

# **Analisi geomeccanica e di caduta massi tramite l'utilizzo di Laser Scan terrestri per la realizzazione di opere di protezione lungo la SP 48 per Riva di Tures .**

Joachim DORFMANN (\*); Aldredo GASPARI(\*\*);  
Ludwig NÖSSING (\*\*\*), Claudia STRADA (\*\*\*)

(\*) Libero professionista, 39043 Chiusa (BZ), Piazza Fragnes 25, Tel. 0472845214, mail: joachim.dorfmann@tele2.it

(\*\*) Libero professionista, 39050 Collepietra (BZ), Paese di sopra 102, Tel. +39 0471 377 340; mail: [info@ing-gaspari.it](mailto:info@ing-gaspari.it)

(\*\*\*) Ufficio Geologia e Prove Materiali - Provincia Autonoma di Bolzano, Via Val d'Ega 48, 39129 Cardano (BZ), Tel 0471361564, mail: [claudia.strada@provincia.bz.it](mailto:claudia.strada@provincia.bz.it)

## **Riassunto**

Su una parete che sovrastava il doppio tornante della S.P. 48 per Riva di Tures (Bolzano) tra il Km 6+700 – il Km 7+300 è stato eseguito un rilievo Laserscan con uno strumento Riegl MOD 420i al fine di ottenere i dati necessari alla progettazione delle misure di sicurezza contro i frequenti fenomeni di caduta massi. Il modello ottenuto tramite triangolazione ha permesso non solo di realizzare le modellazioni di caduta massi 2D e pseudo 3D , ma anche di ottenere importanti dati geomeccanici quali la determinazione delle principali famiglie di discontinuità, la loro spaziatura e persistenza e la dimensione reale di alcune porzioni di parete instabili. A tale scopo sono stati elaborati due diversi programmi, un primo che permette di ottenere i piani di discontinuità selezionando i piani con minor errore di parallelismo con quelli definiti a priori dal geologo nell'analisi del Dem e della foto della parete, il secondo per la determinazione automatica delle principali famiglie di discontinuità.

## **Abstract**

In order to get the data which are necessary to the planning of the security measures against the frequent rockfall landslides events, a monitoring campaign has been processed on the rockwall over the double curve of the S.P. 48 road for Riva di Tures (Bolzano – Italy) between Km 6+700 and Km 7+300 using a laserscan with a Riegl MOD 420i instrument. Using the triangulation methodology it has been possible to get a 2D and a pseudo 3D rockfall simulation model, and also some important geomechanical data as the determination of the main discontinuity families, their spacing, persistence and the real dimension of some unstable rockwall portions. For this purpose two different programs have been elaborated. A first one allows to get the discontinuity planes with the selection of those with the lowest parallelism mistakes, detected by the geologist using the DEM analysis and the rockwall photographs. The second one for the automatic determination of the main discontinuity families.

## **Premessa**

In seguito ad una serie eventi di crollo in roccia sul tratto di strada che coinvolge due tornanti della strada provinciale 48 in provincia di Bolzano tra il Km 6+700 e 7+300 è stato deciso di investigare

la parete rocciosa a monte. Da una prima analisi di campagna la parete risultava detensionata al punto di comportare un pericolo per il geologo che volesse effettuare un rilievo delle discontinuità e delle masse instabili in parete. Si è così deciso di effettuare un rilievo Laserscan da terra della parete e della falda detritica sottostante.

### **Principio di funzionamento e applicazioni del Laser Scanner**

Lo scanner laser impiegato è un RIEGL modello 420i che misura le coordinate polari, cioè angoli verticali e orizzontali, determinati attraverso la misura angolare di uno specchio che orienta il laser, e la distanza tramite la misurazione del tempo tra lo sparo del laser e suo ritorno. Tutte queste misurazioni hanno una portata senza mira riflettente di oltre 800 m, e accadono fino a 12000 volte al secondo. Lo scanner dallo sua posizione ha un'area di lavoro di  $360^\circ \times 80^\circ$ . Queste caratteristiche rendono lo scanner uno strumento con diverse applicazioni in geologia: rilievi di fenomeni franosi, gallerie, tunnel, cave, rilievi geostrutturali di versanti rocciosi e monitoraggi.

