



ANNO XV

# L'AMBIENTE

PERIODICO TECNICO-SCIENTIFICO DI CULTURA AMBIENTALE

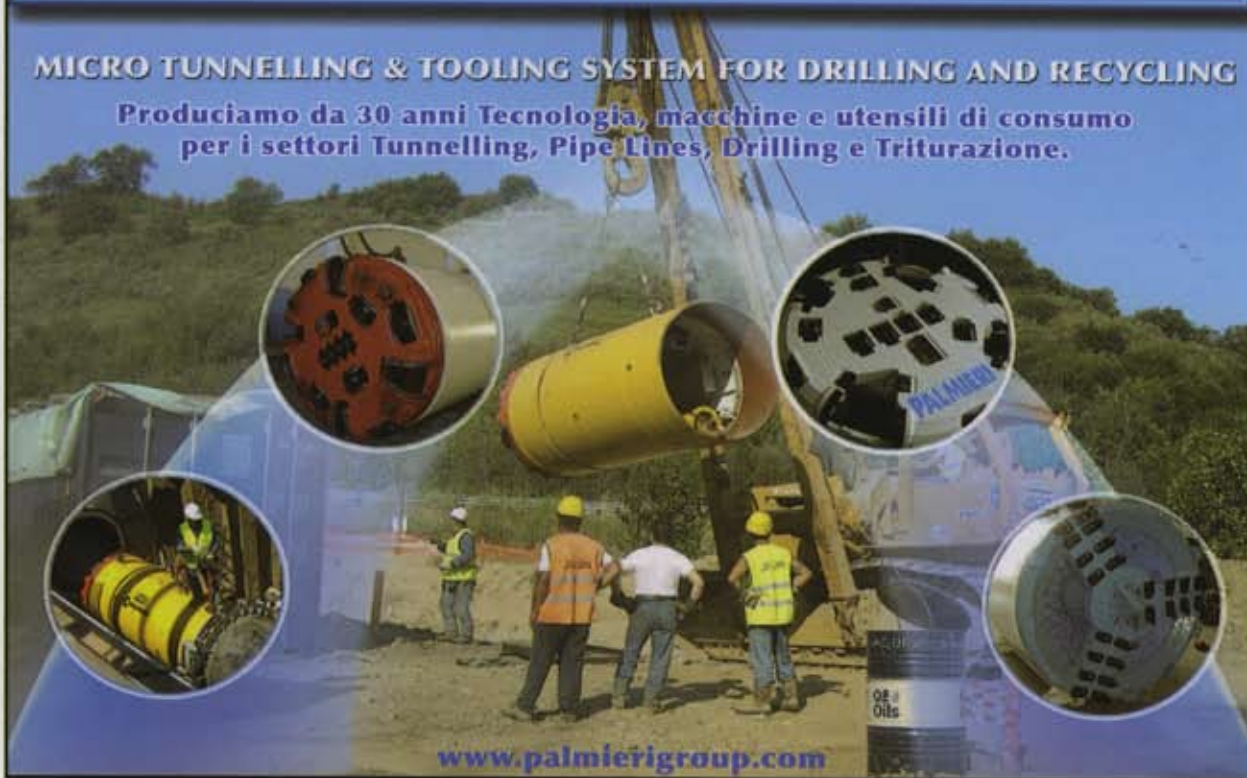
# 4

LUGLIO - AGOSTO  
2008



**MICRO TUNNELLING & TOOLING SYSTEM FOR DRILLING AND RECYCLING**

Produciamo da 30 anni Tecnologia, macchine e utensili di consumo  
per i settori Tunnelling, Pipe Lines, Drilling e Triturazione.



SPEDIZIONE IN A.P. - 45% - COMMA 20/B LEGGE 662/96 - FILIALE DI MILANO

[www.palmierigroup.com](http://www.palmierigroup.com)

I.C.S.A.



# Il laser scanning e CloudCUBE per le grotte di Naica

➤ E. P. Canevese, R. Tedeschi, Virtualgeo S.r.l. e S.P.A.R.T.A. s.r.l. ( ✉ [ermio.canevese@virtualgeo.it](mailto:ermio.canevese@virtualgeo.it), [roberta.tedeschi@virtualgeo.it](mailto:roberta.tedeschi@virtualgeo.it) )  
 ➤ P. Mora, Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna ( ✉ [paolo.mora@unibo.it](mailto:paolo.mora@unibo.it) )

Le Grotte di Naica, in Messico, sono uno spettacolo unico al mondo per bellezza e valenza scientifica. Per queste grotte, rivestite di cristalli di gesso giganti, è stato necessario pianificare adeguate strategie di documentazione, quale premessa necessaria alla loro conoscenza e strumento di tutela per garantirne la trasmissione alle generazioni future.

