

RILIEVI TRIDIMENSIONALI E OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE NELL'ANTICA CAVA DI CA' CASTELLINA (GESSI DI MONTE MAURO)

TOMMASO SANTAGATA¹, STEFANO FABBRI², VERONICA CHIARINI³, JO DE WAELE⁴

Riassunto

Portato alla luce solo pochi anni fa grazie ad un intenso lavoro svolto da archeologi e volontari della Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna, il sito archeologico della cava di Ca' Castellina si trova ad una quota di circa 340 m s.l.m. lungo una strada sterrata che sale verso la cima di Monte Mauro. Gli scavi effettuati hanno portato alla luce blocchi di gesso e gradoni di estrazione di età romana (segni dell'attività estrattiva che veniva svolta in questa cava) oltre a una costruzione rettangolare, di età moderna, ed una notevole quantità di reperti che spaziano nel tempo tra l'età del Ferro e l'età moderna. Il pavimento della cava, dove era coperto da abbondante detrito, è rimasto abbastanza intatto (fossilizzato com'era al momento del suo abbandono), mentre è stato soggetto a dissoluzione del gesso, con l'abbassamento delle superfici rocciose, lo smussamento degli spigoli e la formazione di profondi solchi di dissoluzione (karren) nelle zone che sono rimaste più scoperte. Grazie ad un rilievo tridimensionale realizzato con un laser scanner, affiancato da un rilievo fotogrammetrico eseguito con l'utilizzo di un drone, è stato possibile ricavare misure molto precise sia dei blocchi che venivano estratti, sia delle forme di erosione e corrosione che si sono sviluppate nelle zone di cava non (oppure poco) coperte da detrito e suolo. Queste morfologie, tipiche nei gessi, fanno capire quanto siano veloci i processi dissolutivi laddove l'acqua scorre in modo concentrato su gesso libero. Per evitare che queste testimonianze archeologiche vengano distrutte irrimediabilmente, sarà importante pianificare degli interventi di tutela *ad hoc* per evitare che la dissoluzione continui il suo inesorabile lavoro.

Parole chiave: telerilevamento, morfometria, forme carsiche, archeologia.

Abstract

Excavated only in the last few years thanks to an intense campaign carried out by archaeologists and cavers of the Regional Caving Federation of Emilia-Romagna Region (Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna, FSRE), the Ca' Castellina quarry (Messinian gypsum outcrop of the Vena del Gesso Romagnola, Northern Italy) is located at around 340 m a.s.l. along the side of a gravel road that leads to the top of Mt. Mauro. The excavations have brought to light gypsum blocks and the ancient quarry benches dating back to the Roman Age, the remains of a rectangular built structure, of the XVIth-XVIIth centuries, and a great number of artefacts that range in age between the Iron Age and the modern times. Immediately after its abandonment most of the quarry floor has been covered with a thick detrital layer, protecting it from dissolution (fossilizing this floor and leaving it as if it were abandoned very recently), whereas the naked or poorly covered floor of this quarry has been subjected to dissolution phenomena of the exposed gypsum rocks, with a lowering of the surface, the

¹ VIGEA - Virtual Geographic Agency, Reggio Emilia (RE) - tommy.san84@gmail.com

² Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Via Zamboni 67, 40126 Bologna (BO) - stefano.fabbri21@unibo.it

³ Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Via Zamboni 67, 40126 Bologna (BO) - vero.ch88@hotmail.it

⁴ Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Via Zamboni 67, 40126 Bologna (BO) / Istituto Italiano di Speleologia, Via Zamboni 67, 40126 Bologna (BO) - jo.dewaele@unibo.it

smoothing of the corners and the formation of a set of deeply carved karren features. A 3D survey using both a laser scanning instrument and a drone-mounted photo camera have allowed to get very precise measures on the size of the blocks that were extracted in this quarry, and on the dissolutional morphologies that have developed on the bare gypsum rock. These typical gypsum landforms show how fast these solutional forms can develop where concentrated runoff flows on bare gypsum. To prevent this exceptional archaeological extractive site of being dissolved further, it will be important to plan some measures to be put in place in order to protect this delicate historical landmark.

Keywords: Remote Sensing, Morphometry, Karst Landforms, Archaeology.

Introduzione

La zona di Ca' Castellina, situata nei pressi di Monte Mauro, sta dimostrando di essere un sito particolarmente interessante sia dal punto di vista naturalistico che da quello geologico e archeologico. Nella grande e omonima dolina

si trova la Grotta sotto Ca' Castellina, riaperta con scavi speleologici soltanto da pochi anni, in cui le forme antigrafitative sono un'eccezionale testimonianza di attività idrologica e sedimentazione avvenute prima dell'Ultimo Glaciale (DE WAELE *et alii* 2018; FABBRI *et alii* in questo volume). Inoltre, sul versante sud di

Monte Mauro, sopra Ca' Toresina, si affaccia la Grotta dei Bandidi con concrezioni carbonatiche imponenti cresciute nell'ultimo interglaciale (circa 125 mila anni fa) (CHIARINI *et alii*, *Datazioni di speleotemi carbonatici: implicazioni speleogenetiche e paleoclimatiche nell'area di Monte Mauro*, in questo volume), mentre vari frammenti di concrezioni di calcite di età superiore ai 400 mila anni sono stati trovati sui versanti di Monte Mauro, in mezzo al bosco (COLUMBU *et alii* 2017). Sui bordi della dolina di Ca' Castellina sorgono i ruderi della casa rurale che dà il nome alla località, costruita in parte con blocchi di gesso, e poco distanti alcune cave di *lapis specularis*, mentre su Monte Mauro stesso si trova quel poco che resta di un castello medioevale (vedi PIASTRA *et alii*, in questo volume).