### **Elaborazione dati**

Le coordinate 3D e il colore RGB d'ogni punto dell'immagine è stato georeferenziato nel sistema di coordinate Gauss-Boaga. La nuvola di punti risultante è filtrata per eliminare il rumore e la vegetazione, il filtro si basa nel calcolo delle residuali tra le coordinate del punto e due modelli di riferimento, uno orizzontale e uno verticale, classificando come vegetazione i punti con una residuale superiore a 50cm. Dal modello digitale risultante si sono ricavate le curve di livello.

### **Modello geomeccanico della parete**

In base al modello interpolato dal rilievo Laserscan si sono determinate le famiglie di giunti e si è cercato di determinare anche la giacitura dei vari giunti visibili. In questo modo è stato possibile acquisire un gran numero di giaciture, anche di zone difficilmente accessibili (strapiombi). Siccome i risultati del rilievo indicavano non solo l'orientazione dei giunti (direzione d'immersione / inclinazione) ma anche la loro posizione assoluta, si poteva calcolare la spaziatura tra i giunti della stessa famiglia. La restituzione dei piani rappresentativi dei giunti in 3D viene fatta tridimensionalmente dalla nuvola dei punti. Tramite la selezione dei punti battuti sul giunto e su questi punti si calcola il piano che ha il minore errore quadratico. I dati d'ogni piano, sia origine che normale, vengono riassunti in una tabella dalla quale si calcola l'angolo d'immersione e l'azimut, inoltre viene calcolata la spaziatura tra i piani quando i piani superano una soglia di parallelismo (min. 90%), superato il minimo l'spaziatura si calcola tramite il promedio tra le distanze perpendicolari dal origine di ogni piano verso il piano omologo. Il tutto viene poi restituito nella seguente tabella da cui si può anche ricavare la spaziatura media e la persistenza delle varie famiglie di discontinuità.

