

LE CAVE ANTICHE DI PORTO MIGGIANO (SANTA CESAREA, LECCE): ANALISI METROLOGICA E RILIEVO TOPOGRAFICO DEI SETTORI ESTRATTIVI

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito delle attività di ricerca che da alcuni anni l'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) del CNR sta svolgendo presso l'*Athenaion* di Castro, in provincia di Lecce (D'ANDRIA *et al.* 2023), è stato sviluppato un progetto di ricerca finalizzato all'individuazione delle antiche cave di materiali lapidei che possono aver rifornito i grandi cantieri pubblici di questo centro (come le fortificazioni), dove si registra un largo impiego della calcarenite, e le maestranze attive nella realizzazione degli elementi architettonici e scultorei del Santuario di Atena, nei quali è largamente utilizzata anche la pietra leccese (SCARDOZZI 2023). Le indagini comprendono sia ricognizioni volte a documentare le cave antiche del territorio, sia analisi archeometriche dei materiali archeologici e dei siti estrattivi, ancora in corso, al fine di una caratterizzazione minero-petrografica e geochimica dei litotipi e di una determinazione delle provenienze dei blocchi e degli altri manufatti archeologici rinvenuti a Castro¹.

Gli scavi condotti nel settore sud-orientale del centro storico di Castro, prima in località Muraglie (Fig. 1A, n. 4; Fig. 1C) e poi in località Capanne (Fig. 1A, n. 3; Fig. 1D), hanno messo in luce un sistema di cinte murarie in blocchi parallelepipedi di calcarenite, posti in opera a secco, databile tra IV e II sec. a.C. e connesso prima con il soprastante *Athenaion* e successivamente con la trasformazione del sito in *castrum* (D'ANDRIA 2009, 13-35, 2020, 79-91; DE MITRI 2009; MASTRONUZZI 2015). Le indagini stratigrafiche hanno infatti permesso di identificare tre fasi costruttive (D'ANDRIA 2020, 82-88, 98-103), la più antica delle quali, riferibile alla seconda metà del IV sec. a.C.,

¹ Sono particolarmente grato a Francesco D'Andria per avermi coinvolto nelle ricerche su Castro da lui dirette, affidandomi lo studio delle aree estrattive del territorio e delle questioni connesse all'approvvigionamento dei materiali lapidei utilizzati per le cinte ellenistiche e, in generale, per la realizzazione dei manufatti archeologici in pietra calcarea rinvenuti nel sito. Le ricognizioni sono condotte da chi scrive e vedono la collaborazione di I. Ditaranto, F. Fortinguerra, P. Merola e I. Miccoli dell'Archaeological Mapping Laboratory della sede ISPC-CNR di Lecce. Le analisi archeometriche sono invece condotte dall'Heritage Materials Science Laboratory della sede ISPC-CNR di Firenze, con il coordinamento di E. Cantisani e la collaborazione di S. Vettori; queste indagini sono realizzate, oltre che su tutte le cave documentate, anche su campioni prelevati da blocchi in calcarenite delle tre cinte ellenistiche (sia nelle località Capanne e Muraglie, sia nello scavo di piazza Perotti e nel settore nord-occidentale del circuito) e dell'altare del santuario (per il quale, D'ANDRIA 2020, 103-104), oltre che su manufatti in pietra leccese, tra cui i grandi fregi a girali rinvenuti sempre nell'area dell'*Athenaion* (per i quali, ISMAELLI 2020).