La società italiana Virtualgeo ha verificato la possibilità di rilevare lo stato di fatto delle grotte e dei cristalli con tecnologia laser scanning realizzando, con software proprietario CloudCUBE, il modello digitale tridimensionale della Cueva de los Cristales.

Il gruppo di lavoro dell'Università di Bologna si sta occupando di analisi dati 3D e di strategie operative.

## Foresta di cristall

Tra i 180 e i 300 metri di profondità all'interno di una miniera, a Naica, città del Messico settentrionale 130 km a sud-est di Chihuahua, si trovano delle grotte rivestite di cristalli trasparenti di gesso. La Cueva del los Cristales (Figura 1) e la Cueva del las Espadas (Figura 2) sono le più grandi tra le cavità presenti, che includono grotte minori, tra cui spiccano l'Ojo de la Reina e la Cueva del las Velas.

Le cuevas sono rivestite di cristalli di gesso, formati da lamine composte in forme incredibili che danno origine ai toponimi delle cavità. Nella grotta più spettacolare, la Cueva de los Cristales, i cristalli raggiungono i 12 metri di lunghezza: una vera a propria "foresta" di macrocristalli.

## Progetto Naica

Il Progetto Naica è una campagna di ricerca e documentazione, di durata quadriennale, sulle grotte di miniera di Naica, promossa e organizzata dalla società messicana Speleoresearch & Films e dall'associazione culturale di esplorazione geografica La Venta (Italia). Il progetto ha come obiettivo la realizzazione di studi sulle grotte, a copertura di diversi ambiti disciplinari, che oltre a fare luce sugli aspetti specificamente geologici e mineralogici, permettano anche di formulare ipotesi sulla loro conservazione. L'iniziativa attualmente coinvolge un gruppo di oltre 40 scienziati provenienti da 17 università e 2 centri di ricerca. La prima spedizione ufficiale in Messico del Progetto Naica, nel maggio 2007, è stata preceduta da una lunga fase di preparazione durante la quale il team La Venta ha studiato e messo a punto l'attrezzatura e le procedure operative per poter affrontare le grotte in sicurezza.

I primi risultati del Progetto Naica sono stati illustrati nel dicembre 2007 al convegno "Le grotte di Naica: esplorazione, documentazione, ricerca" organizzato dal prof. Paolo Forti presso il Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna. In tale occasione Virtualgeo, oltre a descrivere i primi risultati dei rilievi laser scanning, ha predisposto una postazione attrezzata

per la visione stereoscopica, grazie a cui è stato possibile visitare "virtualmente" in tre dimensioni le grotte di Naica, utilizzando immagini scattate in stereoscopia dalla società stessa.

## Rilievo con laser scanner

Virtualgeo è attiva dal 1994 nei campi della geomatica, dello sviluppo software e della comunicazione, nell'ambito dei quali fornisce servizi a supporto dello studio e della valorizzazione del patrimonio culturale e ambientale, impiegando le tecnologie più avanzate. Nel quadro delle indagini riguardanti lo studio della topografia delle grotte, l'intervento di Virtualgeo nel Progetto Naica è, dunque, consistito nel rilievo con laser scanner delle Cuevas de los Cristales e de las Espadas. La fase di campagna del rilievo, condotta dal direttore tecnico della società, il geologo Roberta Tedeschi, si è svolta nel maggio 2007. Il rilievo è finalizzato alla documentazione dello stato di fatto delle grotte, attraverso la costituzione di un database geometrico tridimensionale di alta precisione, completo di colore, della morfologia e dell'aspetto delle grotte e dei cristalli. I modelli tridimensionali ottenuti elaborando i dati del laser scanner sono destinati a scopi scientifici (possibilità di effettuare studi specialistici "a distanza" sulle cavità e sui cristalli) e divulgativi (accessibilità virtuale e semi-immersiva, anche in stereoscopia, per il vasto pubblico; valorizzazione e promozione del sito; simulazione e valutazione di ipotesi per la conservazione delle grotte, etc.).

In questo ambito il gruppo di lavoro del Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna si sta occupando di analisi legate ai dati tridimensionali raccolti e di strategie operative per le future campagne di rilievo 3D anche per la verifica dell'accuratezza dei dati.



