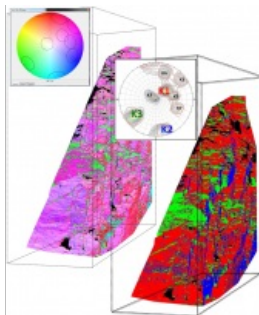


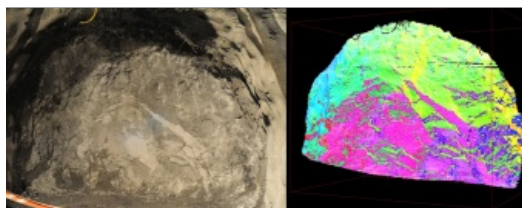
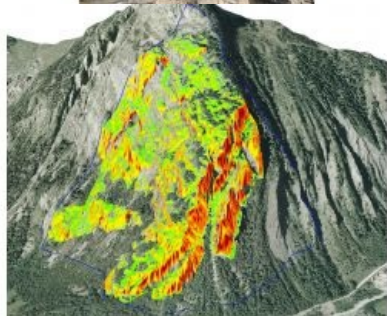
MEJORAR EL ANÁLISIS GEOMECÁNICO CON ESCÁNERES LÁSER TERRESTRES

¿Sólido como una roca?



Las personas a menudo describen algo duro e inamovible como "sólido como una roca". Pero la roca no siempre está a la altura de su reputación. Dependiendo de sus características y las condiciones locales, las secciones de la roca se pueden deslizar, desprender, desmoronar o deformar, potencialmente con consecuencias graves. Los geólogos estudian las propiedades geomecánicas de las masas rocosas para entender la forma en que pueden fallar.

Tradicionalmente, esto se hace a través de la medición de las características de las familias de discontinuidades del macizo rocoso mediante escalada de la cara de la roca o el uso de la fotogrametría, pero el escaneado láser terrestre (TLS) ha llamado la atención de los geólogos como un método más seguro y más eficaz. En este artículo se



ilustra el uso de TLS para el análisis geomecánico en los Alpes italianos.

(Por Dr. Andrea Tamburini, presidente y co-fundador de IMAGEO, Turín, Italia)

Alcanzando un máximo de más de 4.000 metros de altura, el Matterhorn es un símbolo de la frontera entre Suiza e Italia. Los escaladores que ascienden a la cumbre de esta montaña alpina italiana a lo largo de la ruta convencional en la cresta sur-oeste por lo general comienzan en el refugio Carrel, un pequeño edificio se alza sobre un acantilado. Por desgracia, el derretimiento del suelo congelado ha debilitado la masa de roca del acantilado, provocando la caída de rocas regulares que en ocasiones incluso conduce al cierre de la ruta.

Esta situación peligrosa impulsó a la Fondazione Montagna Sicura (Fundación de Montaña Segura, FMS) pedir a IMAGEO S.r.l., una empresa spin-off de la Universidad de Turín, el analizar la roca cercana y determinar el peligro de la ruta y el refugio. Esta actividad fue iniciada en el marco del proyecto Interreg III -PERMAdataROC en el verano de 2008. El mapeo del Matterhorn ahora se hace sobre una base regular. Inicialmente fue una de las primeras posibilidades de IMAGEO para probar los TLS para esta aplicación, pero los Alpes siguen siendo un interesante lugar de investigación de nuevas mejoras de la tecnología de hoy en día.

Beneficios de TLS

En comparación con un sondeo sobre el sitio, la principal ventaja de utilizar TLS es su gama. En lugar de tener que escalar rocas ciertamente inestables, los investigadores examinaron la parte inestable del Matterhorn alrededor del refugio Carrel se pudo configurar el escáner láser (Optech ILRIS TLS en este caso) a 400 metros en la cima considerablemente más seguro y accesible que la Testa del Leone. El TLS también provee fotogrametría superior a la tradicional gracias a la inherentemente naturaleza 3D de su escaneo laser de nube de punto. El primer paso de la caracterización geomecánica de roca masiva es medir los parámetros geométricos de discontinuidad (inclinación y la dirección de buzamiento) en 3D, y un TLS puede cubrir rápidamente toda la región de interés con millones de puntos láser 3D. Por el contrario, para derivar los datos 3D a partir de la fotogrametría, se tiene que disparar a la zona de montaña desde múltiples ángulos y fusionar los conjuntos de imágenes utilizando el software de triangulación. Esta técnica puede ser útil, pero es mucho menos precisa que los datos TLS y requiere de operadores para establecer puntos de referencia sobre la superficie de la roca con el fin de ampliar el modelo 3D, como la fotogrametría es inherentemente sin dimensiones. En este caso particular, el único posible punto de observación es la Testa del Leone, impidiendo de ese modo el uso de la fotogrametría terrestre. Recientes experimentos han sido realizados con cámaras montadas en vehículos aéreos no tripulados (UAV) para superar estos problemas, pero no pueden sustituir totalmente a los levantamientos TLS porque los UAV en general, tienen rangos mucho más cortos y no puede funcionar bien en las condiciones de viento y a la gran altitud de los Alpes. En condiciones favorables, sin embargo, ambos métodos se pueden combinar con éxito para mejorar la cobertura global ya que desde un UAV se puede capturar salientes de roca que un TLS basado en tierra se puede perder.

