

LA GROTTA DELLA LUCERNA: RILIEVO LASER SCANNER E APPLICAZIONE *TRUVIEW*

TOMMASO SANTAGATA¹, STEFANO LUGLI², MARCO ENNIO CAMORANI³, MASSIMO ERCOLANI⁴

Riassunto

La Grotta della Lucerna è una piccola cavità situata nei Gessi di Monte Mauro, nel Parco regionale della Vena del Gesso Romagnola. Questa grotta è uno dei rari siti di estrazione di *lapis specularis* attualmente documentati in Italia. Per effettuare il rilevamento con laser scanner delle zone più accessibili sono state effettuate 33 scansioni all'interno e 3 all'esterno della cavità. L'analisi dei dati ottenuti ha permesso di ricavare un modello tridimensionale, da cui è stato possibile ottenere piante e sezioni con una precisione centimetrica. Attraverso l'applicazione *Leica TruView* è stato successivamente realizzato un modello interattivo che permette la navigazione all'interno del rilievo, dove è possibile muoversi tra le varie scansioni ed eseguire diverse operazioni tra le quali misure di distanze, inserimento di testi, *snap print*, inserimento di coordinate direttamente dalle fotografie e dai punti di misura. Questa applicazione è stata utilizzata anche per realizzare i modelli bi-dimensionali tramite il *plug-in* di *Cloudworks*, con il quale è stato possibile disegnare direttamente dal *TruView* sul foglio di disegno in ambiente CAD.

Parole chiave: *lapis specularis*, gesso secondario, rilievo laser scanner, Vena del Gesso.

Abstract

The Lucerna Cave is a small cavity located in the Gypsum area of Mt. Mauro, in the Vena del Gesso Romagnola Regional Park, Northern Italy. The cave was used as a mining site for lapis specularis. The cave has been mapped through a laser scanner, with 33 stations inside the cave and 3 stations outdoor. This operation made possible the creation of a 3D model, from which it was possible to export plans and sections with a resolution of few centimeters. The application Leica TruView put the basis to make an interactive and navigable model, where distances or the possibility to add texts, snap print, coordinates from photos or measuring points are available. This application was also used to generate a 2D model through Cloudworks plug-in, thanks to which it was possible to work in CAD environment directly from TruView.

Keywords: *Lapis Specularis, Secondary Gypsum, Laser Scanner, Vena del Gesso.*

Nel I secolo d.C. Plinio il Vecchio descrisse il cosiddetto *lapis specularis*, gesso secondario impiegato come sostitutivo del vetro nelle finestre, estratto in molte zone dell'impero romano lungo tutto il bacino del Mediterraneo (LUGLI *et alii* in questo volume).

La Grotta della Lucerna, nei Gessi di Monte

Mauro, è stato il primo sito di sfruttamento del *lapis specularis* scoperto in Italia, nonché il primo individuato al di fuori dalla Spagna.

Il nome della cavità deriva dalla scoperta di alcune lucerne romane utilizzate dai cavaatori per illuminare la grotta durante le operazioni di prelievo del minerale.

¹ Gruppo Speleologico CAI Carpi - tommy.san84@gmail.com

² Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Largo S. Eufemia 19, 41100 Modena (MO) - stefano.lugli@unimore.it

³ GST- Gruppo Servizi Topografici s.n.c., via Pistelli 5, 42124 Reggio Emilia (RE) - geomgst@iol.it

⁴ Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia Romagna / Speleo GAM Mezzano - massimoercolani55@gmail.com

L'articolo descrive il rilievo di dettaglio di questo importante sito archeologico eseguito con laser scanner (fig. 1).

La Grotta della Lucerna

Questa cavità è situata alla base della falesia meridionale del massiccio gessoso di Monte Mauro, non lontano dal piccolo borgo di Zattaglia, nel Parco regionale della Vena del Gesso Romagnola. Per una descrizione di dettaglio si rimanda a GUARNIERI *et alii*, *Il lapis specularis nella Vena del Gesso romagnola* in questo volume.

La presenza di gesso in questa zona ha sempre influenzato l'insediamento umano e le economie delle comunità locali e, in questo contesto, la Grotta della Lucerna rappresenta una delle evidenze più antiche sull'uso di questo materiale.

