

# Il laser scanning e CloudCUBE per le grotte di Naica

di Erminio Paolo Canevese, Roberta Tedeschi e Paolo Mora

Speleoresearch & Films<sup>+</sup>

Virtualgeo, società che si occupa di geomatica, sviluppo software e comunicazione, ha preso parte nel maggio 2007 alla prima spedizione ufficiale in Messico del Progetto Naica, che coinvolge ricercatori afferenti a dieci Università e a quattro imprese e laboratori. Nell'ambito di questo progetto di ricerca dal carattere multidisciplinare e di valenza internazionale, Virtualgeo ha svolto il rilevamento con tecnologia laser scanning di grotte ipogee rivestite di cristalli di selenite, utilizzando per la gestione e modellazione 3D delle nuvole di punti il software proprietario CloudCUBE. In questo articolo, i primi risultati del rilevamento con laser scanner di una spettacolare foresta di cristalli.

In Messico la natura offre uno spettacolo unico al mondo per bellezza e valenza scientifica. Lo scenario di questa *case history* è una miniera in cui si trovano grotte rivestite di cristalli di selenite per le quali è stato necessario pianificare specifiche strategie di documentazione, finalizzate alla ricerca e la divulgazione scientifica.

La società italiana Virtualgeo ha verificato la possibilità di rilevare lo stato di fatto delle grotte con tecnologia Laser Scanning realizzando, con il software proprietario CloudCUBE, il modello digitale 3D della Cueva de los Cristales. Il gruppo di lavoro dell'Università di Bologna si è poi occupato delle analisi dei dati 3D e delle strategie operative.

## I gioielli di Naica

A Naica, città mineraria del Messico settentrionale, 130 km a sud-est di Chihuahua, la natura offre uno spettacolo straordinario, unico al mondo, non solo per bellezza ma anche per valenza scientifica. All'interno di una miniera, tra i 180 e i 300 metri di profondità, si trovano delle grotte rivestite di cristalli trasparenti di selenite. 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 selenite, 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 14 metri di lunghezza: una vera e propria foresta di macrocristalli.

## Progetto Naica

Nel maggio 2007 Virtualgeo ha partecipato alla prima spedizione ufficiale nella miniera di Naica, organizzata dalla società messicana Speleoresearch&Films e dall'associazione culturale di esplorazione geografica La Venta (Italia), nell'ambito del "Progetto Naica". 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.

Il progetto coinvolge ricercatori provenienti da importanti università e ha come obiettivo la realizzazione di una campagna multidisciplinare di ricerca e documentazione sulle famose grotte messicane. In questo modo sarà possibile spiegare le condizioni e i meccanismi speleogenetici e minerogenetici, oltre a consentire di formulare ipotesi su come conservare una simile meraviglia della natura e trasmetterne la conoscenza alle generazioni future. I primi risultati del Progetto Naica sono stati illustrati nel dicembre 2007 durante il 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 (Italia). Virtualgeo, come partecipante al progetto, è intervenuta alla giornata di studio relazionando sulle operazioni di rilievo effettuate nelle grotte con laser scanner e sui risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati acquisiti; si è anche occupata di predisporre una postazione attrezzata per la visione stereoscopica, grazie a cui è stato possibile visitare virtualmente – a tre dimensioni – le grotte di Naica.

## Rilievo 3D laser scanning

Nel quadro delle indagini riguardanti lo studio della topografia delle grotte, l'intervento di Virtualgeo nel Progetto Naica è consistito nel rilievo con laser scanner delle Cuevas de los Cristales e de las Espadas. La fase di campagna del rilievo, eseguita da Roberta Tedeschi, si è svolta nel maggio 2007, in occasione della prima spedizione ufficiale nelle grotte della miniera di Naica.