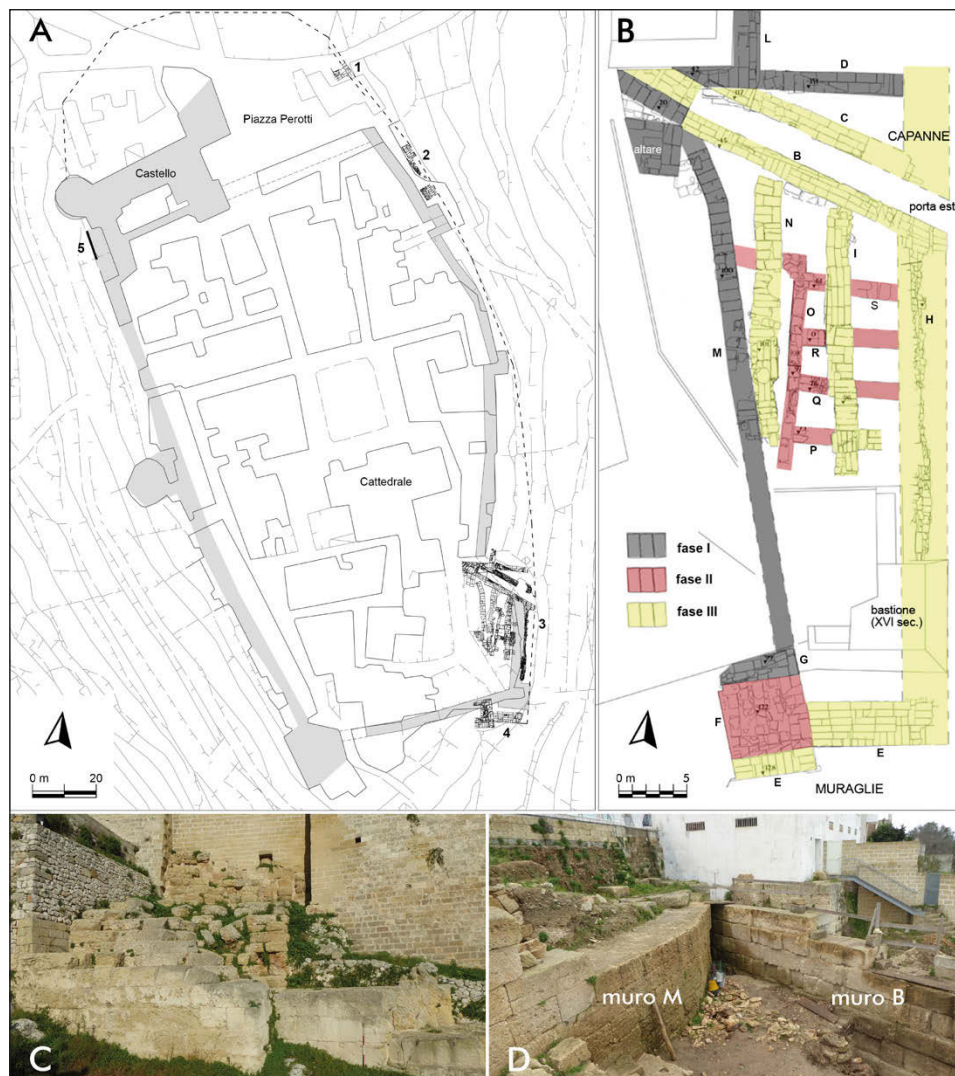


Fig. 1 – Castro: A) pianta generale dell’abitato moderno con indicazione delle fortificazioni cinquecentesche (in grigio chiaro) e dei tratti delle mura ellenistiche visibili o messi in luce (1-5); B) planimetria di dettaglio degli scavi nelle località Capanne e Muraglie con indicazione delle fasi costruttive (rielab. da D’ANDRIA 2020, figg. 2 e 3); C) tratti murari messi in luce in loc. Muraglie con in primo piano la terza fase; D) i tratti murari M e B in loc. Capanne.

consiste in una struttura che svolgeva contemporaneamente funzioni di difesa e di terrazzamento dell'area in cui sorgevano il tempio e l'altare (Fig. 1B, muri G, M e D). Realizzata con blocchi di una calcarenite piuttosto compatta di colore giallastro, in alcuni casi fortemente conchiglifera, generalmente lunghi tra 1,49 e 1,56 m, larghi 70 cm e alti 42-46 cm, questa prima cinta poteva avere una lunghezza di oltre 600 m e racchiudere una superficie di ca. 2 ettari (Fig. 1A). In località Capanne, in corrispondenza di uno sfalsamento, vi si apriva una porta, mentre un'altra doveva trovarsi all'estremità settentrionale del circuito, a N di piazza Perotti.