La Grotta della Lucerna è stata scoperta nel novembre 2000 dallo Speleo GAM Mezzano che, negli anni successivi, ha condotto un lungo lavoro per rimuovere il riempimento artificiale della grotta, costituito in massima parte da scarti di estrazione del *lapis*.

Caratteristica distintiva di questa grotta è la presenza diffusa di tracce di lavorazione e di adattamenti artificiali per facilitare l'estrazio-

ne del materiale.

Dopo la scoperta di questa cavità, sempre nell'area di Monte Mauro ne sono state rinvenute numerose altre che recano tracce visibili di estrazione del *lapis*.

Rilievo con laser scanner

La Grotta della Lucerna è stata rilevata, in dettaglio, per la prima volta tra febbraio e aprile 2004 da speleologi dello Speleo GAM Mezzano, usando le tecniche classiche di rilievo speleologico con utilizzo di bussola, clinometro e longimetro laser. Questo rilievo si è dimostrato essenziale per pianificare il successivo rilievo con laser scanner.

In sostanza, quest'ultimo è uno strumento in grado di acquisire automaticamente le coordinate spaziali di una superficie. Si tratta di una tecnologia basata sull'emissione e sulla ricezione di un raggio di luce coerente, quale è appunto il laser.

Questi strumenti sono classificati in due categorie principali, in relazione al sistema di ricezione e alla successiva elaborazione del segnale. Una prima categoria comprende gli scanner a triangolazione (emettitore e ricevitore sono separati da una distanza nota, detta linea di base), mentre una seconda categoria è costituita dagli scanner a scansione (emettitore e ricevitore coincidono). I laser scanner a scansione sono, a loro volta, suddivisi in scanner a tempo di volo e scanner a differenza di fase. Nel primo caso la nuvola di punti viene generata tramite il calcolo del tempo impiegato dal raggio laser a percorrere la distanza dall'emettitore al soggetto colpito e viceversa. Conoscendo l'angolo verticale e orizzontale dell'emissione del raggio è possibile definire le coordinate del punto misurato. Nel secondo caso, la distanza viene calcolata comparando la differenza di fase tra l'onda trasmessa e quella ricevuta. Quest'ultima categoria di laser scanner si caratterizza per una velocità di acquisizione molto rapida e per una elevata densità di punti acquisiti.

Lo strumento utilizzato per questo lavoro è un modello Leica HDS7000. Si tratta di uno scanner a differenza di fase, dotato di compensatore a doppio asse, controllo a bordo, lunghezza d'onda di 1,5 micron, laser CLASS 1 con una portata di 187 m e risoluzione di 0,1 mm. Questo strumento è dotato di una fotocamera esterna Canon D7000 con obiettivo grandangolare



Fig. 1 – Operazioni di rilievo all'interno della grotta (foto T. Santagata).

e di un supporto necessario per scattare fotografie che, in fase di elaborazione, saranno unite alle scansioni.

Durante le operazioni all'interno della cavità, lo scanner e la telecamera sono stati montati su un treppiede (dello stesso tipo utilizzato per le stazioni totali). Per ogni scansione è stato effettuato in primo luogo il rilevamento con lo scanner; successivamente lo strumento è stato rimosso e al suo posto è stata montata la fotocamera. Sono stati utilizzati alcuni *target* per avere punti di connessione facilmente identificabili sia nelle scansioni che nelle foto: si tratta di dispositivi di puntamento circolari con una base di supporto magnetizzata che può ruotare a 360° (fig. 2). Il lavoro per il rilievo della grotta con laser scanner è stato suddiviso in tre giornate.

Il primo giorno è stato dedicato a ispezionare la grotta per pianificare le successive fasi di rilievo; sono poi state eseguite tre scansioni all'esterno, nelle immediate vicinanze della cavità, con posizionamento di precisione dell'ingresso. Infine, cinque scansioni sono state eseguite all'interno della grotta stessa, fino alla stanza centrale.

Durante la seconda giornata di lavoro sono state eseguite dodici scansioni, prestando particolare attenzione alle tracce di scavo. In questa fase è stata anche terminata la scansione di dettaglio della sala centrale.