Il rilievo è stato 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 3D ottenuti elaborando i dati del laser scanner sono destinati per scopi scientifici (con la possibilità di effettuare studi specialistici a distanza sulle cavità e sui cristalli) e divulgativi (con l'accessibilità virtuale e semi-immersiva – anche in stereoscopia – per il vasto pubblico, la

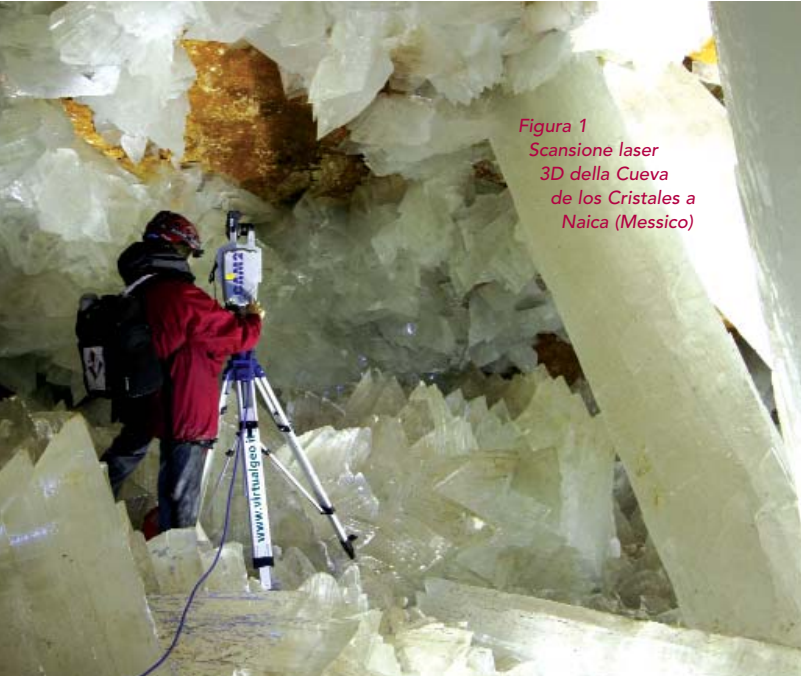


Figura 1  
Scansione laser  
3D della Cueva  
de los Cristales a  
Naica (Messico)



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

Speleoresearch & Films®

valorizzazione e promozione del sito, la simulazione e valutazione di ipotesi per la conservazione delle grotte, ecc.). 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.

### Acquisizione morfometrica di grotte

La criticità del rilievo per gli ambienti ipogei è legata all'irregolarità delle superfici verticali e orizzontali, difficili da misurare con un alto livello di dettaglio con le tecniche tradizionali di rilievo. Risulta difficile individuare un metodo di rilievo morfometrico – valido per tutti questi tipi di ambiente – che sia inoltre il più possibile automatizzato e che soddisfi i requisiti di ogni tipo di applicazione, minimizzando le incertezze della misura, riducendo tempi e costi delle operazioni (in campagna e in fase di elaborazione dei dati), incrementando nel contempo la quantità e la qualità dell'informazione acquisita.

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

### Criticità ambientali

Le operazioni di rilievo nelle grotte di Naica si sono svolte in condizioni ambientali sfavorevoli sia per la fisiologia degli operatori sia per il funzionamento della strumentazione laser scanner (48°C di temperatura e umidità vicina al 100% nella Cueva de los Cristales).

Il funzionamento del laser scanner impiegato – un Faro CAM2 LS 880 – è infatti garantito dal produttore per temperature comprese tra i 5° e i 40°C e, per quanto riguarda il grado di umidità tollerabile, in assenza di condensa. Inoltre, l'attrezzatura necessaria al rilievo (laser scanner, laptop, cavi, dispositivi per l'alimentazione elettrica, etc.) doveva essere movimentata e installata su una pavimentazione irregolare e coperta di cristalli.

Il microclima proibitivo, unito alla mobilità limitata e rischiosa tra i cristalli, 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.

### I dati acquisiti

Il laser scanner sfruttava la tecnologia *phase shift* che calcola la distanza dell'oggetto rilevato per confronto di tre impulsi

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, distinti per ciascuna delle grotte rilevate da Virtualgeo.

di ritorno aventi differenti lunghezza d'onda. Alcune specifiche tecniche relative alla strumentazione laser scanner impiegata sono riportate nella Tabella 1.