A fianco alla strada sterrata, distante 150 metri a sud-est dal rudere ed altrettanti metri ad est-nord-est dell'ingresso della Grotta sotto Ca' Castellina, si trova uno scavo, antico, che fungeva da cava per l'estrazione dei blocchi di gesso. Gli scavi effettuati negli ultimi anni hanno portato alla scoperta di un'im-

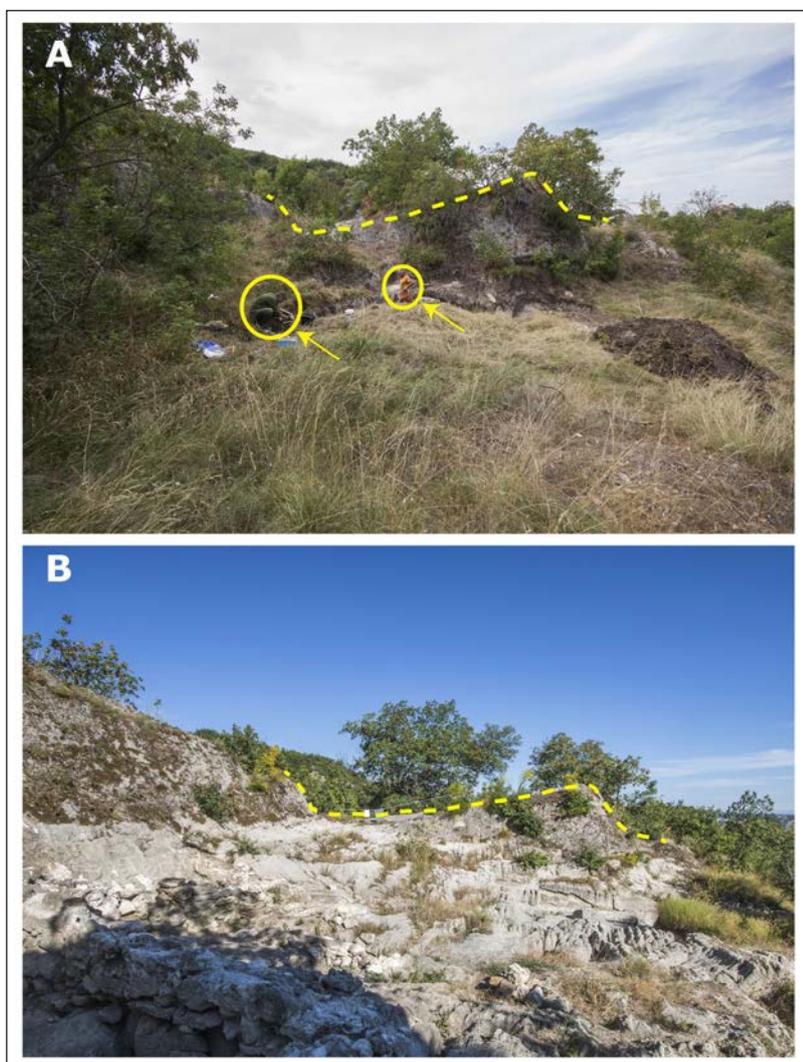


Fig. 1 – Il sito della cava presso Ca' Castellina prima e dopo gli scavi (foto P. Lucci). I cerchietti indicano due persone per scala, mentre la linea tratteggiata mostra il profilo della collina che sta immediatamente a fianco alla cava. Nella foto in basso, in ombra, si nota bene il muro della costruzione del XVI-XVII secolo.