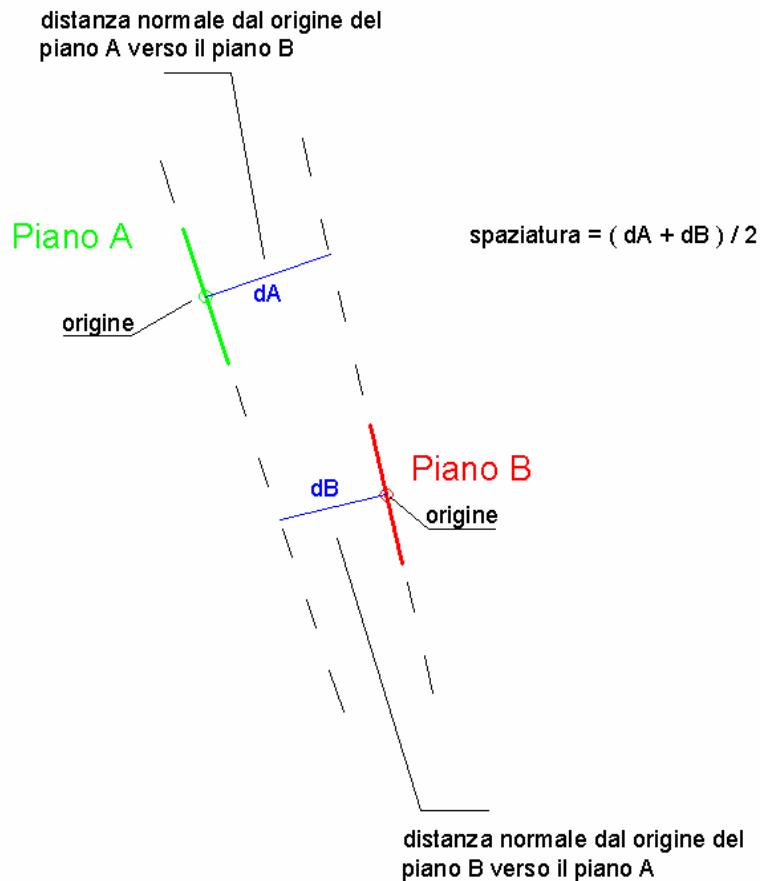


Figura 1: Schema di calcolo delle spaziature dei giunti

| TURES ZONA B - TAUFRERS BEREICH B |                        |              |      |        |        |        |        |        |     |        |        |
|-----------------------------------|------------------------|--------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|
| Piano                             | Direzione d'immersione | Inclinazione | Tipo | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6   | 7      | 8      |
| Fläche                            | Fallazimut             |              | Type | 90%    | 90%    | 90%    | 90%    | 90%    | 90% | 90%    | 90%    |
| 1                                 | 7,05                   | 80,33        | P    | m 0    | m 1.55 | m 0.42 | m 0.91 | m 4.1  | 43% | 82%    | m 1.07 |
| 2                                 | 5,05                   | 89,43        | P    | m 1.55 | m 0    | m 0.81 | m 0.44 | m 6.81 | 38% | 81%    | m 2.94 |
| 3                                 | 6,29                   | 84,20        | P    | m 0.42 | m 0.81 | m 0    | m 0.37 | m 4.94 | 41% | 82%    | m 0.67 |
| 4                                 | 10,03                  | 83,22        | P    | m 0.91 | m 0.44 | m 0.37 | m 0    | m 5.46 | 37% | 78%    | m 1.15 |
| 5                                 | 0,34                   | 85,47        | P    | m 4.1  | m 6.81 | m 4.94 | m 5.46 | m 0    | 47% | 87%    | m 3.03 |
| 6                                 | 301,86                 | 56,43        | P    | 43%    | 38%    | 41%    | 37%    | 47%    | m 0 | 82%    | 52%    |
| 7                                 | 331,63                 | 78,17        | P    | 82%    | 81%    | 82%    | 78%    | 87%    | 82% | m 0    | m 1.95 |
| 8                                 | 355,80                 | 86,39        | P    | m 1.07 | m 2.94 | m 0.67 | m 1.15 | m 3.03 | 52% | m 1.95 | m 0    |
| 9                                 | 337,31                 | 87,08        | P    | 86%    | 88%    | 87%    | 84%    | m 2.45 | 70% | m 0.36 | m 1.44 |
| 10                                | 185,02                 | 84,20        | P    | m 4.61 | m 8.09 | m 6.23 | m 7.55 | m 1.57 | 31% | 79%    | m 1.67 |
| 11                                | 216,30                 | 89,48        | P    | 85%    | 85%    | 86%    | 88%    | 80%    | 6%  | 41%    | 75%    |
| 12                                | 283,24                 | 87,99        | P    | 11%    | 14%    | 12%    | 5%     | 22%    | 80% | 65%    | 30%    |
| 13                                | 188,97                 | 89,14        | P    | m 5.37 | m 7.93 | m 6.44 | m 7.21 | m 1.34 | 31% | 77%    | m 2.52 |
| 14                                | 176,38                 | 87,19        | P    | m 5.47 | m 9.93 | m 7.33 | m 8.99 | m 1.3  | 45% | 87%    | m 3.47 |
| 15                                | 343,43                 | 88,40        | P    | m 7.83 | m 5.42 | m 6.52 | 89%    | m 2.19 | 63% | m 3.03 | m 2.84 |
| 16                                | 40,31                  | 80,33        | P    | 84%    | 80%    | 83%    | 86%    | 76%    | 2%  | 38%    | 71%    |