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 alla strumentazione laser scanner impiegata da Virtualgeo nelle cuevas Cuevas de los Cristales e de las Espadas a Naica.

Sono state eseguite in tutto 4 scansioni all'interno della Cueva de las Espadas e della Cueva de los Cristales, acquisendo le coordinate spaziali e il valore cromatico RGB (questo grazie alla fotocamera incorporata al laser scanner che ha effettuato nel contempo 40 riprese fotografiche, 10 per ogni scansione) di oltre 43 milioni di punti. 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. Il numero di scansioni e i milioni di punti rilevati dal laser scanner, la quantità di immagini acquisite dalla fotocamera incorporata e il peso complessivo dei dati ottenuti dalla campagna di rilievo a Naica, distinti per ciascuna delle due grotte rilevate, sono elencati nella Tabella 2.

### Post-processamento dei dati

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

	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 gigabyte	3 gigabyte
Quantità immagini 2D acquisite	45 megabyte	135 megabyte

rumore e i punti non significativi. Per quanto riguarda la Cueva de los Cristales, il risultato di questa fase preparatoria è mostrato in Figura 3.

Il successivo passaggio si è concentrato sulla Cueva de los Cristales ed è consistito nell'organizzazione della nuvola di punti, per ottenere una base razionalmente ordinata per le esigenze di elaborazione e allo scopo del rilievo, sulla quale poi 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 singolo cristallo di selenite e caratterizzata da un colore diverso.

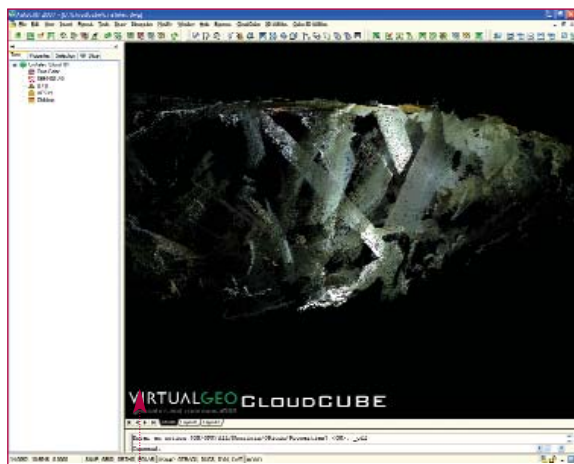


Figura 3 – Cueva de los Cristales: visualizzazione in ambiente AutoCAD con il software CloudCUBE di Virtualgeo della nuvola di punti.

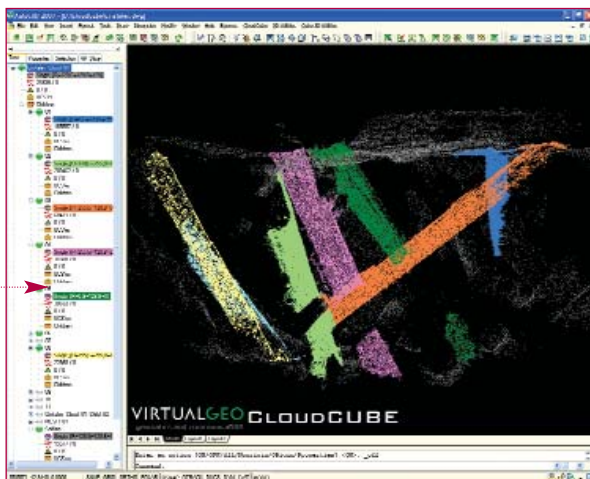


Figura 4 – Cueva de los Cristales: organizzazione in ambiente AutoCAD con il software CloudCUBE di Virtualgeo della nuvola di punti in sotto-nuvole, ognuna corrispondente a un cristallo di selenite.

