



## **Applicazione del sistema Laser Scan da terra per i rilievo geometrico e geomeccanico dei versanti in roccia**



## DESCRIZIONE DEL METODO

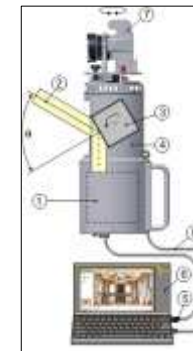
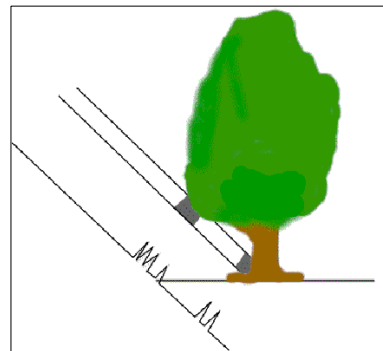
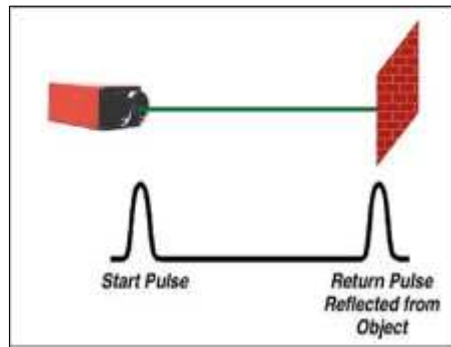
-Laser scanner ad elevata portata >1km misura 3D di coordinate polari, UAV (ala fissa/multirottore), stazione totale, GPS

### Angoli verticali e orizzontali

- determinati per la misura angolare di un specchio che orienta il raggio del laser

### Distanza

- determinata tramite la misura del tempo impiegato del laser in percorrere la distanza fino al target e tornare





## DESCRIZIONE STRUMENTO

**Modelo:** RIEGL LMS-Z420i

**Eye safety class according to EC60825-1:2001:** Laser Class 1

**Measurement range:** for natural targets,  $r \geq 80\%$  up to 800 m  
for natural targets,  $r \geq 10\%$  up to 250 m

**Minimum range:** 2 m

**Measurement accuracy:** typ.  $\pm 10$  mm (single shot)  
typ.  $\pm 5$  mm (averaged) Measurement resolution 5 mm

**Measurement rate up:** to 12000 pts/sec @ low scanning rate (oscillating mirror)  
up to 8000 pts/sec @ high scanning rate (rotating mirror)

**Laser wavelength** near infrared **Beam divergence:** 0.25 mrad

### Scanner Performance:

**Vertical (line) scan:** Scanning range  $0^\circ$  to  $80^\circ$  Scanning mechanism rotating / oscillating

Minimum angle stepwidth  $0.01^\circ$

**Horizontal (frame) scan:** Scanning range  $0^\circ$  to  $360^\circ$  Scanning mechanism rotating

Minimum angle stepwidth  $0.01^\circ$

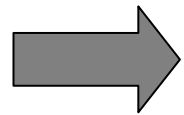
**Massima risoluzione:** 20400 punti/m<sup>2</sup> @ 100 m

**Main dimensions:** 463 x 210 mm (Length x Diameter) **Weight** approx. 14,5

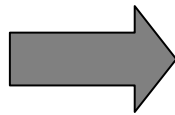




## **SERIVIZI OFFERTI**



**SI VA OLTRE  
ALLA CLASSICA  
TOPOGRAFIA**



**ELABORAZIONE DATI A  
SERVIZIO E SUPPORTO DELLE  
ANALISI DEI PENDII ROCCIOSI**

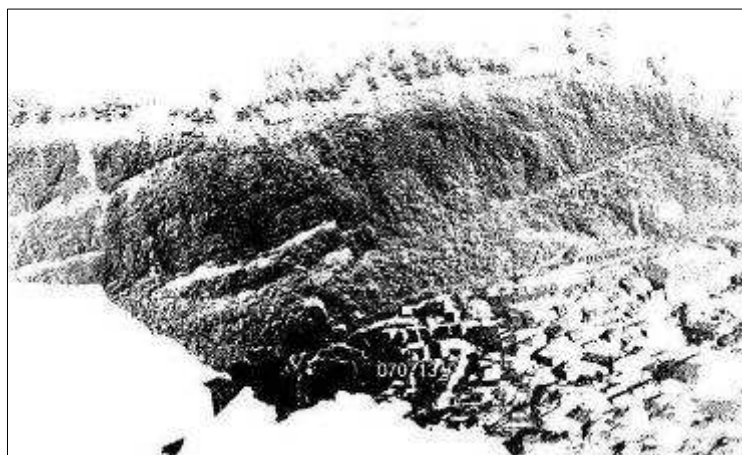
- Nuvola punti, Georeferenziazione, DTM, DSM**
- Planimetrie, sezioni, prospetti**
- Identificazione sistemi di discontinuità**
- Mappatura delle condizioni di instabilità (test Markland)**
- Calcolo dei volumi potenzialmente instabili sul pendio**