Nel corso della terza giornata sono state eseguite sedici scansioni per rilevare alcuni rami secondari e gli ambienti sottostanti la sala centrale. È stato necessario rimuovere temporaneamente alcuni ostacoli come scale e corde utilizzate per facilitare la progressione. Le scansioni del ramo nord-ovest della grotta sono risultate particolarmente impegnative a causa delle pareti molto ravvicinate.

In questa cavità, così come in genere nelle grotte in gesso della nostra regione, vi è pre-

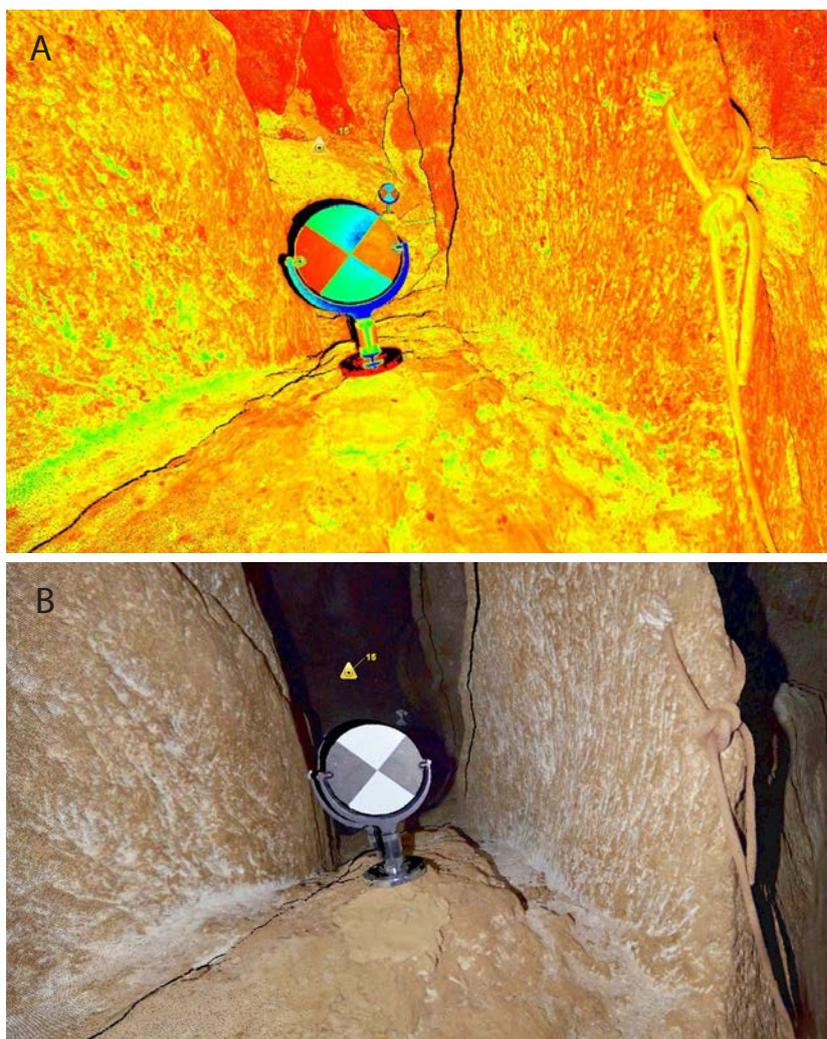


Fig. 2 – *Target* utilizzato per il rilievo, visualizzato con Cyclone.

A) Foto con banda di colori da rosso a verde ottenuta direttamente dal laser scanner. I colori sono in relazione con la riflettività della superficie.

B) Foto a colori “naturali” ottenuta “spalmando” sull’immagine laser (A) la foto scattata con una normale fotocamera.

senza diffusa di fango, stretti passaggi e alto grado di umidità, e ciò comporta rischi per la strumentazione che è stata protetta utilizzando uno speciale contenitore ideato appositamente per questa operazione.