Figura 1 - Scansione laser 3D della Cueva de los Cristales a Naica (Messico).





**Figura 2 - Scansioni laser 3D della Cueva de las Espadas a Naica (Messico).**

### Acquisizione morfometrica di grotte

La criticità dei rilievi in grotta è legata alle dimensioni e allo sviluppo degli ambienti, che spesso implicano difficoltà di carattere operativo e logistico, oltre che all'irregolarità delle superfici verticali e orizzontali. Per la loro estensione e intrinseca complessità, non è possibile misurare con alto livello di dettaglio tali superfici utilizzando le tradizionali tecniche di rilievo, con cui si possono ottenere solo rilievi "di massima". Rimane problematico individuare un metodo di rilievo morfometrico il più possibile automatizzato, valido per ogni tipo di ambiente ipogeo e per le diverse casistiche applicative, che minimizzi le incertezze di misura, riducendo tempi e costi (del lavoro in grotta e dell'elaborazione dei dati), incrementando nel contempo la quantità e la qualità delle informazioni acquisite.

In tale direzione il rilievo con strumentazione laser scanner dà riscontro per la rapidità con cui rileva la morfometria di vaste superfici complesse, per la densità, la precisione e la completezza dei dati acquisiti rispetto alla strumentazione topografica tradizionale.

### Ambiente ostile

Le operazioni di rilievo nelle grotte di Naica si sono svolte in condizioni estreme sia per la fisiologia degli operatori sia per il funzionamento della strumentazione di rilievo (48°C di temperatura e umidità vicina al 100% nella Cueva de los Cristales). Il funzionamento del laser scanner impiegato è, infatti, garantito dal produttore per temperature comprese tra i 5° e i 40°C e in assenza di condensa.

Il microclima proibitivo, unito alla mobilità limitata e rischiosa tra i cristalli di tutta l'attrezzatura necessaria al rilievo (laser scanner, computer portatile, cavi, dispositivi per l'alimentazione elettrica, etc.), ha influito sull'operatività dei tecnici che hanno potuto lavorare solo indossando tute e calzature appositamente studiate e predisposte dall'associazione La Venta per l'intera spedizione.

### Acquisizione dei dati

Il laser scanner impiegato per il rilievo delle grotte di Naica è di tipo "phase shift", in grado di calcolare la distanza dell'oggetto rilevato per "confronto" di tre impulsi di ritorno aventi differenti lunghezze d'onda. Alcune specifiche tecniche relative alla strumentazione sono riportate in **Tabella 1**.

All'interno della Cueva de las Espadas e della Cueva de los Cristales sono state eseguite in tutto 4 scansioni, acquisendo le coordinate spaziali e il valore cromatico RGB (questo grazie alla fotocamera incorporata al laser scanner che ha effettuato 40 riprese fotografiche,

10 per ogni scansione) di oltre 43 milioni di punti. Il numero di scansioni e i milioni di punti rilevati dal laser scanner, la quantità di immagini acquisite dalla fotocamera e il "peso" complessivo dei dati digitali ottenuti dalla campagna di rilievo a Naica, distinti per ciascuna delle due grotte rilevate, sono elencati in **Tabella 2**. La permanenza all'interno delle grotte per tutte le operazioni necessarie al rilievo è stata complessivamente di 3 ore (distribuite in 2 giornate di lavoro), di cui 15 minuti impiegati per effettuare le scansioni.

Modello laser scanner	CAM2 LS 880
Distanza	0,6 m - 76 m
Velocità di misura	120.000 punti/secondo
Errore di distanza lineare	±3 mm a 25 m
Campo visivo verticale	320°
Campo visivo orizzontale	360°
Durata della scansione	2 milioni di punti in 20 secondi
Peso	14,5 kg
Modello fotocamera incorporata	Nikon D70
Pixel	6.1 M

**Tabella 1 - Specifiche tecniche relative al laser scanner impiegato da Virtualgeo nelle Cuevas de los Cristales e de las Espadas a Naica.**

	Cueva de los Cristales	Cueva de las Espadas
Numero scansioni acquisite	1	3
Numero punti acquisiti	13.180.893	30.032.525
Numero immagini 2D acquisite	10	30
Quantità dati laser acquisiti	1 GB	3 GB
Quantità immagini 2D acquisite	45 MB	135 MB