## AQUISIZIONE DEI DATI



Zona da rilevare



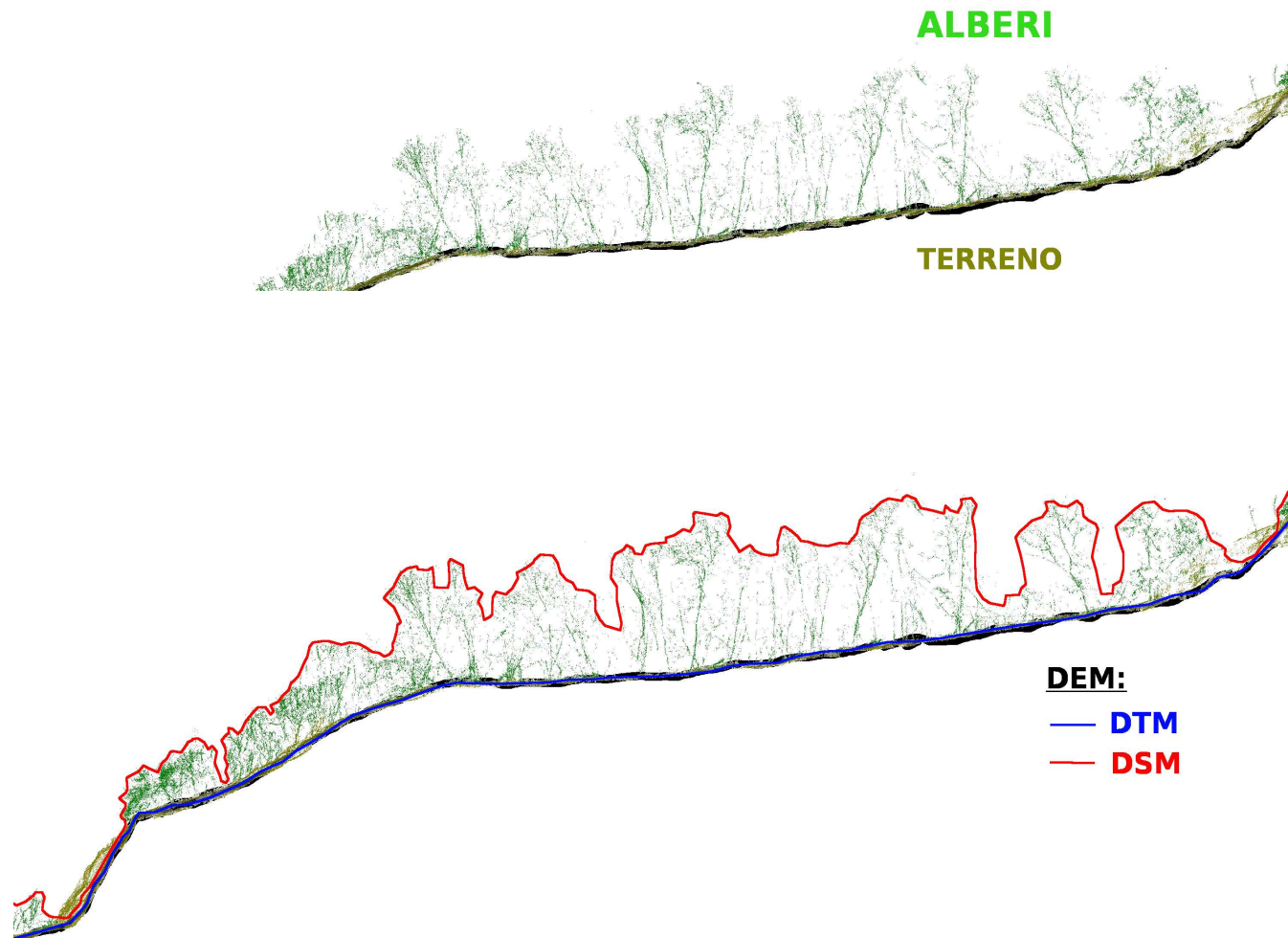
Strumento in funzione

Nuvola dei punti rilevata



## ELABORAZIONE DEI DATI:

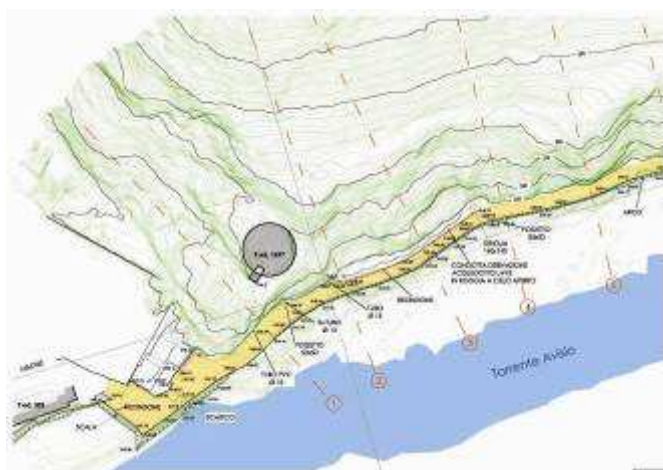
Georeferenziazione, DTM, DSM, nuvola punti



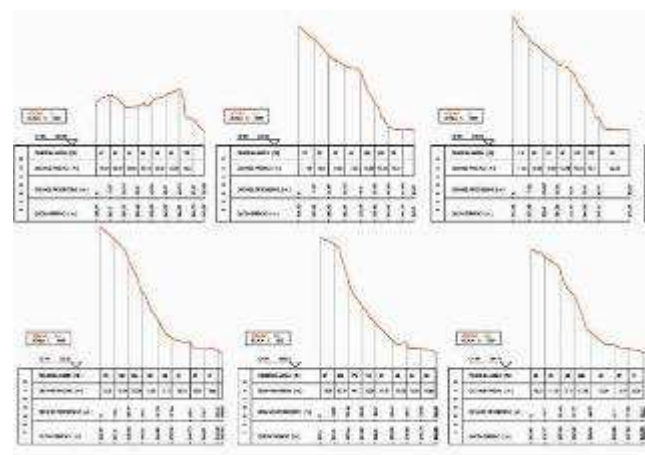




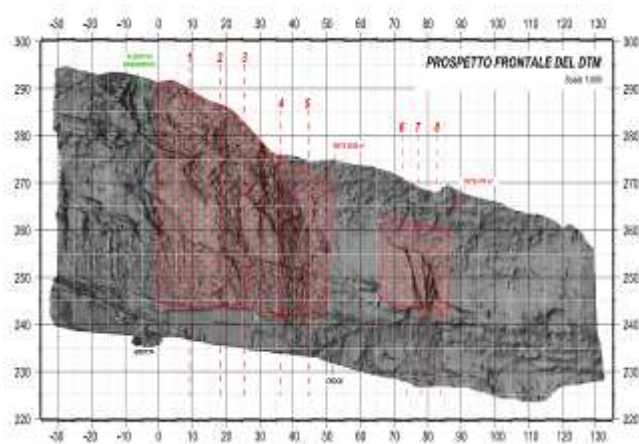
## ELABORAZIONE DEI DATI: Planimetrie, sezioni, prospetti