Analisi dei dati e applicazione TruView

La prima fase “in ambiente” è stata completata con l’acquisizione di trentasei scansioni e relative fotografie. Il set di dati è stato trasferito su un disco rigido esterno e quindi su un computer per l’elaborazione finale. A causa dell’enorme quantità di dati raccolti (circa 96 GB), per eseguire la progettazione grafica è stato necessario utilizzare una *workstation*

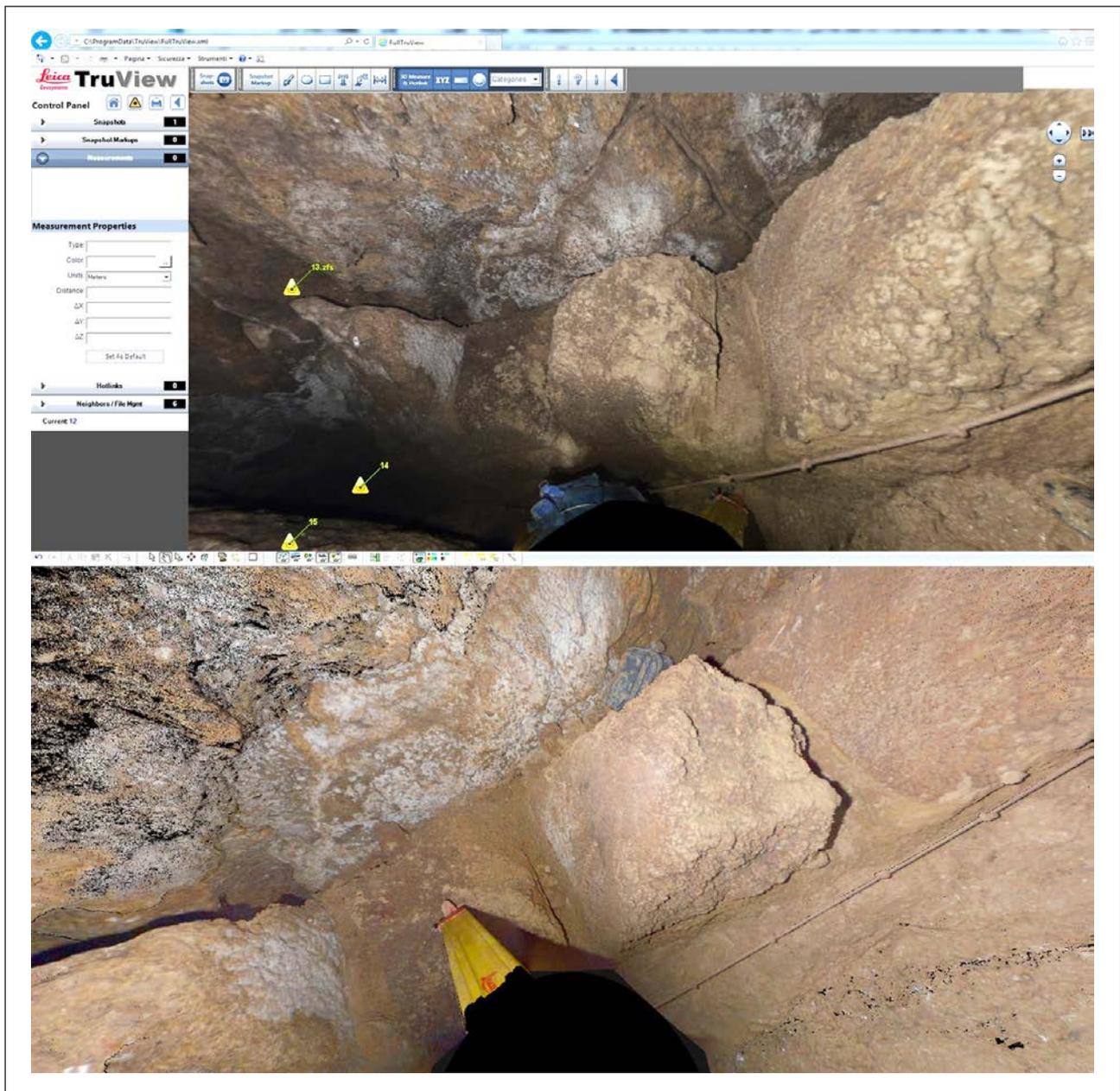


Fig. 3 – Tracce di scavi visualizzati con l'applicazione Leica *TruView* (screenshot T. Santagata).

con caratteristiche specifiche (CPU Intel i7 con alimentatore Enermax, Ram 16 GB con due dischi rigidi interni SSD Samsung 128 GB per il sistema principale e una scheda di memoria esterna HD da 320 GB, scheda grafica 3D Nvidia GTX580).