La seconda fase, datata alla prima metà del III sec. a.C. (Fig. 1B, muri F, O, P, Q, R, S), consiste in un ampliamento che sembrerebbe interessare solo l'angolo sud-orientale della cinta preesistente, a S della porta di località Capanne, che in questo periodo assume una struttura a tenaglia. Per la sua realizzazione vengono utilizzati blocchi di una calcarenite diversa rispetto a quella della fase precedente, sempre giallastra ma meno compatta; i conci sono anche meno lunghi (generalmente tra 1,18 e 1,20 m), più larghi (78-81 cm) e più alti (51 cm). Infine, la terza fase (Fig. 1B, muri L, B, C, E, H), riferita alla prima metà del II sec. a.C., quindi successiva alla conquista romana e al cambiamento di funzione del sito, corrisponde a un radicale intervento di ricostruzione delle mura. Come documentano i resti visibili nello scavo di piazza Perotti (Fig. 1A, n. 1; LIPPOLIS, MAZZARIO 1981; GALATI 2015b; D'ANDRIA 2020, 91), quelli messi in luce nel tratto nord-orientale del circuito (Fig. 1A, n. 2; GALATI 2015a) e i blocchi inglobati alla base del lato occidentale del Castello Aragonese (Fig. 1A, n. 5), tale intervento sembra interessare tutto il perimetro murario; la nuova fortificazione ingloba e riveste le precedenti, determinando un ulteriore ampliamento del terrazzo nella zona a S della porta di località Capanne, che assume ora una particolare struttura a corridoio molto stretto (lung. ca. 20 m, largh. 2,20 m). In questa fase i blocchi, messi in opera con regolarità in filari alternati di testa e per lungo, sono più stretti (largh. 50-53 cm) e più allungati (lung. 1,58-1,62 cm) rispetto alle fasi precedenti, con altezze variabili tra 45 e 55 cm; la calcarenite utilizzata è simile a quella della seconda fase, ma più compatta e con una granulometria più fine.

I cantieri che si susseguirono nel corso di circa due secoli per la realizzazione di questi circuiti murari dovettero richiedere uno sforzo costruttivo molto elevato, in particolare per l'approvvigionamento di un consistente quantitativo di materiale lapideo; inoltre, le differenze visibili a livello macroscopico tra i tipi di calcarenite utilizzati nelle tre fasi edilizie sembrano suggerire la provenienza dei blocchi da altrettanti siti estrattivi, che dovevano tutti trovarsi a una certa distanza da Castro. Infatti, il promontorio su cui sorge il centro è costituito da calcari dell'Oligocene superiore (cd. Calcari di Castro: LARGAIOLLI *et al.* 1969, 13, 19-21, 49; MARTINIS 1970, 13, 18-20,

49; RICCHETTI, CIARANFI 2013, 38-39; per l'inquadramento dell'area, BOSSIO *et al.* 2005 e la *Carta Geologica d'Italia* in scala 1:100.000 e 1:50.000), molto duri e compatti, di colore biancastro o grigio chiaro, che risultano difficilmente lavorabili, mentre non sono presenti le calcareniti, molto più tenere e da cui si possono ottenere blocchi; queste, spesso impropriamente definite "tufo", affiorano solo in corrispondenza dell'area di Castro Marina, alle pendici sud-occidentali del promontorio, presso l'insenatura del porto, oppure qualche chilometro più a NO, tra i moderni centri di Vignacastri, Diso, Ortelle e Spongano, o lungo la costa a NE e SE di Castro.