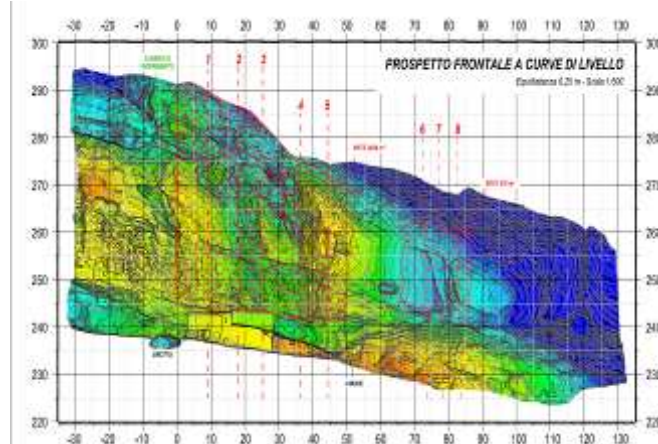
PLANIMETRIA CURVE DI LIVELLO DEL VERSANTE RILEVATO



SEZIONI SIGNIFICATIVE DEL VERSANTE RILEVATO



PROSPETTO FRONTALE DEL VERSANTE ROCCIOSO RILEVATO



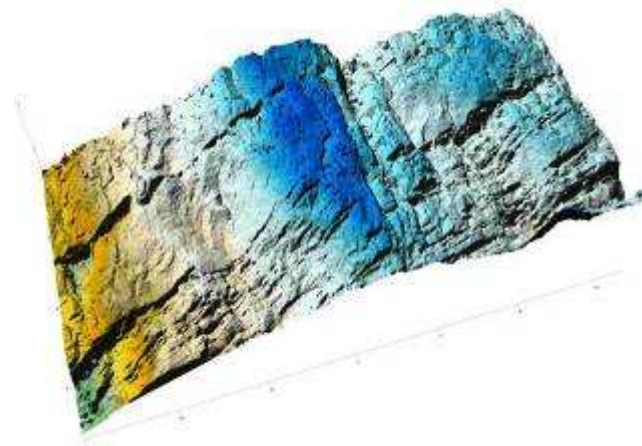
PROSPETTO FRONTALE DEL VERSANTE ROCCIOSO RILEVATO  
CON SCALA GRADUATA COLORATA



## ELABORAZIONE DEI DATI: Ortofoto, modelli solidi



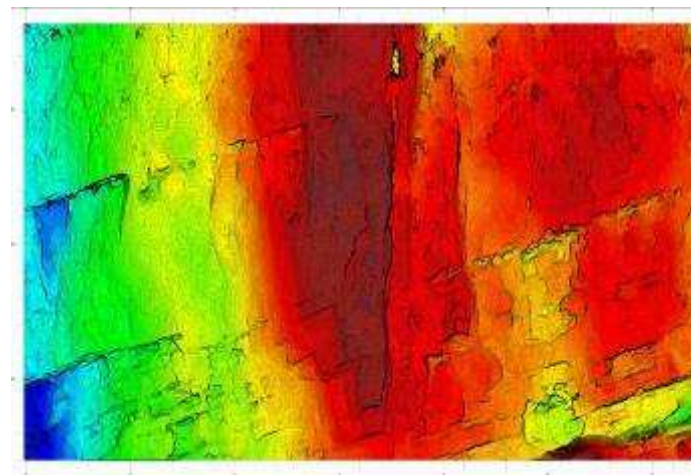
ORTOFOTO DI ALCUNE PORZIONI DI VERSANTE ROCCIOSO



MODELLO SOLIDO 3D SU SCALA GRADUATA COLORATA



CURVE DI LIVELLO SU PIANO 3D



PROSPETTO FRONTALE DELLE DEPRESSIONI ED EMERGENZE ROCCIOSE DI UN PARTICOLARE TRATTO DI PARETE





## ELABORAZIONE DEI DATI: Identificazione sistemi di discontinuità

### 1. Raccolta dei dati >> posizione (x, y, z) + inclinazione + immersione

| METODO     | CARATTERISTICA                                             | CONDIZIONI                                                             |
|------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| OBIETTIVO  | ANALISI AUTOMATICA SU TUTTA LA POPOLAZIONE DEI PIANI       | MODELLO TRIANGOLATO DI DETTAGLIO SENZA RUMORE (vegetazione; reti; ecc) |
| SOGGETTIVO | ANALISI MANUALE SU UN CAMPIONE DELLA POPOLAZIONE DEI PIANI | MODELLO A PUNTI CON PRESENZA DI RUMORE (vegetazione; reti; ecc)        |

### 2. Aggregazione dei dati raccolti in zone con caratteristiche geologiche omogenee

### 3. Individuazione delle principali famiglie di discontinuità >> Diagramma polare

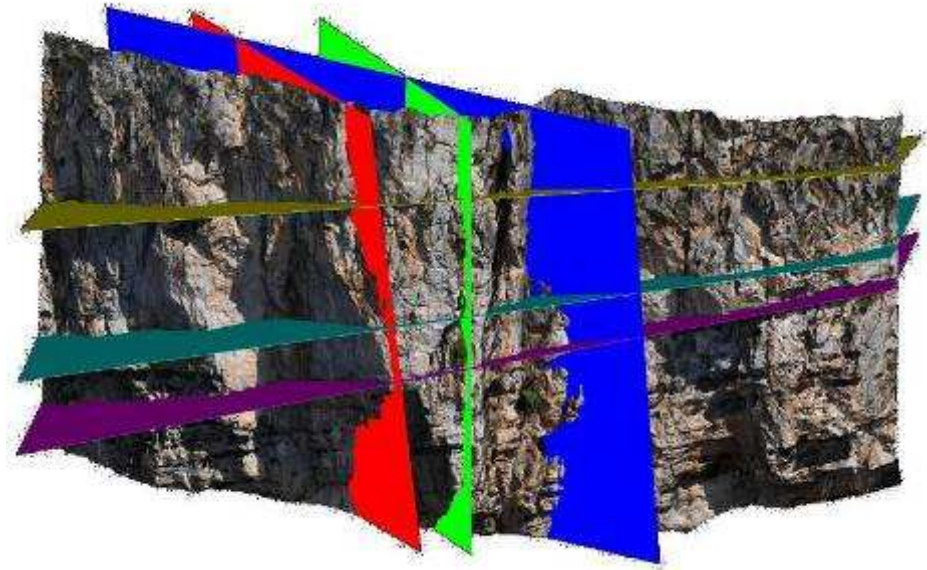
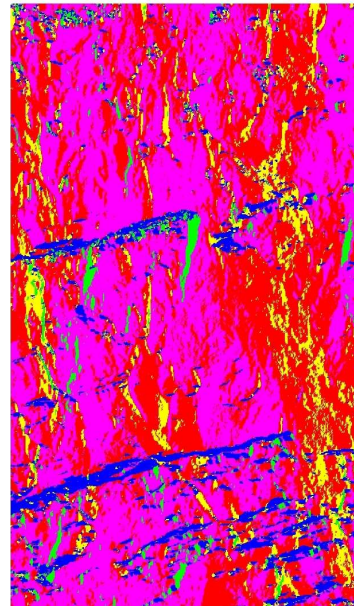
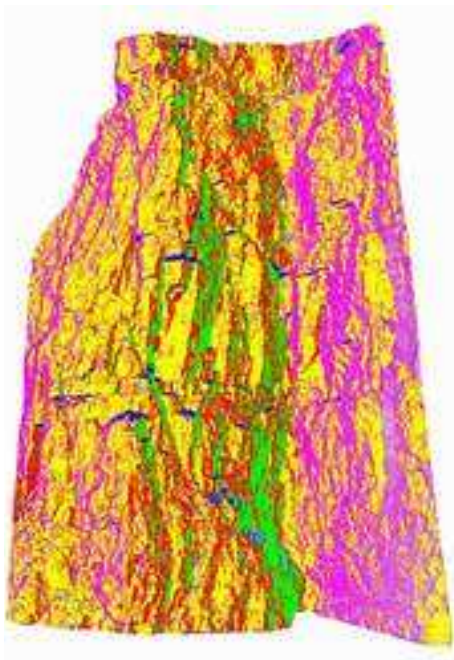
### 4. Calcolo statistico della spaziatura delle principali famiglie >> VRU



