente le *target zones*, si possono fornire indicazioni per zone più mirate.

Conclusioni

Come analizzato in questo studio, la morfologia delle pareti rocciose individuate da telerilevamento ad alta definizione è in grado di supportare con una messe di informazioni prima impensabile, i consolidati studi di geologia e geomorfologia applicati alla gestione del territorio, soprattutto con finalità di sicurezza dello stesso. Lo strumento laser scanner si presta per maneggevolezza e precisione all'acquisizione di questo tipo di dati che poi, elaborati in ambiente GIS, sono in grado di fornire conoscenze sempre più utili e raffinate.

Naturalmente ulteriori combinazioni con dati strutturali e stratigrafici, nonché termici o di tensione meccanica, concorreranno a formare un quadro sempre più esaustivo dello stato di conoscenza dei luoghi.

Bibliografia

- Bondesan A., Busoni S. e Preto N. (2010) *Carta geologica della provincia di Treviso. Sezione 063160 – San Floriano, scala 1:10.000*
- Drăguț L., Eisank C. "Object representations at multiple scales from digital elevation models." *Geomorphology* 129, (2011), 183-189.
- Glenn, N.F., Streutker, D.R., Chadwick, D.J., Thackray, G.D., Dorsch, S.J. "Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity". *Geomorphology* 73, (2006), 131-148.
- Guarnieri A., Vettore A., Pirotti F., Menenti M., Marani M. "Retrieval of small-relief marsh morphology from Terrestrial Laser Scanner, optimal spatial filtering, and laser return intensity". *Geomorphology* 113, (2009), 12–20.
- Qiming Z., Pilesjö P. & Y. "Estimating surface flow paths on a digital elevation model using a triangular facet network." *Water Resources Research* 47, no. 7 (2011).
- Teza G., Galgaro A., Zaltron N., Genevois R. "Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach". *Int. J. Rem. Sens.* 28 (16), (2007), 3425-3446.
- Ticci M., Kelson K., Brossy C. & Amos C. "Applications of LiDAR Data Analysis for Geomorphic Study." In *Geomorphometry 2011*, edited by T. Hengl, I. S. Evans, J. P. Wilson and M. Gould, 151-154. Redlands, CA, (2011).