Figura 2: Estratto della tabella con la posizione e l'orientazione dei giunti

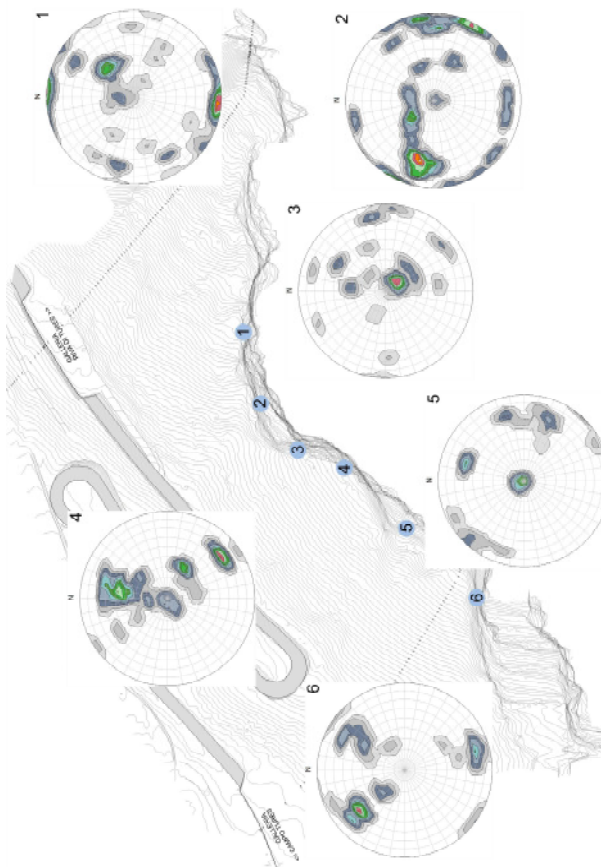


Figura 3: Diagrammi polari delle varie famiglie di discontinuità nelle varie porzioni di parete

| Schnitt<br>Sezione | Nr. Klüfte<br>n. giunti | Fallrichtung<br>Direzione d'immersione | Fallwinkel<br>Immersione | Kluftstand (m)<br>Spaziatura | Geometrie der Felsblöcke<br>Geometria die blocchi rocciosi |
|--------------------|-------------------------|----------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|
| B-1                | 144 - 145               | 130                                    | 25                       | 0,9                          |                                                            |
|                    | 142 - 143               | 350                                    | 80                       | 1,4                          |                                                            |
|                    | 147 - 148               | 215                                    | 65                       | 2,9                          |                                                            |
| B-3                | 113 - 114               | 275                                    | 60                       | 1,9                          |                                                            |
|                    | 102 - 103               | 70                                     | 5                        | 1,4                          |                                                            |
|                    | 135 - 136               | 195                                    | 45                       | 1,2                          |                                                            |
| B-s                | (disgaggio)             |                                        |                          | 2                            |                                                            |
|                    |                         |                                        |                          | 2                            |                                                            |
|                    |                         |                                        |                          | 0,5 - 1                      |                                                            |
| B-13               | 070 - 071               | 250                                    | 90                       | 1,9                          |                                                            |
|                    | 022 - 024               | 170                                    | 90                       | 1,2                          |                                                            |
|                    | 102 - 103               | 70                                     | 5                        | 1,4                          |                                                            |

Figura 4: Dimensioni dei blocchi rocciosi per i calcoli di caduta massi

## Modellazione e progettazione delle misure di sicurezza

L'utilizzo del modello ottenuto è stato utile sia per ottenere le sezioni a cui applicare il metodo CRSP di cadute massi bidimensionali con il vantaggio di aver dati dettagliati che mostrano i tetti e piani di rimbalzo presenti sulla parete, sia di creare un DTM a maglia 0.5 m su cui applicare il programma pseudo 3D Rotomap di Geosoft. Le sezioni sono state ricavate direttamente dalla nuvola di punti per eliminare sul tracciato delle sezioni stessi gli errori della triangolazione.