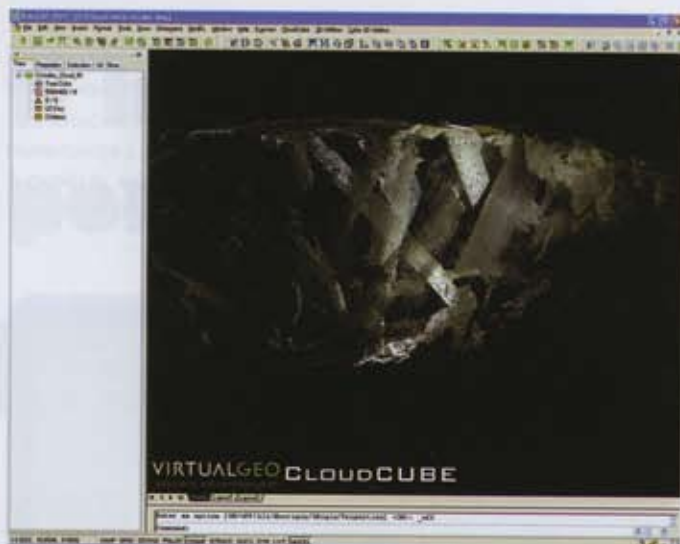
**Tabella 2 - Numero di scansioni e milioni di punti rilevati dal laser scanner, numero di immagini acquisite dalla fotocamera incorporata e "peso" complessivo dei dati digitali, distinti per ciascuna delle grotte rilevate da Virtualgeo.**

### Post-processamento dei dati e primi risultati

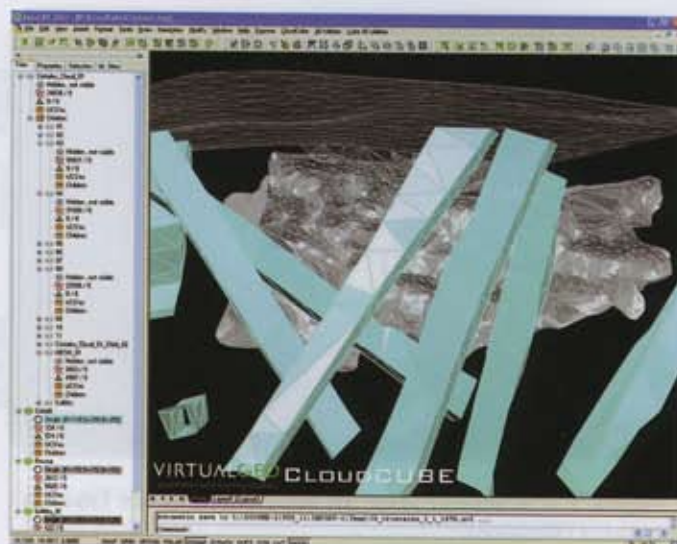
Il post-processamento dei dati acquisiti con laser scanner nelle grotte di Naica, previo allineamento delle scansioni della Cueva de las Espadas, è stato condotto con CloudCUBE, software proprietario sviluppato da Virtualgeo per la gestione e la modellazione delle nuvole di punti in ambiente AutoCAD®.

Il lavoro ha comportato l'importazione in AutoCAD® della nuvola di punti che, una volta visualizzata, è stata sottoposta a un'accurata fase di pulitura e filtraggio per eliminare il rumore e i punti non significativi. Per la Cueva de los Cristales il risultato di questa fase preliminare è mostrato in **Figura 3**. Il successivo passaggio, concentrato sulla Cueva de los Cristales, è consistito nell'organizzazione della nuvola di punti, per ottenere una base razionalmente ordinata in base alle esigenze di elaborazione e allo scopo del rilievo, su cui lavorare ottimizzando i tempi. In **Figura 4** si vede, ad esempio, come la nuvola di punti sia stata divisa in sotto-nuvole, ciascuna corrispondente a un





**Figura 3 - Cueva de los Cristales: visualizzazione in ambiente AutoCAD® con il software CloudCUBE di Virtualgeo della nuvola di punti.**



**Figura 5 - Modello 3D a superfici della Cueva de los Cristales riprodotto con modalità di visualizzazione shade.**

singolo cristallo di gesso e individuata da un colore diverso. Si è quindi proceduto alla modellazione tridimensionale della morfologia della cavità e dei suoi megacristalli, impiegando le funzionalità offerte dal software CloudCUBE. Il modello tridimensionale a superfici della Cueva de los Cristales, ottenuto con tale software, è riprodotto in modalità shade in **Figura 5**. Con CloudCUBE, dal modello tridimensionale della grotta è possibile ottenere, rapidamente, informazioni dimensionali di qualsiasi tipo, sezioni orizzontali e verticali "composte" (ossia combinate con prospetti a linee e immagini delle nuvole di punti), viste assonometriche e spaccati dello stato di fatto.