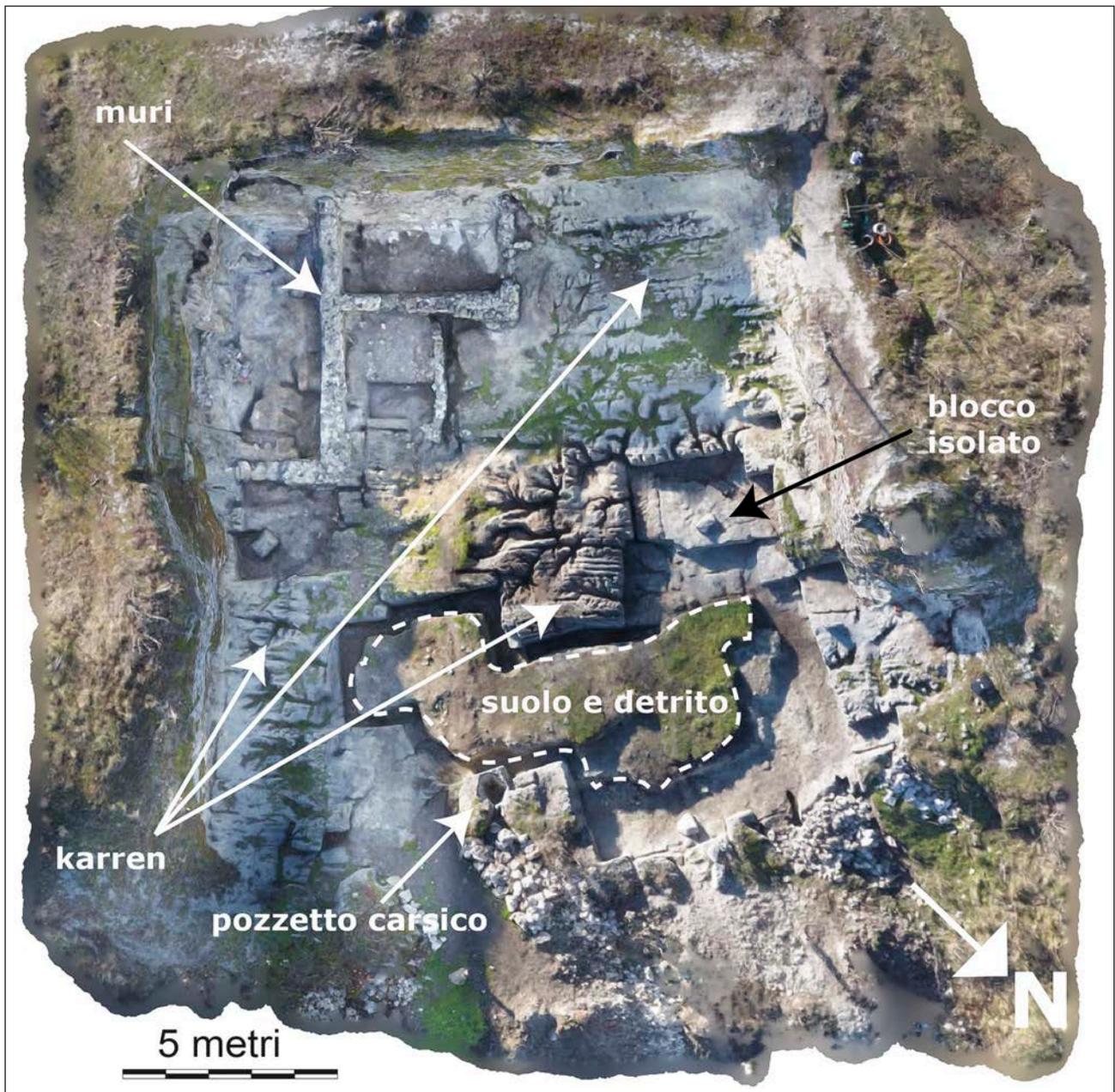


Fig. 2 – Ortofoto del sito di cava, realizzata attraverso le immagini acquisite tramite drone. Si nota bene la costruzione del XVI-XVII secolo in alto a sinistra, il piano di estrazione con un blocco isolato (al centro a destra), i campi carreggiati nella zona circostante la costruzione, la parte di copertura ancora *in loco* e, immediatamente a NE di questa, il pozzetto carsico.

portante cava di grande interesse archeologico (figg. 1-2).

La datazione di un frustolo di carbone, che giaceva a contatto con il gesso nel piano di cava e coperto da detriti successivi, ha fornito un'età di circa 2200 anni fa, corrispondente quindi all'arrivo dei Romani in regione. La cava sembra quindi essere stata abbandonata poco dopo. Il sito di cava fu poi riutilizzato dalla metà del XVI secolo per un secolo circa come sito insediativo (GUARNIERI, D'AMATO, in questo volume). Parte del gesso in affioramento nella

cava mostra evidenti segni di dissoluzione per scorrimento di acqua (soprattutto la zona che circonda la costruzione) a testimonianza che per un certo lasso di tempo, una parte del pavimento di cava è rimasta scoperta, subendo la dissoluzione tipica dei gessi ad opera delle acque meteoriche.

Per avere un quadro preciso della dimensione dei blocchi estratti e dell'area estrattiva in generale, abbiamo effettuato un rilievo con un laser scanner terrestre e con un drone per fotogrammetria aerea



Fig. 3 – Il rilievo in campagna: A. il laser scanner Scan Station Leica P40 della VIGEA (Reggio Emilia); B. le fasi di rilevamento con il drone (nel cerchio). È visibile anche il laser scanner sullo sfondo (rettangolo).

(fig. 3). Tali rilievi di alta precisione consentono di fare numerose misure anche a posteriori, sui modelli 3D, comodamente seduti davanti a un computer. Il laser scanner è uno strumento molto utile negli studi geomorfologici, sia in superficie (SMITH, PAIN 2009) che in ambiente sotterraneo (SANTAGATA *et alii* 2015; IDREES, PRADHAN 2016; FABBRI *et alii* 2016). Il modello tridimensionale ottenuto consente anche di fare delle stime sul volume di gesso estratto, e la quantità di roccia disciolta dopo l'abbandono della cava e prima che il tutto fosse coperto dal suolo e dalla vegetazione.

Metodi

Le tecnologie per il rilievo tridimensionale sono sempre più impiegate in ambito archeologico grazie alla possibilità di acquisire una grande quantità di dati in poco tempo e con precisioni impensabili fino a poche decine di anni fa. A seconda dei casi, oggi è possibile utilizzare diversi strumenti per realizzare rilievi tridimensionali, i principali sono il laser scanner e i droni per la fotogrammetria aerea.