## ELABORAZIONE DEI DATI: Identificazione sistemi di discontinuità

Raccolta dei dati >> posizione (x, y, z) + inclinazione + immersione

- Analisi automatica su tutta la popolazione dei piani
- Modello triangolato di dettaglio senza rumore (vegetazione e reti)

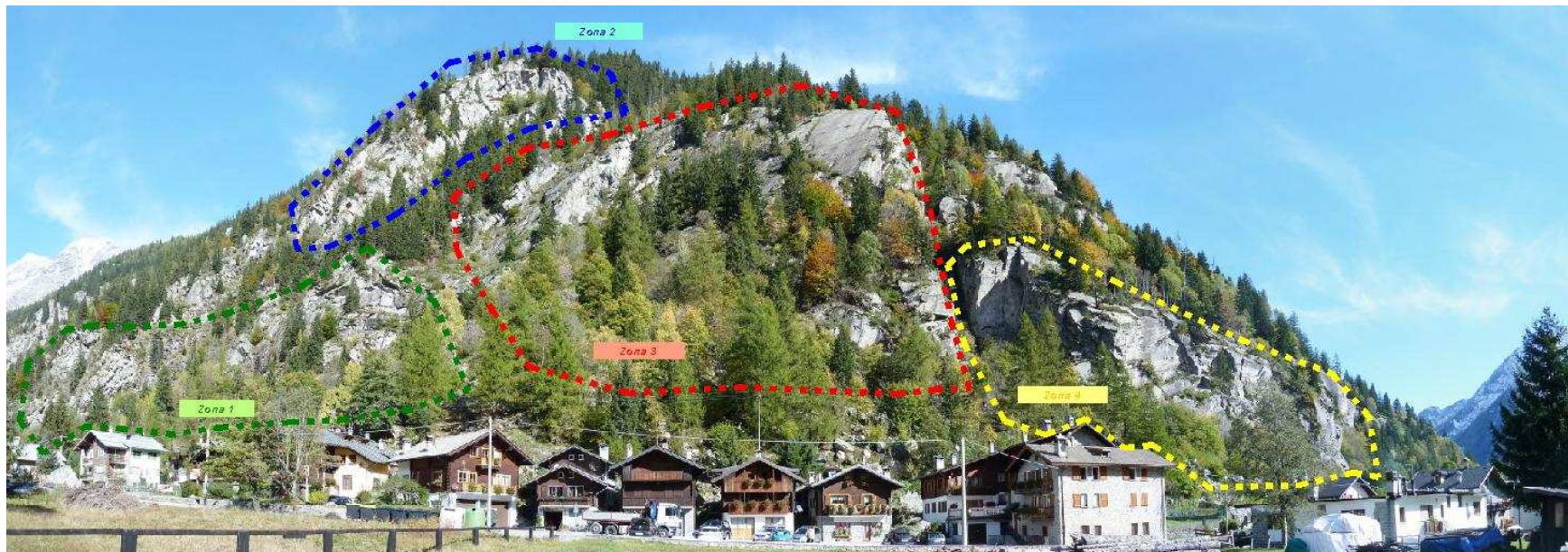
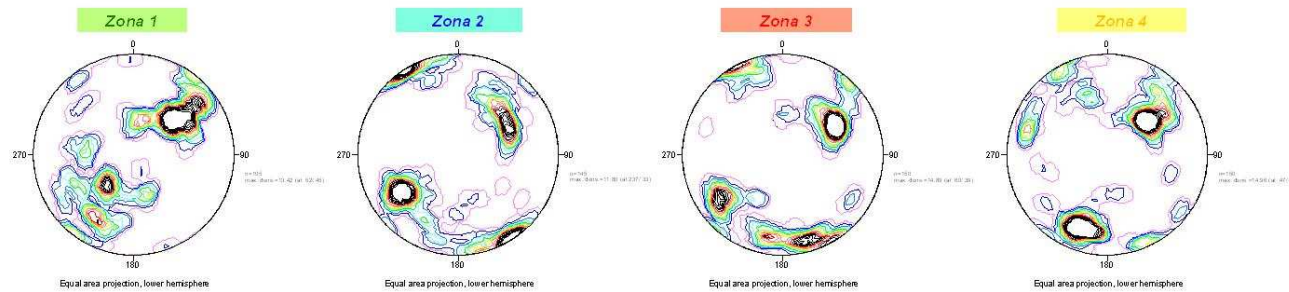






## ELABORAZIONE DEI DATI: Identificazione sistemi di discontinuità

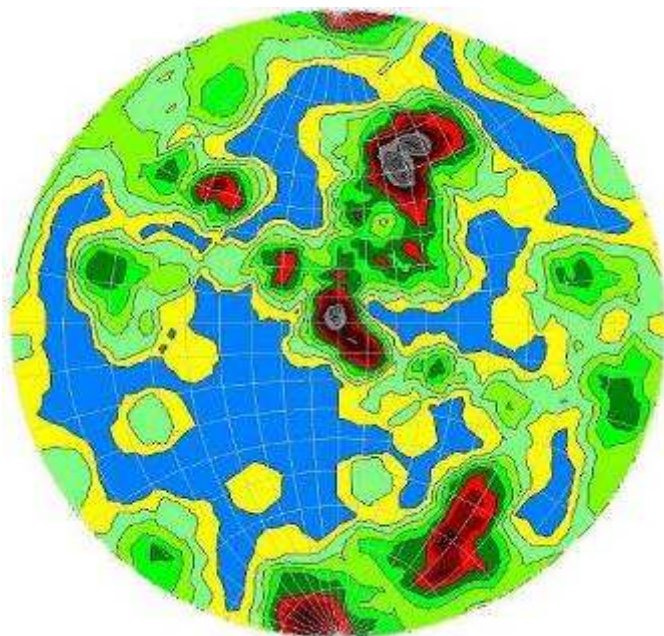
Aggregazione dei dati raccolti in zone con caratteristiche geologiche omogenee