I dati scaricati direttamente dal laser scanner sono stati elaborati utilizzando il *software* Leica Cyclone, che consiste in una suite modulare che include Publisher per la creazione di set di file *TruView*.

Le scansioni originali mostrano solamente la banda di colori da rosso a verde a seconda della riflettività della superficie rilevata dal laser

(fig. 2A). Per ottenere una colorazione “naturale” delle nuvole di punti (fig. 2B) è necessario abbinare le diverse fotografie che devono essere preventivamente “fuse” tra loro.

Un ulteriore, fondamentale, passo consiste nell'unione delle trentasei scansioni usando come riferimento i *target* posti lungo il percorso.

Per realizzare tutto questo, durante l'acquisizione dei dati, ogni scansione è stata associata con otto fotografie panoramiche.

La colorazione delle nuvole di punti è stata effettuata utilizzando il *software* Leica Cyclone attraverso la selezione di punti comuni su

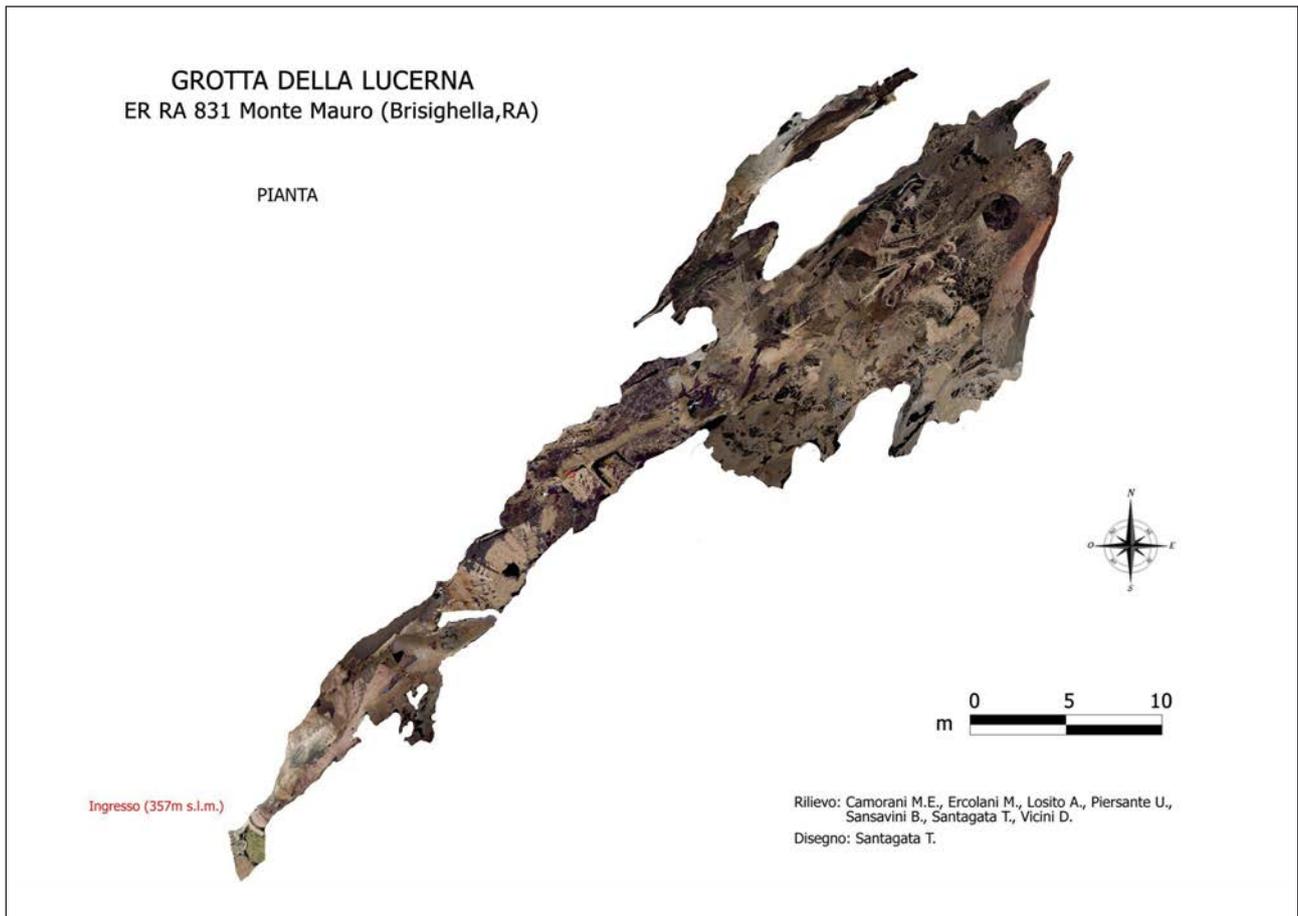


Fig. 4 – Pianta delle aree rilevate con rilievo laser scanner.