Il laser scanner è uno strumento di misurazione che, attraverso l'emissione di un raggio laser, permette di rilevare un'area o la superficie di un oggetto in tempi brevissimi e con elevato grado di risoluzione. Questi strumenti si dividono in due categorie (laser scanner a

“triangolazione” o a “tempo di volo”) a seconda del tipo di sistema di ricezione ed emissione del segnale. L'utilizzo avviene posizionando lo strumento su un treppiede (come una macchina fotografica) per avviare la “scansione” dell'ambiente circostante, cioè l'acquisizione di milioni di punti, ognuno dei quali presenta le proprie coordinate spaziali (x, y e z) e, come nel caso del rilievo della cava di Ca' Castellina, anche il dato relativo al colore RGB. Ogni singolo punto rilevato con il laser scanner contiene anche informazioni relative all'intensità del segnale acquisito in funzione del tipo di superficie rilevata, cioè in base alla “riflettività” del materiale rilevato.

Il risultato di una singola scansione è quindi una nuvola di punti, che viene successivamente filtrata per eliminare le parti inutilizzabili della scansione (le più comuni sono dovute a oggetti in movimento e punti riflessi su superfici riflettenti) per essere poi allineata con le altre ed ottenere un'unica nuvola di punti. Nel caso del sito archeologico di Ca' Castellina, sono state realizzate 17 scansioni per rilevare l'intera area di scavo utilizzando una Scan Station Leica P40, strumento che permette di acquisire fino a distanze superiori a 200 m e dotato di fotocamera incorporata per acquisire nuvole di punti a colori.

Considerando la particolare morfologia dell'area di scavo, composta soprattutto da karren e solchi difficilmente rilevabili da terra se non

con un elevato numero di scansioni di dettaglio, è stato utilizzato anche il drone, con possibilità di acquisire immagini aeree, per ricavare una nuvola di punti attraverso tecniche di fotogrammetria. La possibilità di integrare i dati raccolti utilizzando due tecniche diverse, ha permesso di ottenere molte più informazioni anche in aree particolarmente difficili da rilevare con il laser scanner e dove sarebbe stato necessario impiegare molto più tempo. I dati ricavati dalla fotogrammetria aerea sono infatti nuvole di punti simili a quelle ottenute con il laser scanner (quindi i dati sono facilmente integrabili), con le differenze che le nuvole di punti ottenute dalla fotogrammetria hanno una risoluzione minore rispetto a quelle ricavate dal laser e inoltre non presentano informazioni relative all'intensità del dato acquisito in funzione della superficie rilevata.

Risultati

Attraverso i rilievi eseguiti con laser scanner e fotogrammetria, sono stati ricavati due diversi modelli tridimensionali entrambi sotto forma di nuvole di punti, come descritto nel paragrafo precedente. I dati ricavati dal laser

scanner sono stati utilizzati principalmente per ottenere elaborati topografici di dettaglio, cioè piante topografiche e sezioni in 2D ricavate in alcune aree dello scavo particolarmente interessanti dal punto di vista archeologico. Attraverso successive elaborazioni, sono stati poi realizzati ortofoto e modelli digitali del terreno da cui sono state estratte curve di livello utilizzando anche il modello fotogrammetrico ottenuto dal drone (fig. 4).

Questi dati hanno permesso di ricavare facilmente alcune importanti informazioni. L'area estrattiva della cava presso Ca' Castellina (quella attualmente visibile) copre una superficie di circa 285 m², per un dislivello tra il bordo superiore (a sud) e il punto più basso nella cava (a nord) di circa 8 metri. Da notare che una parte di cava, non compresa in questo calcolo, è ancora coperta da detrito. Sul lato sud dell'area estrattiva è stata scoperta una costruzione a blocchi che copre all'incirca 50 m², e poggia sulla roccia evaporitica. Alcune piccole canalizzazioni fanno supporre che vi fosse un sistema di drenaggio delle acque. Nella parte centrale rimangono ancora circa 40 m² di terra da asportare, nel caso si voglia riesumare tutto il piano di cava. Il pavimento di cava apparentemente più intatto si trova nel-