## ELABORAZIONE DEI DATI: Identificazione sistemi di discontinuità

Diagramma polare



Calcolo statistico spaziatura  
famiglie discontinuità > VRU

### SPAZIATURA FAMIGLIA 56 / 63 - SOGLIA PARALLELISMO 90 %

| PIANO    | EST      | NORD      | QUOTA   | IMMERSIONE | INCLINAZIONE | Plane014 | Plane015 | Plane025 | Plane035 | Plane052 | Plane057 | Plane079 | Plane082 | Plane082 |
|----------|----------|-----------|---------|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Plane014 | 57355.51 | -17172.48 | 1289.14 | 59.7       | 51.7         | 0        | 1.22     | 1.89     | 28.41    | 15.63    | 26.43    | 19.15    | 35.86    | 57.      |
| Plane015 | 57347.82 | -17166.83 | 1291.94 | 56.8       | 55.9         | 1.22     | 0        | 1.18     | 26.97    | 15.91    | 25.32    | 18.71    | 34.31    | 53.      |
| Plane025 | 57326.61 | -17144.99 | 1300.14 | 55.1       | 45.8         | 1.89     | 1.18     | 0        | 29.42    | 23.35    | 29.17    | 24.14    | 37.41    | 50.      |
| Plane035 | 57290.16 | -17132.7  | 1276.56 | 43.6       | 59.4         | 28.41    | 26.97    | 29.42    | 0        | 5.72     | 2.02     | 1.11     | 6.9      | 14.      |
| Plane052 | 57337.91 | -17167.69 | 1275.23 | 30.2       | 49.6         | 15.63    | 15.91    | 23.35    | 5.72     | 0        | 2.62     | 8.29     | 2.93     | 25.      |
| Plane057 | 57279.77 | -17126.11 | 1275.01 | 35.1       | 65.2         | 26.43    | 25.32    | 29.17    | 2.02     | 2.62     | 0        | 2.08     | 1.66     | 8.6      |
| Plane079 | 57285.04 | -17128.64 | 1278.37 | 28.8       | 61.7         | 19.15    | 18.71    | 24.14    | 1.11     | 8.29     | 2.08     | 0        | 2.07     | 11.      |
| Plane082 | 57238.96 | -17097.96 | 1271.03 | 33.7       | 61.7         | 35.86    | 34.31    | 37.41    | 6.9      | 2.93     | 1.66     | 2.07     | 0        | 3.7      |
| Plane083 | 57242.48 | -17098.07 | 1274.82 | 58.3       | 70           | 57.32    | 53.81    | 50.37    | 14.64    | 25.49    | 8.64     | 11.99    | 3.75     | 0        |
| Plane084 | 57245.41 | -17101.25 | 1276.11 | 66.5       | 71.4         | 63.8     | 59.76    | 54.21    | 17.22    | 31.93    | 10.55    | 14.04    | 4.57     | 1.4      |
| Plane085 | 57243.9  | -17103.44 | 1271.57 | 51         | 76.5         | 52.74    | 49.63    | 47.68    | 15.02    | 18.2     | 8.71     | 9.25     | 0.92     | 2.7      |
| Plane087 | 57245.2  | -17107.22 | 1267.44 | 71.7       | 56.8         | 72.47    | 68.63    | 64       | 24.78    | 31.51    | 16.95    | 18.81    | 3        | 4.5      |
| Plane090 | 57245.66 | -17107.94 | 1269.04 | 70.8       | 58.7         | 71.25    | 67.44    | 62.66    | 23.89    | 30.57    | 16.21    | 18.02    | 3.28     | 3.7      |
| Plane091 | 57244.26 | -17106.31 | 1269.36 | 29.4       | 60.3         | 34.39    | 33.32    | 37.62    | 8.85     | 2.05     | 4.61     | 4.67     | 4.59     | 6.3      |
| Plane092 | 57244    | -17106.09 | 1270.37 | 36.1       | 59.9         | 40.47    | 38.96    | 41.69    | 11.05    | 4.33     | 6.2      | 6.52     | 3.62     | 5.6      |
| Plane108 | 57337.1  | -17042.64 | 1424.14 | 67.4       | 60.6         | 108.64   | 110.3    | 118.94   | 149.6    | 146.27   | 150.74   | 149.78   | 166.78   | 161.     |
| Plane116 | 57355.18 | -17050.41 | 1425.67 | 54.8       | 48.4         | 137.78   | 138.05   | 142.23   | 169.91   | 171.04   | 168.69   | 167.1    | 179.56   | 171.     |
| Plane121 | 57330.13 | -17045.1  |         |            |              |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Plane134 | 57368.13 | -17061.41 |         |            |              |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Plane135 | 57374.03 | -17059.32 |         |            |              |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Plane137 | 57374.87 | -17061.61 | 73.61   | 78.75      | 167.39       | 125.28   | 150.68   | 60.24    | 67.24    | 22.28    | 48.86    | 39.52    | 46.22    | 64.72    |
| Plane149 | 57364.78 | -17050.21 | 72.41   | 78.08      | 166.97       | 123.45   | 149.78   | 56.73    | 65.77    | 20.76    | 47.53    | 38.47    | 45.27    | 64.96    |
| Plane152 | 57346.98 | -17051.34 | 66.59   | 73.84      | 162.76       | 117.34   | 147.16   | 51.48    | 59.09    | 12.82    | 40.89    | 35.82    | 43.85    | 63.31    |
| Plane153 | 57429.72 | -17018.14 | 78.24   | 87.39      | 179.17       | 132.53   | 163.21   | 45.59    | 51.3     | 25.52    | 60.4     | 26.54    | 33.11    | 81.47    |
| Plane154 | 57430.86 | -17020.05 | 53.87   | 60.86      | 144.76       | 114.48   | 138.21   | 21.39    | 83.85    | 44.29    | 76.42    | 30.57    | 41.45    | 83       |
| Plane155 | 57433.6  | -17021.11 | 63.43   | 73.54      | 163.3        | 118.69   | 149.32   | 23.64    | 75.51    | 47.68    | 85.14    | 27.31    | 40.11    | 100.02   |
| Plane156 | 57424.82 | -17020.41 | 49.25   | 59.4       | 146.46       | 106.16   | 135.97   | 5.75     | 97.57    | 62.39    | 100.12   | 42.83    | 55.86    | 112.18   |
| Plane157 | 57426.14 | -17021.17 | 149.43  | 50.3       | 49.2         | 241.54   | 240.92   | 244.6    | 268.16   | 268.72   | 262.74   | 260.14   | 272.8    | 271.     |