In entrambi i casi i parametri di restituzione del terreno (rototraslazione e rugosità) sono stati tarati in base all'analisi retrogressiva sui casi degli eventi noti e di un piccolo disaggio effettuato nella parte di parete meno pericolosa.

Rotomap GIS permette di inserire all'interno del programma i DTM esportabili dai più comuni programmi GIS come quelli della ESRI e permette una restituzione delle traiettorie, delle energie e delle altezze massime del masso in caduta. L'esperienza di Riva di Tures ci ha dimostrato che con questo metodo (Lumped Mass) le altezze e le energie massime raggiunte sono leggermente sovrastimate per cui è stata ripetuta la simulazione 2D lungo le traiettorie critiche individuate da Rotomap GIS. Si è notato che una delle cose più importanti nell'utilizzo di Rotomap GIS è la correzione del DTM in situazioni di tetto. Una semplice interpolazione dei punti porterebbe ad una situazione irrealistica che potrebbe essere associata non ad un tetto ma ad una situazione tipo "Piramidi di terra".

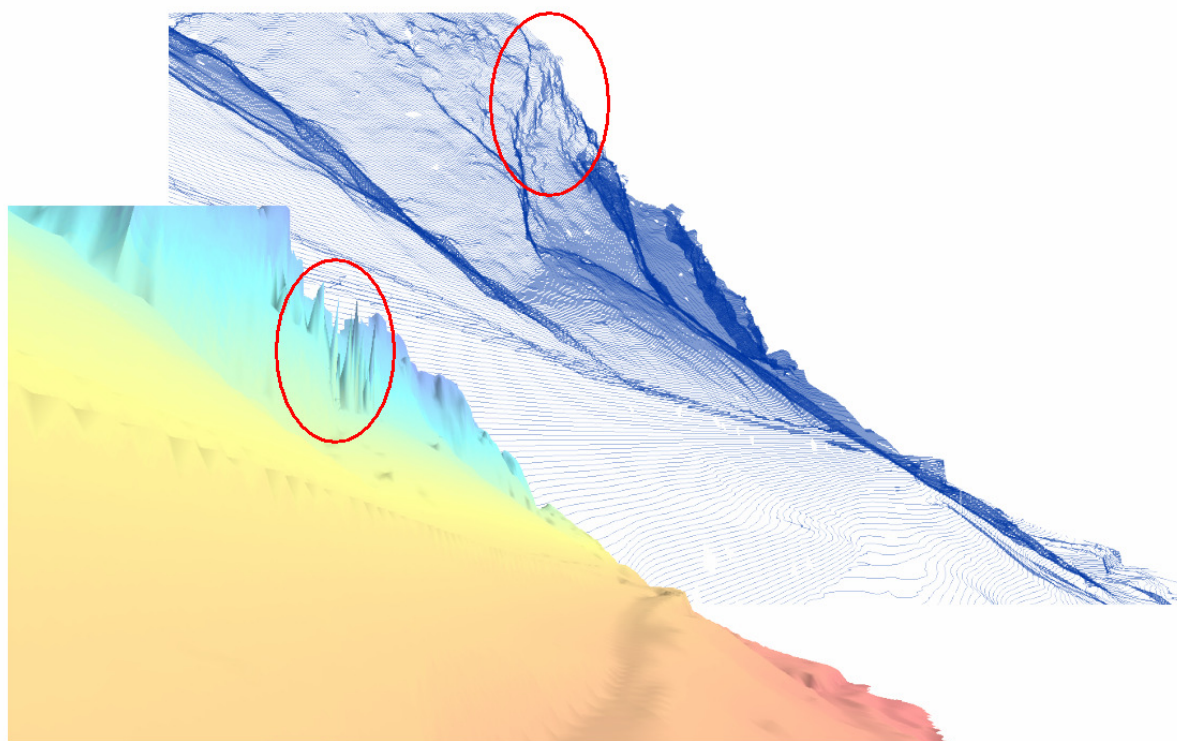


*Figura 5: Errore possibile nella procedura di estrapolazione del DTM per il calcolo caduta massi*

Le analisi sono poi state ripetute in fase di progettazione del vallo paramassi inserendo l'elemento e la rimodellazione del versante prevista nella topografia.