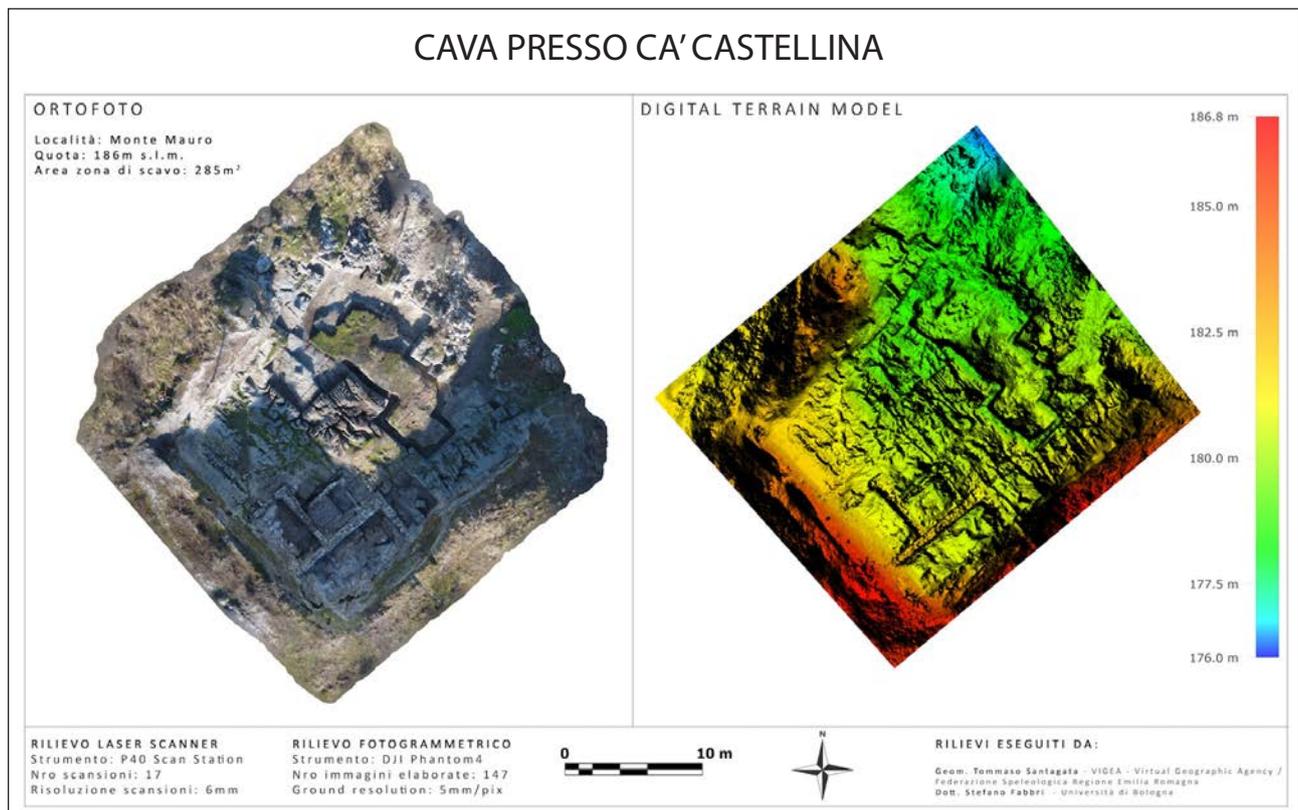


Fig. 4 – Ortofoto della cava presso Ca' Castellina ottenuta attraverso la fotogrammetria da drone, e modello tridimensionale del terreno, ottenuto utilizzando sia i dati da scanner sia quelli dal drone.



Fig. 5 – Fotografia e nuvola di punti (da laser scanner) della zona di estrazione più intatta (foto S. Fabbri). Si notano molto bene alcune docce carsiche, formate nel gradino inferiore, tra la copertura detritica e la roccia gessosa, la cui acqua proveniva dal sovrastante campo carreggiato.

la parte centro-occidentale, altimetricamente più in basso, in cui un gradone di circa 30 m² mostra un pavimento abbastanza orizzontale, nel centro del quale giace ancora un blocco estratto ma mai portato via (sopra un gradino alto un metro circa) (fig. 5). Questa parte, insieme a quella immediatamente a est di essa, ancora in buona parte coperta dal detrito, è la zona più intatta della cava, meno intaccata dalla dissoluzione delle acque a flusso concentrato. Colpiscono i segni lasciati dai cavaatori, sotto forma di solchi rettilinei sul pavimento, ma anche la presenza di alcuni solchi di scorrimento (vere docce carsiche) profonde fino a qualche centimetro. Tali morfologie lasciano pensare che vi sia stato, almeno in certi periodi, uno scorrimento concentrato al di sotto del pacco di sedimenti ed al contatto con il gesso (un fenomeno simile al *piping*). Tali docce si trovano in corrispondenza dei principali solchi (*karren*) presenti nel banco di gesso sovrastante, e lasciano indicare che furono alimentati proprio da tale campo solcato.

Impressionano le belle morfologie di dissoluzione nel gesso, visibili soprattutto nella parte centrale della cava, ma anche lungo i lati ovest ed est (fig. 6). Sono caratterizzate da profondi canali, veri e propri *karren*, che dimostrano che queste parti di gesso sono rimaste esposte alle intemperie per un certo periodo, tanto da creare solchi profondi anche oltre un metro. Nella parte nord-est è inoltre presente un vero e proprio pozzetto carsico, a forma di sigaro, con imboccatura larga 70 cm, e profondo un metro (fig. 1). Tale morfologia è stata accuratamente evitata dall'estrazione di gesso, e ancora oggi contiene spesso dell'acqua. Non è da escludere che questo pozzo naturale sia stato lavorato dall'uomo per fungere da serbatoio idrico già nel periodo di estrazione romano.

Prima degli scavi di questi ultimi anni il piano di cava e i campi con i *karren* erano coperti da detrito e suolo, raggiungendo localmente anche i due metri (fig. 1). Le superfici che sono state messe alla luce dallo scavo e che erano sotto oltre un metro di sedimenti si presentano abbastanza regolari e lisce, senza importanti segni di dissoluzione (ad eccezione delle docce descritte prima), mentre in altre zone della cava, dove la copertura di suolo era molto più esigua, si sono formati dei *karren* profondi anche più di un metro, riempiti da suolo.

In diverse zone della cava restano ben visibili i segni lasciati dall'estrazione dei blocchi

(fig. 6A). Solchi rettilinei più o meno profondi segnano il limite dei blocchi da estrarre. Una misura speditiva di molti di questi segni conferma che i blocchi avevano delle dimensioni compatibili con il piede romano (29,6 cm circa) ed il *cubitus* (1,5 piedi, cioè 44,4 cm).