## ELABORAZIONE DEI DATI: Mappatura condizioni di instabilità (Markland)

- **DATI:**
  - $\Phi$  angolo d'attrito
  - immersione ( $\alpha$ ) e inclinazione ( $\beta$ ) della parete
  - immersione ( $\varepsilon$ ) e inclinazione ( $\lambda$ ) dei piani di discontinuità
  - immersione ( $\varepsilon$ ) e inclinazione ( $\lambda$ ) delle intersezioni delle discontinuità

- **CONDIZIONI**

$$\beta > \lambda > \Phi$$

$$\varepsilon = \pm 20^\circ \alpha$$

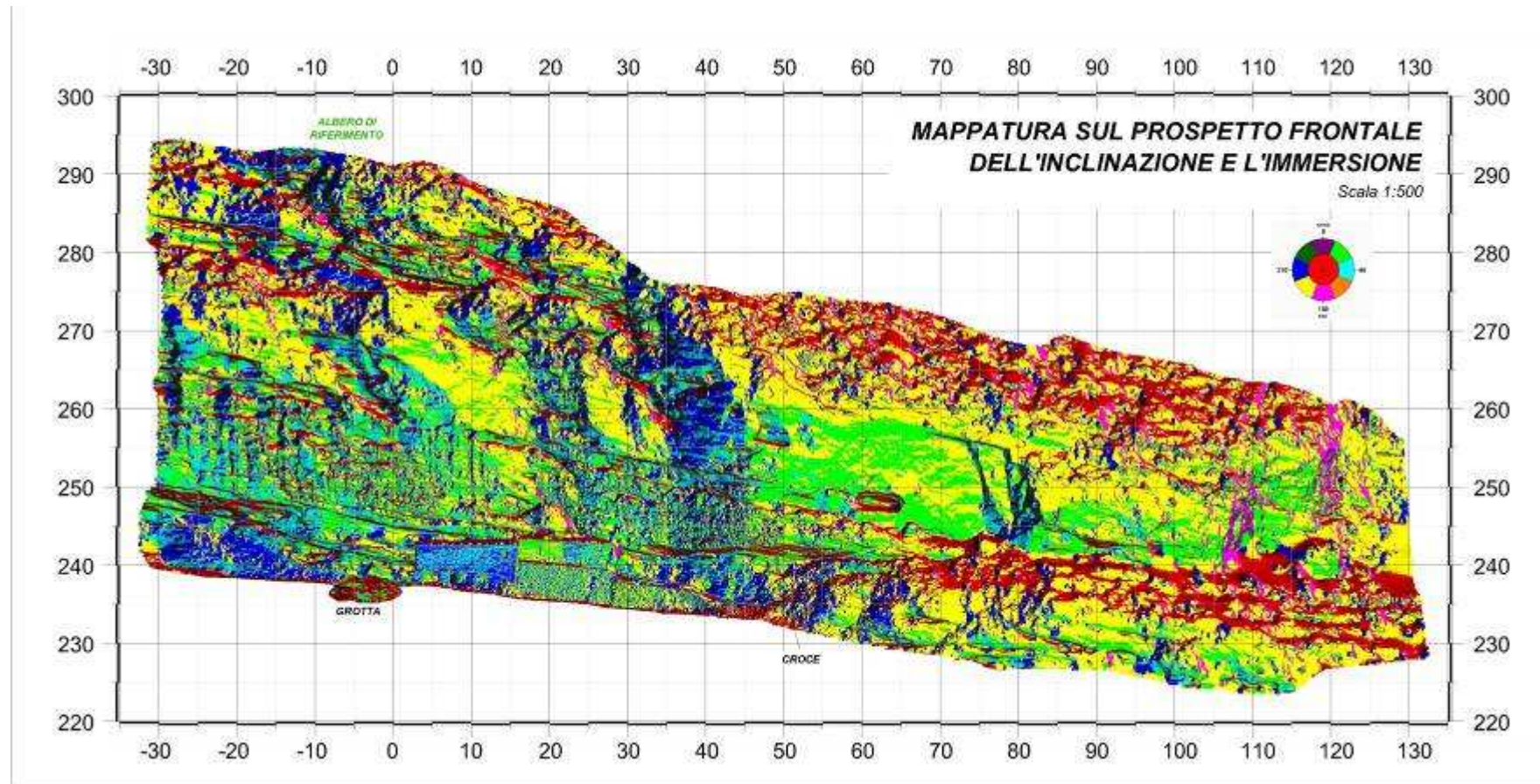


A+B+C  
Zona di potenziale distacco

**AGGREGAZIONE MAPPATURA DEI PIANI RILEVATI E DELLE LORO INTERSEZIONI CHE SODDISFANNO LE CONDIZIONI D'INSTABILITÀ..**

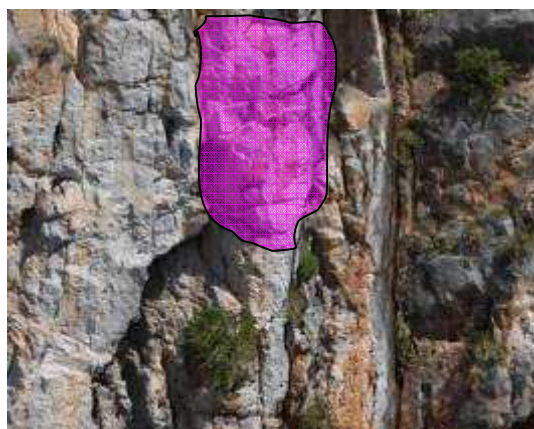