## Conclusioni

La ricostruzione digitale tridimensionale della Cueva de los Cristales è il risultato di un'indagine pilota che ha trovato nella tecnologia laser scanning e nell'approccio metodologico del reverse modelling una soluzione praticabile per documentare un "oggetto" nel modo più completo possibile, limitando i rischi legati all'insufficienza e/o all'inadeguatezza dell'acquisizione dei dati. Si tratta comunque di una modalità operativa estensibile a qualunque altro contesto, in

cui si renda necessario gestire una complessità morfologica notevole e una grande mole di dati di rilievo. Nel caso di Naica, inoltre, la rapidità dell'acquisizione dei dati del laser scanner ha permesso di superare l'ostacolo posto dalle condizioni ambientali.

Il software CloudCUBE ha messo a disposizione una serie di strumenti per il trattamento dei milioni di punti acquisiti, per la loro organizzazione ottimizzata e per la costruzione, direttamente sulle nuvole di punti, del relativo modello digitale tridimensionale, che costituisce la base per l'elaborazione di un'ampia gamma di rappresentazioni grafiche. L'analisi del dato tridimensionale raccolto è effettuata dal Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna che si sta occupando anche della pianificazione delle future campagne di rilievo laser scanning.

## Ringraziamenti

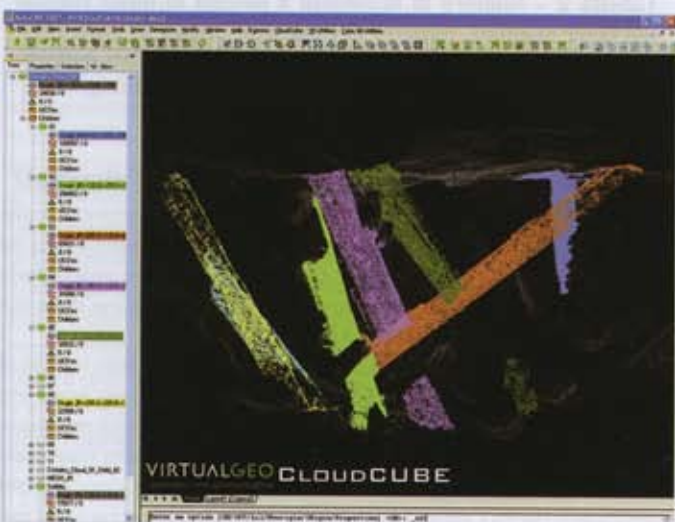
Si ringraziano: Speleoresearch & Films e l'associazione culturale di esplorazione geografica La Venta per la collaborazione, CAM2 S.r.l.-FARO Technologies Inc. per la strumentazione laser scanner, Compañía Minera Peñoles per aver consentito l'accesso alla miniera

## Website di riferimento

- [www.virtualgeo.it](http://www.virtualgeo.it)
- [www.sparta.it](http://www.sparta.it)
- [www.cloud-cube.com](http://www.cloud-cube.com)
- [www.laventa.it](http://www.laventa.it)

## Bibliografia

- Badino G. (2008) - Trenta mesi di Naica - *KUR*, 10, 16-25.
- Canevise E.P., Tedeschi R., MORA P. (2008a) - The caves of Naica in 3D, *Geoconnexion International Magazine*, 7, 7, 48-51.
- Canevise E.P., Tedeschi R., MORA P. (2008b) - Naica in 3D - *Civil Engineering Surveyor*, July/August 2008, 37-40.
- Canevise E.P., Tedeschi R., MORA P. (2008c) - Naica in 3D. Il laser scanning e CloudCUBE per le grotte di Naica - *GEOmedia*, 3, 28-30.
- Tedeschi R. (2007) - Il rilievo con tecnologia laser scanner, in Forti P. (a cura di) (2007) - *Le Grotte di Naica: esplorazione, documentazione, ricerca - Libro dei riassunti*, Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna, 29-31.



**Figura 4 - Cueva de los Cristales: organizzazione in ambiente AutoCAD® con il software CloudCUBE di Virtualgeo della nuvola di punti in sotto-nuvole, ognuna corrispondente a un cristallo di gesso.**