Inclinación y la dirección de buzamiento

Como siempre, la topografía es sólo la mitad del esfuerzo. Con los datos brutos en 3D disponibles, las características geométricas de las discontinuidades del macizo rocoso necesitan ser extraídas para identificar los puntos débiles de la montaña. Los primeros elementos de interés son la inclinación y la dirección de buzamiento, ya que muestran la ubicación de los volúmenes de roca potencialmente inestables y sus posibles mecanismos de deslizamiento. Terranum Coltop3D se utiliza para determinar la orientación local de la pendiente para cada punto sobre la base de los puntos circundantes. Rocscience Dips se utiliza para proyectar los datos en un stereonet 2D. El análisis estadístico de los datos posteriormente ayuda a agrupar las mediciones y obtener la orientación de los principales conjuntos de discontinuidad.

Las fracturas de la roca

Además de la inclinación y dirección de buzamiento, también es importante entender la distribución de las fracturas en la masa de roca porque la combinación de familias de discontinuidad crea bloques extraíbles de diferentes tamaños y formas. Es más, en general se hacen fracturas de roca más débiles, pero los geólogos deben tener en cuenta otras variables, incluyendo su separación, la longitud y la intersección. Para el levantamiento del Matterhorn, en el pasado cada una de estas variables se midió manualmente en una tarea tediosa y consumiendo tiempo. Esta tarea ahora se ha automatizado gracias a softwares y algoritmos personalizados de terceros.

El primer paso es convertir la nube de puntos en una malla usando JRC 3D Reconstructor y luego usar una herramienta personalizada semi-automática para detectar los principales trazos de fracturas. Estos trazos son entonces convertidos en polilíneas y exportados como un formato GIS antes de agruparlas en familias de discontinuidades en base a su orientación. Desafortunadamente, hay pocos softwares "listo-para-usar" disponibles para mapear la frecuencia, el espaciamiento y la intensidad (P21) de fracturas, así como el volumen de roca primaria (Vb) y el conteo volumétrico de discontinuidades (JV). Por lo tanto, ArcPy de Esri y GDAL (un conjunto de bibliotecas espaciales de código abierto) se han utilizado para desarrollar algoritmos personalizados para llevar a cabo la tarea requerida. Por último, toda la información acerca del buzamiento y las fracturas se combinan en un mapa del Índice de Masa de Pendiente (SMR), un índice utilizado para la clasificación del macizo rocoso.

<http://www.slideshare.net/freddyamirofloresvega/3aplicacion-mecanica-de-rocas-en-tuneles>

Mejoramiento de la automatización

Los datos entregados hasta ahora han sido de gran utilidad para FMS en el apoyo a los trabajos de reparación y como solución de monitorización. Sobre la base de este éxito, de cinco a siete levantamientos con TLS al año se hacen ahora sólo en los Alpes. Cada levantamiento ayuda a mejorar aún más la eficiencia en la automatización del procesamiento y análisis de datos utilizando las diversas herramientas de software. TLS y las herramientas de software asociadas ahora son usadas también en aplicaciones distintas de las montañas, tales como mapeo de la estabilidad de taludes en roca a lo largo de carreteras y ferrocarriles. Por ejemplo, un sondeo de prueba subterránea ha sido realizado por un operador de una mina para demostrar que TLS era adecuado para levantamientos de las caras del túnel. La velocidad del levantamiento era de gran preocupación aquí, ya que las actividades mineras tuvieron que parar temporalmente durante el sondeo. El tiempo requerido para mapear las caras de la roca fue reducido debido al montaje de la ILRIS TLS en una camioneta para conducir de un túnel a otro; fue posible escanear cada cara del túnel en sólo siete minutos. A medida que los datos fueron también post-procesados en el lugar después del sondeo utilizando las herramientas automatizadas, sólo se requirió de dos a tres horas para producir los datos finales, con lo cual los propietarios de las minas estuvieron de acuerdo que fue tan exacta como sus métodos fotogramétricos convencionales.

Nuevo enfoque eficaz

Los resultados del proyecto Matterhorn y las pruebas en minas subterráneas han demostrado que TLS es un nuevo enfoque eficaz para el análisis de la estabilidad de la masa rocosa en varios contextos, tanto con levantamientos estáticos y cinemáticos. Esto ayuda en la planificación de investigaciones más detalladas, diseñando obras de protección y definiendo la estrategia más adecuada para monitoreo de la deformación de talud en el futuro.

Autor

Andrea Tamburini

Dr. Andrea Tamburini es geólogo con un doctorado en geomática. Ha dirigido varios proyectos en materia de la evaluación del peligro de deslizamiento y glaciación y el seguimiento. De 1987 a 2007, Tamburini trabajó con varias compañías (ismes, CESI) de investigación del ENEL Group. Desde 2007 ha sido presidente y CEO de IMAGEO Srl, una empresa spin-off de la Universidad de Turín. Su experiencia principal se refiere a la utilización de la geomática para el estudio y caracterización de taludes-laderas inestables tanto a escala local y regional, así como la caracterización geomecánica de los acantilados de roca, taludes de minas a cielo abierto y las caras de los túneles.

Figura 1, Arista sur-oeste de la Matterhorn, visto desde el punto de levantamiento (refugio Carrel visible en el centro).

Figura 2, El análisis de orientación de los taludes -laderas(izquierda) y la orientación de las principales familias de discontinuidades (derecha) en el Matterhorn.

Figura 3, Generando automáticamente un mapa de Índice de Masa de Pendiente (SMR) de un talud cerca de Courmayeur, en la parte noroeste de los Alpes (las áreas indicadas con rojos son menos estables).

Figura 4, La cara del túnel (izquierda) y generando automáticamente un mapa de su orientación conjunta (derecha).