## ELABORAZIONE DEI DATI: Mappatura condizioni di instabilità (Markland)

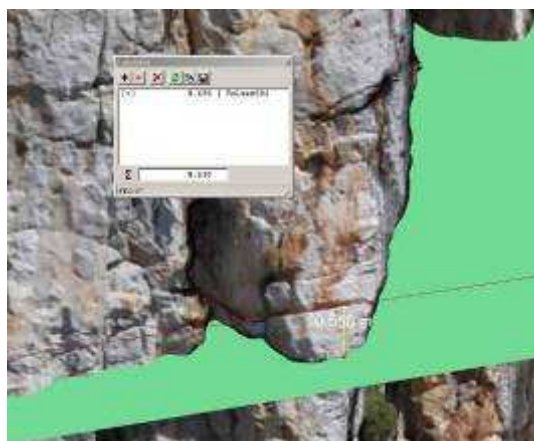




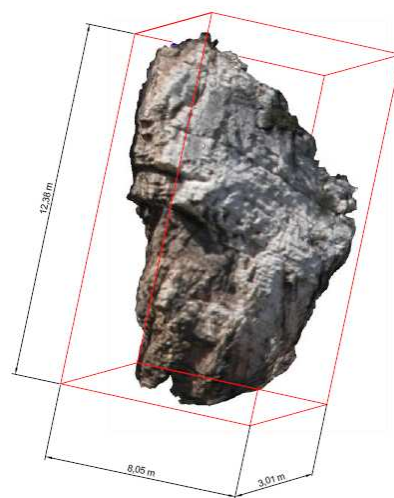
## ELABORAZIONE DEI DATI: Calcolo volumi rocciosi instabili



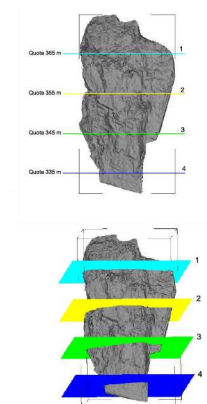
INDIVIDUAZIONE DEL BLOCCO DA STUDIARE



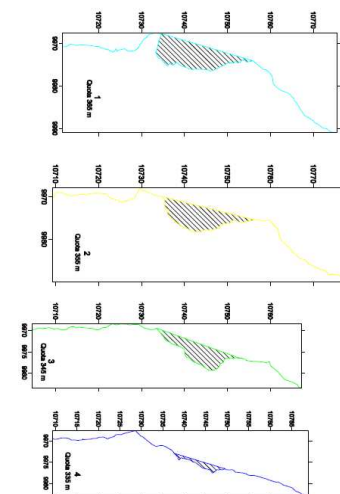
CALCOLO AUTOMATICO DEL VOLUME



INDIVIDUAZIONE GEOMETRIE DEL BLOCCO



PIANI DI SEZIONATURA DEL BLOCCO



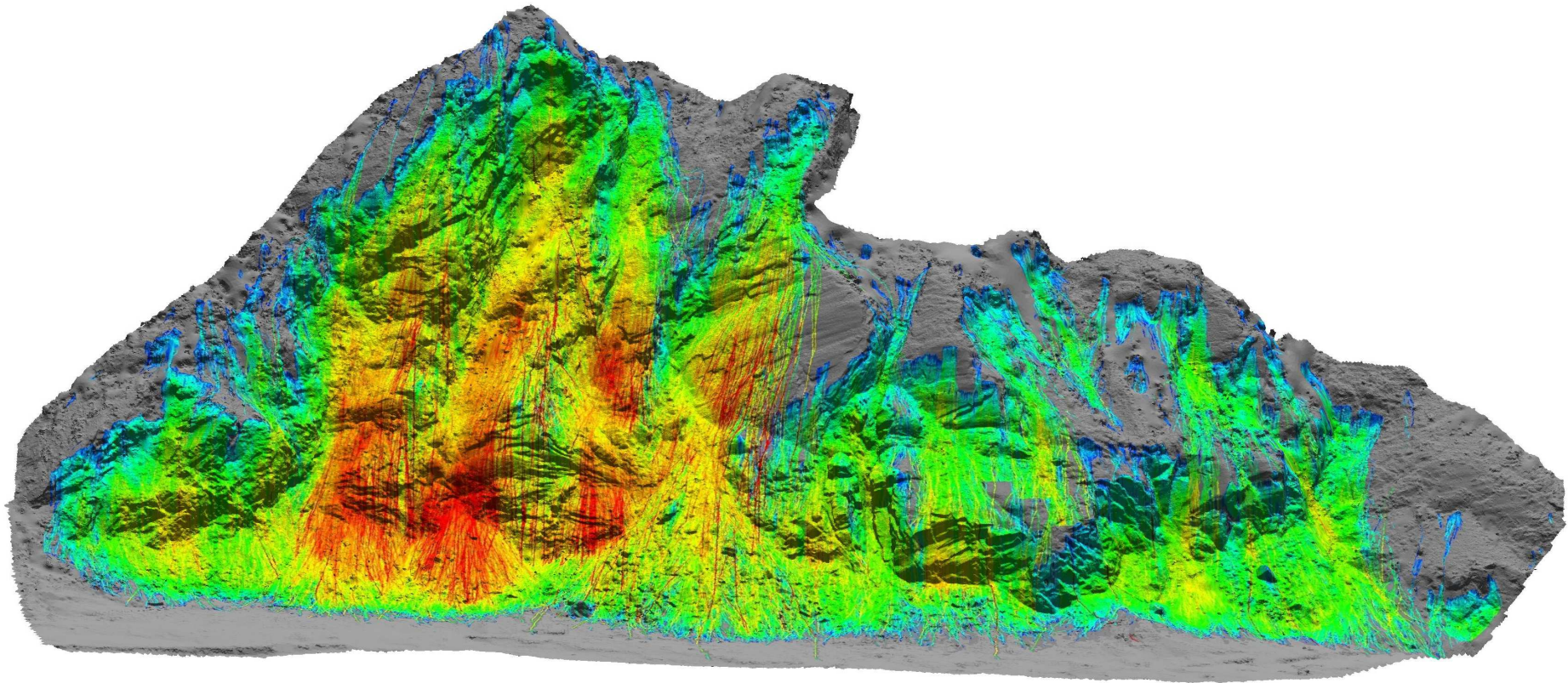
AREE DEL BLOCCO NEI DIVERSI PIANI DI SEZIONATURA





## ELABORAZIONE DEI DATI: Analisi rotolamento massi 3D

Predisposizione automatica di analisi di rotolamento massi 3D su base del software Rockyfor 3D