Oltre a informazioni importanti dal punto di vista scientifico, è da sottolineare anche l'utilizzo di questi dati dal punto di vista divulgativo. I modelli tridimensionali realizzati sono infatti visualizzabili liberamente su piattaforme online e sono stati inoltre utilizzati per la realizzazione di animazioni virtuali che rendono possibile la navigazione all'interno del sito archeologico per qualsiasi pubblico. Inoltre è stato realizzato un percorso interattivo attraverso il quale è possibile visualizzare e interrogare i dati utilizzando qualsiasi computer o tablet di recente generazione, senza l'utilizzo di particolari applicativi o *software* aggiuntivi.

Discussione e conclusione

La presenza di una cava romana nella zona di Ca' Castellina, lontano dai centri abitati storici e in assenza di grandi costruzioni nelle vicinanze, pone una serie di interrogativi. Un calcolo approssimativo della quantità di blocchi di gesso che, potenzialmente, si sarebbe potuta estrarre dal sito, ha dato una stima di circa 1900 m³ (fig. 7). Questo calcolo è sicuramente in eccesso perché non tiene conto dell'irregolarità della superficie topografica originale e dello spessore di suolo che sicuramente copriva il terreno. Nel piano di cava sono ben distinguibili due tipologie: un piano di estrazione superiore, interessato da un profondo modellamento ad opera delle acque superficiali (*karren*), ed uno inferiore più intatto, a fondo abbastanza regolare. In quest'ultimo piano sono ancora ben visibili le tracce di estrazione, e quindi la dimensione dei blocchi che vi furono estratti. Tali misure, che sono multipli e sottomultipli di un piede romano, sembrano confermare un'età romana della cava. Prendendo queste misure tipiche dei blocchi ed una stima del volume di gesso estraibile di 1900 m³, potenzialmente si sarebbero potuti estrarre oltre 50 mila blocchi di gesso. Considerando però che non tutto il gesso poteva essere estratto (perché di minore qualità), è plausibile tuttavia che almeno 40 mila blocchi siano stati estratti dal sito, corrispondenti ad almeno 2,5 km di muro lineare