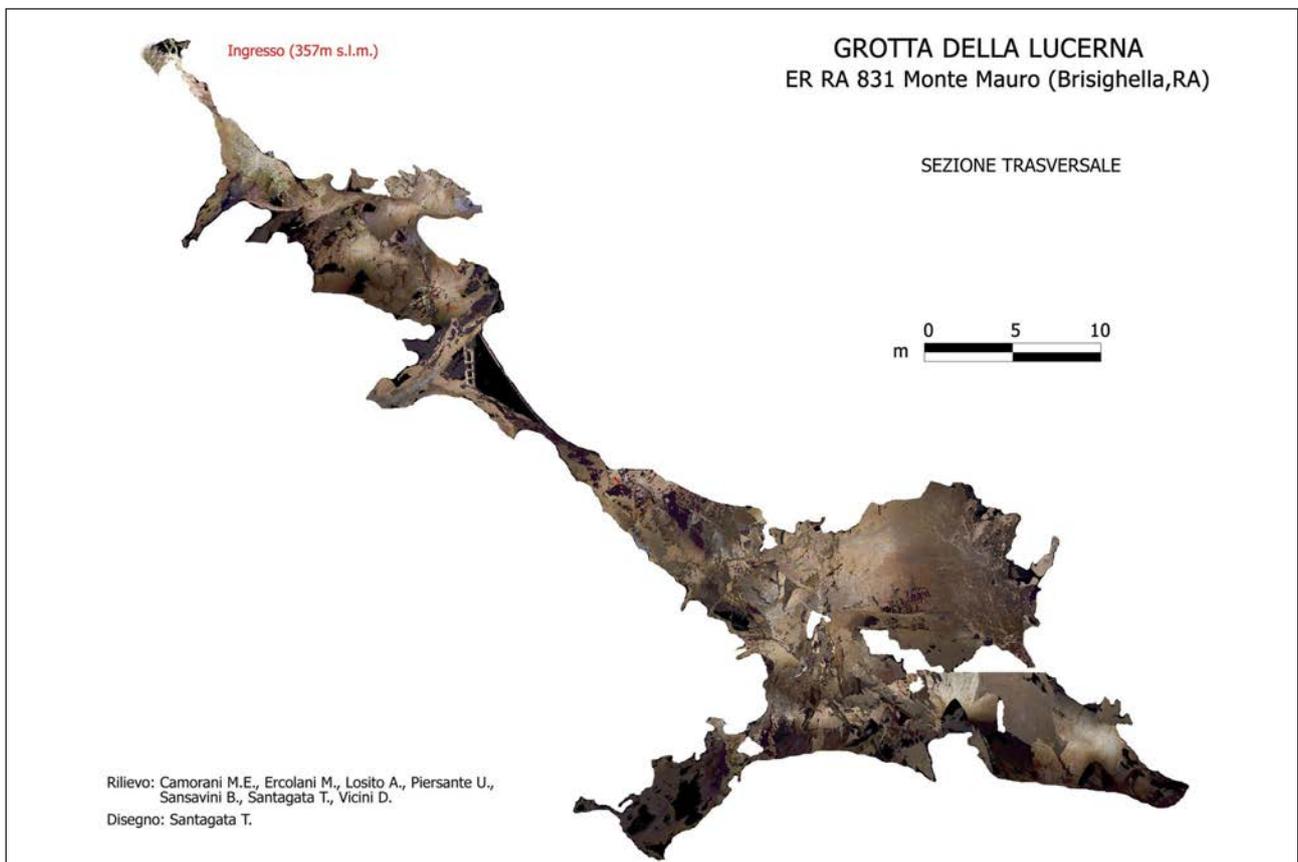


Fig. 5 – Sezione delle aree rilevate con rilievo laser scanner.

scansioni e fotografie.