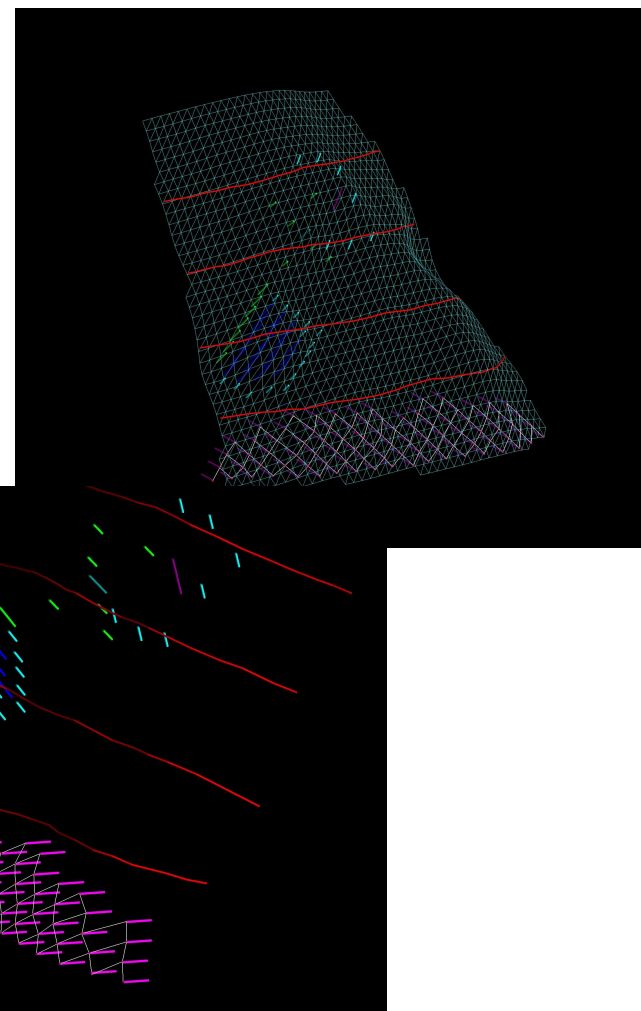
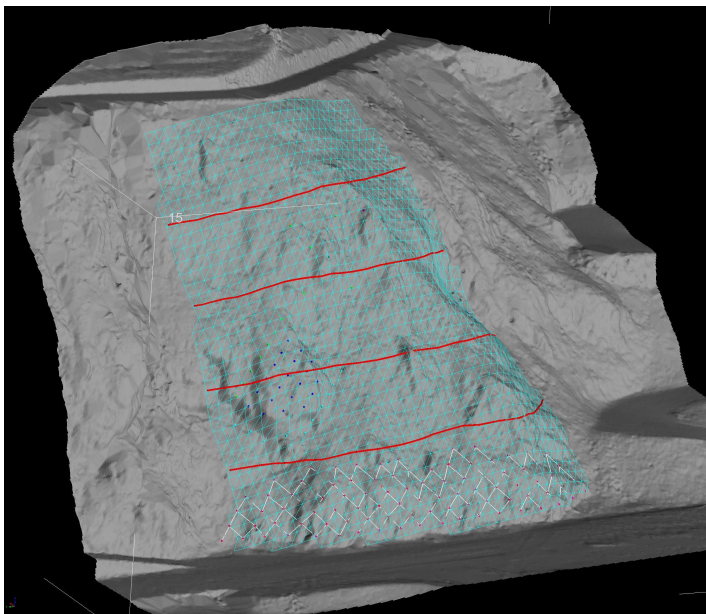




## ELABORAZIONE DEI DATI: Computi metrici strutture su versanti rocciosi

- **COMPUTO METRICO 3D DELLE OPERE DI DIFESA**

- *Superficie 3D delle reti e pannelli*
- *Lunghezza complessiva delle funi*
- *Profondità necessaria dei chiodi*

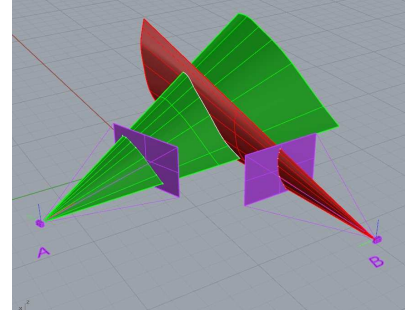
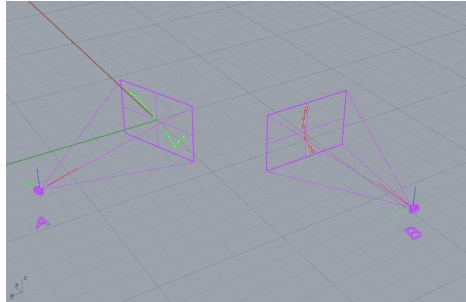




## ELABORAZIONE DEI DATI: Ricostruzione 3D di traiettorie su pendio

**Valido supporto durante le fasi di disgaggio per ricostruire le traiettorie di rimbalzo**

- **Strumenti:** → Laserscanner e fotocamere metriche
- **INPUT:**
  - rilievo della scena con laserscanner
  - minimo 2 fotocamere A,B angolate di ca 70°-110° fra di loro, ognuna in grado di riprendere il percorso dell'oggetto



- **OUTPUT:**
  - punti 3d spaziali nel tempo
  - vettori velocità
  - accelerazione





## VANTAGGI DEL RILEIVO DI PARETI ROCCIOSE CON LASER SCANNER

- **rapidità** di rilievo rispetto alla tecnologia tradizionale;
- nessuna necessità, nella fase di rilievo, di operare con personale specialistico in parete, **riducendo i rischi** derivanti da tale attività che potrà essere limitata in situazioni specifiche;
- scansione dettagliata della parete rocciosa con un sistema automatico e motorizzato di spostamento che può essere eseguita da **distanza fino a 1000m** mantenendo elevata precisione e dettaglio;
- **grande qualità** e precisione del rilievo eseguito e ripetibilità dei risultati;
- integrazione delle **analisi geomeccaniche** direttamente su modello 3D costruito della parete mediante software dedicato e specialistico che permette la definizione e il calcolo in automatico di volumi instabili;
- definizione di **percorsi e calate “virtuali”** che permettono di percorrere l'intera parete a “*talovino*” con visualizzazione da “*monitor*” senza pertanto dover ricorrere in questa fase a l'ausilio di personale specialistico quali rocciatori;
- possibilità di **integrazione con altri programmi** per analisi di stabilità e di rotolamento massi;
- **elevata precisione** (fino al cm) nella definizione delle superfici nelle porzioni di parete di interesse specifico già in fase di progettazione (ad esempio utili per la collocazione di reti in aderenza ai fini di interventi di rafforzamento corticale, etc ...), circostanza che nella successiva fase di Direzione dei lavori, e segnatamente in quella del **controllo della contabilità** da effettuarsi in contraddittorio con l'Appaltatore, permette di pervenire con estrema precisione alla determinazione delle reali quantità di materiale messo in opera, offrendo inoltre la possibilità di un costante monitoraggio durante lo sviluppo delle opere.