Il modello topografico del terreno ottenuto dal Laserscan è stato anche utilizzato in fase di progettazione per la realizzazione del vallo e delle piste di accesso per i macchinari.

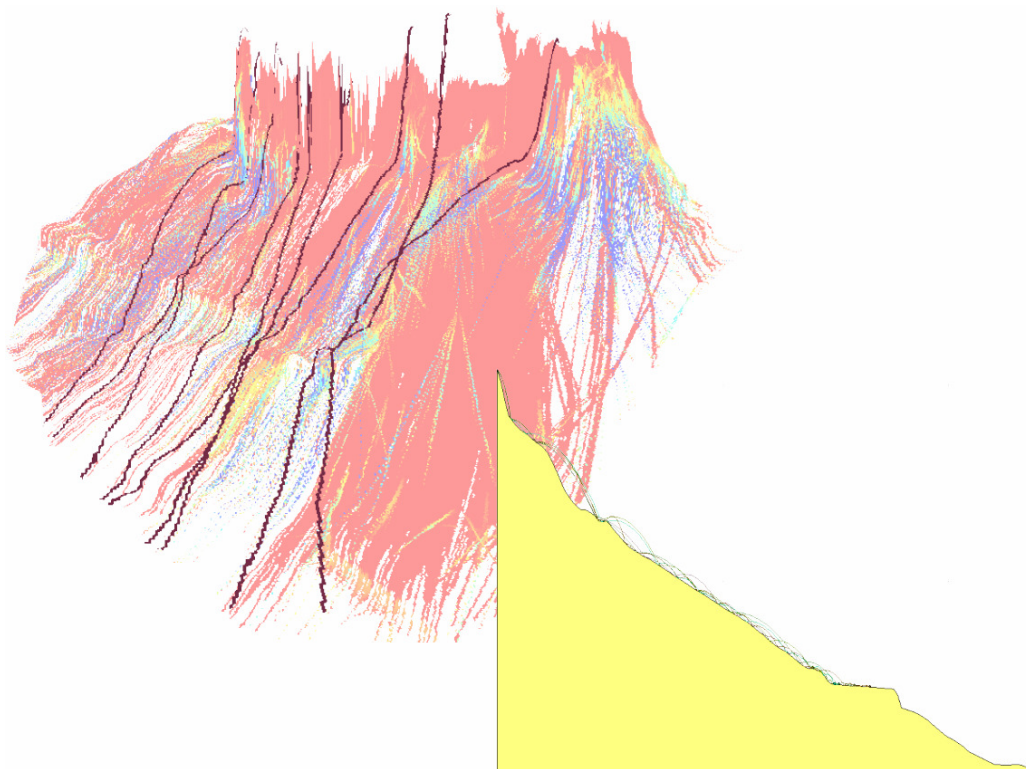


*Figura 6: Estrapolazione delle sezioni per il calcolo di caduta massi 2D dal modello 3D*

## **Conclusioni**

Il Rilievo Laserscan di una parete rocciosa agevola l'acquisizione, non solo di dati topografici utili sia durante la progettazione e le simulazioni di caduta massi, ma anche per la raccolta dei dati sulle famiglie di discontinuità della parete rocciosa e le dimensioni dei nasi e blocchi instabili sulla parete. In seguito a questo esperimento positivo la stessa metodologia. È stata applicata in altre situazioni critiche presenti sul territorio provinciale (Passo Gardena, Cortaccia, SS12, Ponte Gardena)