Queste calcareniti, costituite da diverse varietà formati nel Pliocene e nel Pleistocene, sono denominate Calcareniti del Salento nella vecchia bibliografia geologica (LARGAIOLLI *et al.* 1969, 13, 32-35, 50-51; MARTINIS 1970, 13, 24-26, 49-51), mentre in quella più recente (RICCHETTI, CIARANFI 2013, 53-55, 86, tav. II) sono declinate in diversi litotipi (Sistema di Miggiano, Calcarenite di Gravina e Formazione di Uggiano la Chiesa). Molti di questi affioramenti, soprattutto quelli lungo la costa tra Santa Cesarea Terme e Marina Serra, ma anche alcuni di quelli all'interno, sono stati oggetto di estrazione antica, oltre che in epoca moderna (SCARDOZZI 2023). Tra essi spicca sicuramente il sito estrattivo di Porto Miggiano, che, oltre a essere tra i più estesi, conserva ancora un'ampia porzione del nucleo originario, solo parzialmente intaccato da attività di coltivazione più recente; per queste ragioni esso è stato oggetto di un'indagine molto dettagliata, che ha compreso la documentazione e il rilievo integrale (eseguito sia con la cd. fotogrammetria da drone che con laser scanner da terra) al fine di definirne estensione, cronologia, tecniche e fasi di estrazione, modalità di movimentazione e trasporto dei blocchi.

2. L'AREA ESTRATTIVA E LE CARATTERISTICHE METROLOGICHE DEI VARI SETTORI

Il sito estrattivo di Porto Miggiano si trova circa 4,5 km a NE di Castro (Fig. 2A) e interessa un deposito calcarenitico del Pleistocene appartenente al cd. Sistema di Miggiano (ZEZZA, BRUNO 1991; TROPEANO *et al.* 2004; BOSSIO *et al.* 2005, 53-55; RICCHETTI, CIARANFI 2013, 56-58, 86). Esso comprende tre cave costiere, ancora bene identificabili nonostante l'aggressione prodotta negli ultimi anni dalla realizzazione di installazioni e strutture turistiche: una, presso l'omonima insenatura (Fig. 2B, n. 1), presenta evidenti tracce di coltivazione riferibili, in base alla metrologia dei blocchi cavati (alt. 23-27 cm, lung. 45 cm, largh. 35 cm), a epoca basso-medievale o moderna, mentre le altre due, più vicine alla torre cinquecentesca (Fig. 2B, nn. 2-3), conservano ancora settori estrattivi che, stando alle dimensioni dei conci distaccati, sono certamente più antichi. Su queste ultime si sono quindi concentrate le attività di ricerca e rilievo, finalizzate, come nei più recenti lavori su cave costiere