**I primi risultati**

Si è quindi proceduto alla modellazione 3D della morfologia della cavità e dei suoi megacristalli, impiegando le funzionalità offerte dal software CloudCUBE. Il modello 3D a superfici della Cueva de los Cristales, ottenuto con tale software, è riprodotto con modalità di visualizzazione shade in Figura 5. Con CloudCUBE, dal modello 3D della grotta è

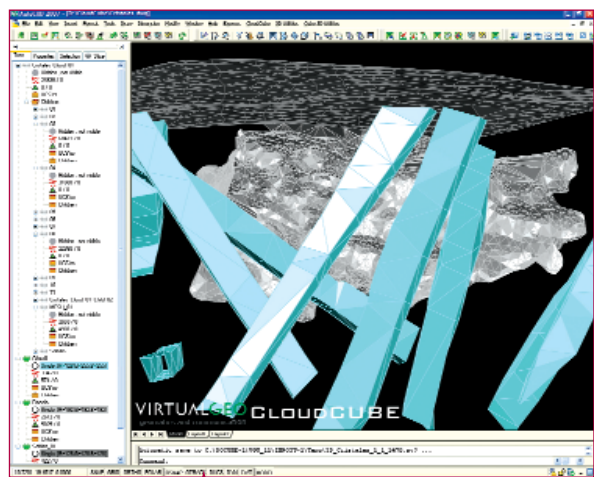


Figura 5 – Cueva de los Cristales: modello tridimensionale della cavità e dei cristalli in modalità di visualizzazione shade ottenuto in ambiente AutoCAD con il software CloudCUBE di Virtualgeo.

**Conclusioni**

La ricostruzione 3D della Cueva de los Cristales è il risultato di un'indagine pilota, estendibile a qualunque altro contesto in cui si renda necessario gestire complessità morfologiche notevoli, una grande mole di dati di rilievo e condizioni ambientali particolari, rilevanti in fase di acquisizione. Virtualgeo, partendo dalla necessità di documentare nel modo più completo possibile delle superfici complesse, ha trovato una soluzione praticabile nella tecnologia laser scanning e nell'approccio metodologico del *reverse modelling*. Il laser scanner ha infatti permesso di superare le criticità incontrate nello specifico contesto di applicazione, rilevando in tempi brevi superfici ampie, caratterizzate da una geometria articolata ed impossibili da acquisire con completezza impiegando strumentazione tradizionale. Il software CloudCUBE ha poi messo a disposizione una serie di strumenti per il trattamento dei milioni di punti acquisiti, per la loro organizzazione ottimizzata e per la modellazione – direttamente sulle nuvole di punti – del relativo modello 3D; modello che, inoltre, costituisce la base per l'elaborazione in tempi brevi di un'ampia gamma di rappresentazioni grafiche: sezioni, viste assonometriche e spaccati prospettici. L'analisi del dato tridimensionale raccolto è stata effettuata dal Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna che si sta anche occupando 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, la Compañia Minera Peñoles per aver consentito l'accesso alla miniera. **G**

**Riferimenti**

- www.virtualgeo.it
- www.cloud-cube.com
- www.laventa.it

**Abstract**

**Laser scanning and CloudCube for Naica caves**

On May 2007, Virtualgeo, a geomatic software development and communication company, took part in the first official expedition to Mexico. The Project, coined "Naica", involves researchers from ten universities, four companies and several laboratories. Virtualgeo carried out the survey by applying laser scanning technology to hypogean caves covered with selenite crystals. The data was processed using CloudCUBE, a proprietary software designed to manage and model 3D point clouds. The first results of the laser scanning survey of a spectacular "forest of crystals" are presented here.

**Autori**

ERMINIO PAOLO CANEVESE, Virtualgeo S.r.l., Italia  
ermínio.canevèse@virtualgeo.it

ROBERTA TEDESCHI, Virtualgeo S.r.l., Italia  
roberta.tedeschi@virtualgeo.it

PAOLO MORA, Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Alma Mater Studiorum Università di Bologna