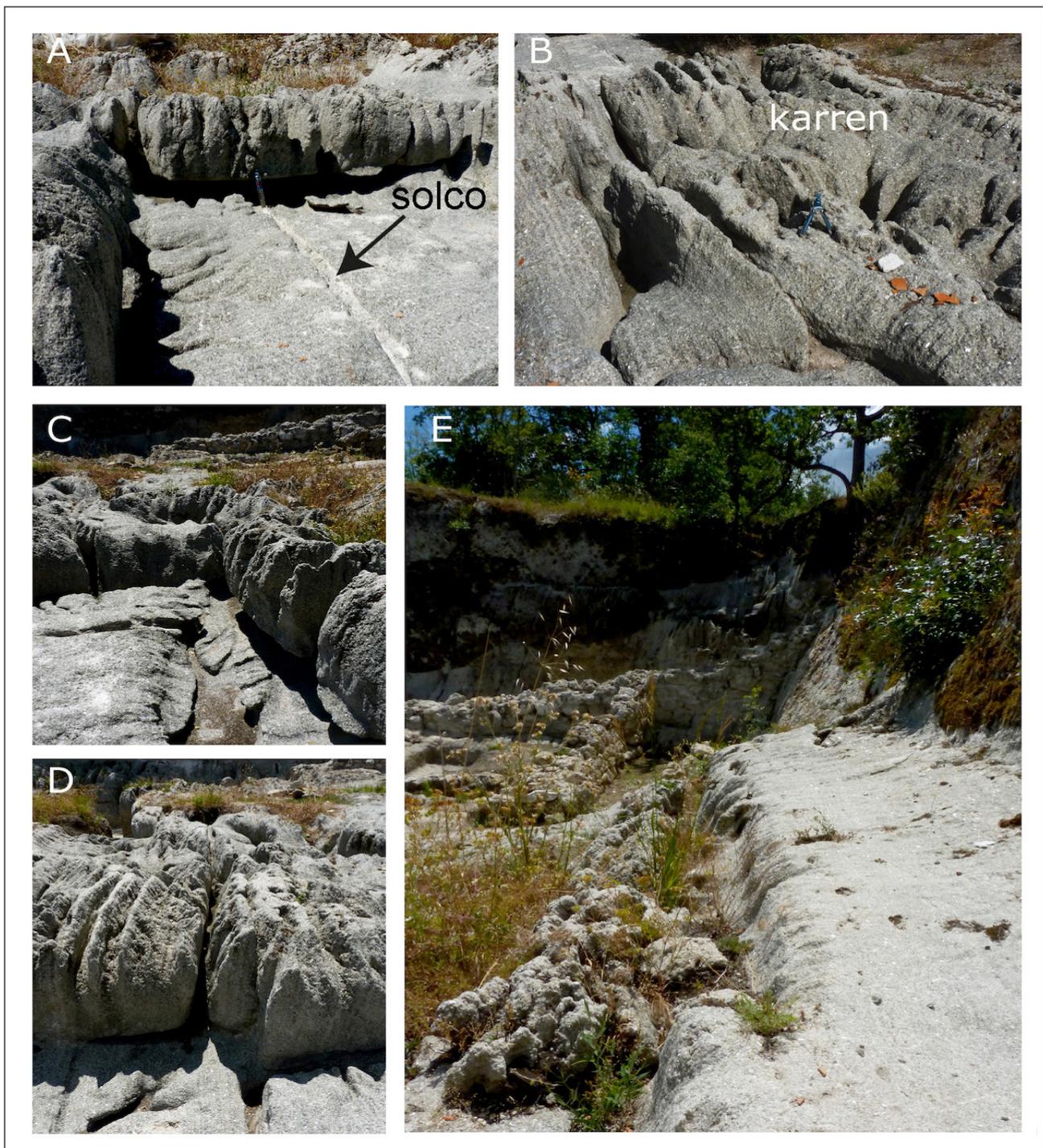


Fig. 6 – Particolari dei solchi da dissoluzione (karren) che interessano la pavimentazione della cava a blocchi. In A è ben visibile un solco artificiale per il taglio dei blocchi (foto V. Chiarini).

alto 2 metri e largo 30 centimetri.

Il piano superiore caratterizzato da solchi di erosione e dissoluzione, segni dell'esposizione ad agenti atmosferici per diversi decenni, è sicuramente il livello della cava che è rimasto più scoperto e che ha maggiormente subito l'azione delle acque correnti. È da notare che la zona più carreggiata è quella attorno all'edificio sorto successivamente all'abbandono del

sito estrattivo. È logico pensare che tale zona, almeno durante il periodo di frequentazione dell'abitazione (XVI-XVII secolo), fu più calpestata, e quindi il gesso risultava in buona parte scoperto. La casa, inoltre, convogliava le acque piovane nella zona circostante, creando quindi le condizioni di una dissoluzione accelerata del gesso nudo immediatamente attorno. Il piano di cava inferiore, invece, probabil-

mente è stato coperto da uno spessore metrico di detriti e suolo poco dopo l'abbandono della cava, già in epoca romana. La stratigrafia archeologica di questo riempimento (GUARNIERI, D'AMATO, in questo volume), di fatto, mostra diversi strati, i primi di età romana (dal quale viene il carbone che ha consentito la datazione al C^{14}), gli ultimi dei quali probabilmente legati alla costruzione dell'edificio e al suo successivo abbandono. Questo piano di cava inferiore, tuttavia, mostra alcuni canali di dissoluzione, profondi meno di un decimetro, che sembrano essersi creati da uno scorrimento concentrato in canali scavati al contatto tra il gesso sottostante ed il riempimento (un processo ben noto, chiamato *piping*). Tali solchi raccoglievano le acque provenienti dal campo solcato presente nel piano superiore della cava, e probabilmente furono attivati soltanto nel periodo di occupazione della costruzione, tra il XVI e XVII secolo.

Da osservazioni effettuate presso la Chiesa della Madonna del Bosco e la cava a Filo (FOR-

TI 2005), che si trovano entrambe nel Bolognese, l'abbassamento di una superficie di gesso esposto agli eventi meteorologici è di circa 1 mm/anno. Nel caso di uno scorrimento più concentrato, come nel caso dell'acqua convogliata dal tetto della costruzione, il tasso di dissoluzione potrebbe essere stato anche di un ordine di grandezza più veloce. I solchi, profondi anche mezzo metro, potrebbero essersi quindi formati in meno di un secolo, corrispondente al periodo di occupazione dell'abitazione, con tassi di dissoluzione quindi di oltre 5 mm/anno.

Il pozzetto carsico, largo 70 centimetri e profondo 1 metro, non fu formato nello stesso periodo (e modo) dell'esteso campo di karren, ma era sicuramente presente da prima. Infatti, durante la coltivazione romana, tale morfologia fu accuratamente aggirata dall'estrazione dei blocchi di gesso, e fu probabilmente utilizzata come piccola riserva d'acqua piovana. Tale utilizzo come bacino di raccolta dell'acqua fu probabilmente ripetuto anche nel periodo di occupazione della casa.