Per ottenere una maggiore precisione nella sovrapposizione delle foto con le nuvole di punti, per quasi tutte le scansioni è stato necessario utilizzare anche un controllo manuale dei punti. Questa operazione è stata effettuata selezionando un minimo di quattro punti in comune tra coppie di scansioni, per ottenere così una sovrapposizione completa con un errore massimo di 0,004 m.

Il risultato finale di questa prima fase di elaborazione dei dati è stato un modello 3D che comprende tutte le nuvole di punti con colori reali che possono quindi essere utilizzati sia per l'analisi spaziale diretta e sia per trasferire questi dati in altri formati per l'elaborazione tramite altre applicazioni.

Sono poi state utilizzate altre opzioni disponibili nel *software* Cyclone per controllare l'accuratezza, la risoluzione, il colore e le dimensioni del file prima della creazione del modello *TruView*.

Dopo l'ottenimento del modello 3D, è stato realizzato un modello interattivo che consente la navigazione all'interno dei dati utilizzando appunto l'applicazione gratuita *TruView* (fig. 3). Questo *software* consente infatti la navigazione all'interno del modello 3D attraverso uno screenshot. Usando un semplice approccio "panoramico", questa applicazione consente di ruotare la vista, ingrandire o eseguire una panoramica su nuvole di punti.

In *TruView*, è possibile anche estrarre le coordinate 3D di qualsiasi punto selezionato, oppure ottenere le distanze tra due punti. Sono anche possibili altre operazioni come la marcatura di un punto, l'inserimento di note, la stampa, il salvataggio di visualizzazioni e marcature specifiche con vista telecamera associata.

Questa applicazione è stata utilizzata anche per ottenere planimetrie e sezioni di alcuni ambienti della grotta (figg. 4-5), in modalità bidimensionale, utilizzando il *plug-in* di *Cloudworks*, con il quale è anche possibile tracciare linee e polilinee direttamente da *TruView* in AutoCad.

Un nuovo rilievo della cavità, effettuato di recente con tecniche tradizionali, si è avvalso, per la restituzione del disegno, dei dati otte-

nuti con questa modalità (GUARNIERI *et alii*, *Il lapis specularis nella Vena del Gesso romagnola*, tavv. 1-2, in questo volume).

Conclusioni

Il rilievo laser scanner e la modellazione digitale 3D della Grotta della Lucerna hanno fornito un database accurato che consente significative analisi qualitative per lo studio delle tracce archeologiche e della morfologia della grotta. Inoltre, i dati acquisiti sono stati utilizzati per produrre immagini panoramiche, video con animazioni di nuvole di punti e un modello con l'applicazione *TruView*, attraverso i quali è possibile accedere virtualmente alla grotta e operare al suo interno.

Bibliografia

- AA.VV. 2010, *Linee guida sul trattamento dati laser a scansione terrestre mediante software Leica Cyclone versione 7. Rapporti tecnici I.N.G.V.*, all'URL <http://istituto.ingv.it/images/collane-editoriali/rapporti%20tecnici/rapporti-tecnici-2010/rapporto147.pdf>.
- E.P. CANAVESE, P. FORTI, R. TEDESCHI 2013, *New acquisition, 3D modelling, and data use methods: the laser scanner survey of the Re Tiberio cave*, in *16th International Congress of Speleology*, (Brno), pp. 340-345.
- T. SANTAGATA, S. LUGLI, M.E. CAMORANI, M. ERCOLANI 2015, *Laser scanner survey and TruView applications of the Grotta della Lucerna, a Roman mine for lapis specularis*, in *Hypogea 2015. Proceedings of the International Congress of Speleology in Artificial Cavities*, (Rome, March 11th-17th 2015), s.l., pp. 143-147 (<http://hypogea2015.hypogea.it/>).

Ringraziamenti: gli autori ringraziano la Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna, la Soprintendenza Archeologia dell'Emilia-Romagna e lo Speleo GAM Mezzano per aver consentito l'accesso alla Grotta della Lucerna, la società "G.S.T. - Gruppo Servizi Topografici", "Upcamera - Multimedia Flying Technologies" per l'opportunità di realizzare questo rilievo laser scanner.