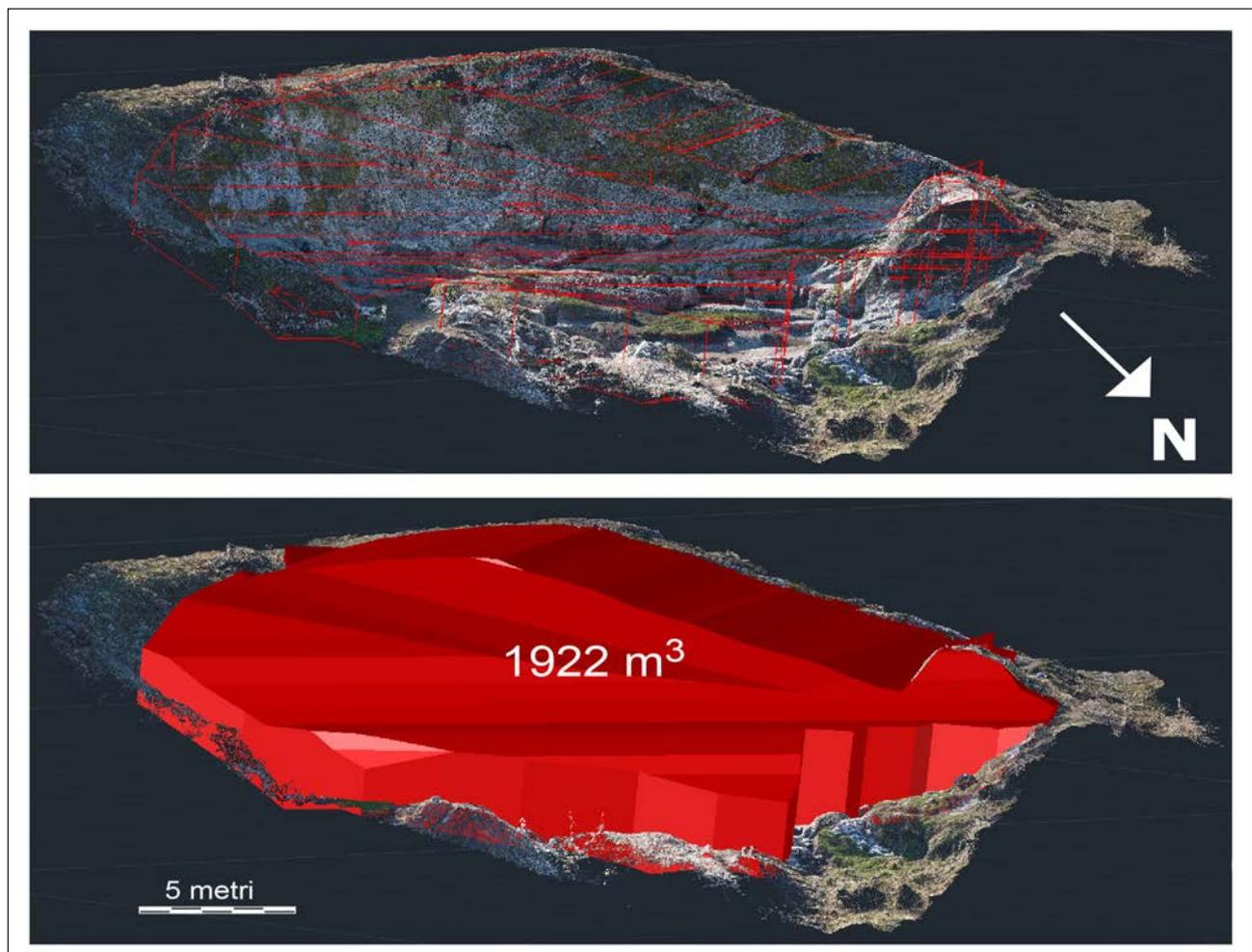


Fig. 7 – Calcolo del volume di gesso estratto.

Il piano inferiore di cava romana, d'altro canto, fu coperto da uno spesso strato di detrito e suolo poco tempo dopo l'abbandono, e non fu mai riesumato, come testimonia l'assenza di importanti forme di dissoluzione diffusa. Unica eccezione sono le docce, profonde qualche centimetro, formate da acque incanalate (*piping*) che scorrevano al contatto tra il gesso e il deposito di detrito. Tali scorrimenti concentrati erano probabilmente attivi soltanto durante l'utilizzo della casa, quando le acque venivano convogliate e si formò il campo carreggiato. È ragionevole pensare che dal momento di abbandono della cava (in età romana) alla sua protezione con un sottile strato di suolo, non passò più di un secolo (qualche decennio).

Bibliografia

- A. COLUMBU, V. CHIARINI, J. DE WAELE, R. DRYSDALE, J. WOODHEAD, J. HELLSTROM, P. FORTI 2017, *Late quaternary speleogenesis and landscape evolution in the northern Apennine evaporite areas*, "Earth Surface Processes and Landforms" 42, 10, pp. 1447-1459.
- J. DE WAELE, S. FABBRI, T. SANTAGATA, V. CHIARINI, A. COLUMBU, L. PISANI 2018, *Geomorphological and speleogenetical observations using terrestrial laser scanning and 3D photogrammetry in a gypsum cave (Emilia Romagna, N-Italy)*, "Geomorphology" 319, pp. 47-61.
- S. FABBRI, F. SAURO, T. SANTAGATA, G. ROSSI, J. DE WAELE 2017, *High-resolution 3-D mapping using terrestrial laser scanning as a tool for geomorphological and speleogenetical studies in caves: An example from the Lessini mountains (North Italy)*, "Geomorphology" 280, pp. 16-29.
- P. FORTI 2005, *Degradazione meteorica dei gessi: nuovi dati dalla Cava Filo (Parco dei Gessi Bolognesi)*, "Speleologia Emiliana" XIV-XV, pp. 15-19.
- M.O. IDREES, B. PRADHAN 2016, *A decade of modern cave surveying with terrestrial laser scanning: a review of sensors, method and application development*, "International Journal of Speleology" 45, 1, pp. 71-88.
- T. SANTAGATA, S. LUGLI, M.E. CAMORANI, M. ERCOLANI 2015, *Laser scanner survey and TruView application of the Grotta della Lucerna, a roman mine for lapis specularis*, in *Proceedings of the International Congress of Speleology in Artificial Cavities*, (Rome, March 11th-17th, 2015), pp. 143-147.
- M.J. SMITH, C.F. PAIN 2009, *Applications of remote sensing in geomorphology*, "Progress in Physical Geography" 33, 4, pp. 568-582.