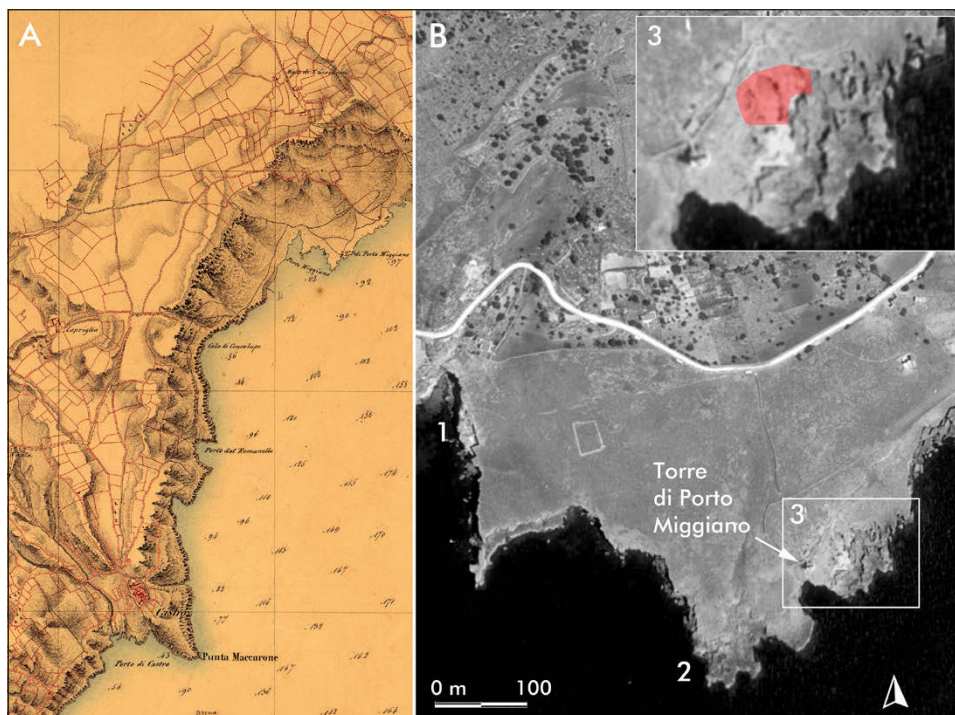


Fig. 2 – A) particolare del Foglio n. 42 della *Carta dei rilievi delle coste dell’Adriatico dal Fiume Tronto a Gagliano del Capo di S.ta Maria di Leuca* (1830-1835, scala dell’originale 1:20.000), in cui compare il tratto di costa tra il Porto di Castro e Porto Miggiano. B) Particolare di una foto aerea IGM del maggio 1943 (F. 215, strisciata 2, fotogramma 25) in cui sono indicate le cave e, nel riquadro, è evidenziata la superficie oggi interrata di quella posta presso la torre cinquecentesca (entrambi i documenti sono conservati all’Archivio IGM di Firenze).

di arenarie e calcareniti (PREVIATO 2016; BUSCEMI FELICI, FELICI, LANTERI 2020), a indagare gli aspetti legati alle tecniche estrattive, gli strumenti utilizzati e il trasporto del materiale.

La cava principale, estesa su una superficie di circa 0,4 ettari, si trova subito a E della torre (Fig. 2B, n. 3; Fig. 3), a ca. 7-8 m s.l.m. e a ridosso della linea di costa (cenni in BELOTTI 1997, figg. 11 e 14; GUAITOLI 1997, figg. 16-17; AURIEMMA 2004, I, 261-262; D’ANDRIA 2009, 19; CALIA *et al.* 2011, 269-270; MARGIOTTA, SANSÒ 2017, 473-474; D’ANDRIA 2020, 82). Coltivata a cielo aperto, è del tipo a fossa, con fronti, alti fino a 4,90-5,50 m, lavorati anche a gradoni, che presentano ben visibili i segni lasciati dagli strumenti utilizzati per tagliare la roccia ed estrarre i blocchi. Le tecniche documentabili sono coerenti con la procedura standard per il distacco mediante tagliata perimetrale, realizzata con un piccone, e scalzamento alla base



Fig. 3 – Porto Miggiano: veduta aerea da drone, scattata da O, della cava principale; nel riquadro, fasi di rilievo con laser scanner.

ottenuto con cunei metallici; in alcuni casi è evidente come l'estrazione sia avvenuta per letti di cava, ossia con il distacco dei blocchi ottenuto agendo, anche semplicemente con la punta del piccone (cd. tecnica à *pointillé*), sui naturali piani di sedimentazione della roccia.

La lettura delle tracce in negativo sulle pareti dei fronti di cava e i piani di distacco, oltre che su alcuni blocchi semi-cavati e abbandonati, ha consentito di identificare quattro aree estrattive corrispondenti ad almeno cinque fasi di coltivazione. Stando alle risultanze metrologiche, la più antica (ed estesa) interessa tutto il settore centrale della cava (Fig. 4A) e si caratterizza per l'estrazione di blocchi alti fino a 50-55 cm, lunghi 1,20-1,65 m e spessi 45-55 cm (Fig. 5A), sicuramente compatibili con quelli della terza fase della cinta muraria di Castro, a cui rimanda anche, in attesa dei risultati delle analisi archeometriche, l'aspetto macroscopico della pietra, di colore giallastro chiaro e con una granulometria piuttosto fine. A tal proposito, va evidenziato che Castro costituisce il centro antico più vicino, facilmente raggiungibile via mare, e che una connessione tra la cava di Porto Miggiano e i cantieri ellenistici di Castro fosse stata già ipotizzata in passato (D'ANDRIA 2009, 19; D'ANDRIA 2020, 82, nota 8; per lo sfruttamento del sito estrattivo in epoca ellenistica, inoltre BELOTTI 1997, fig. 11).

Che l'estrazione sia avvenuta in funzione di un trasporto via mare dei blocchi è documentato da almeno tre punti in cui dalla cava è possibile

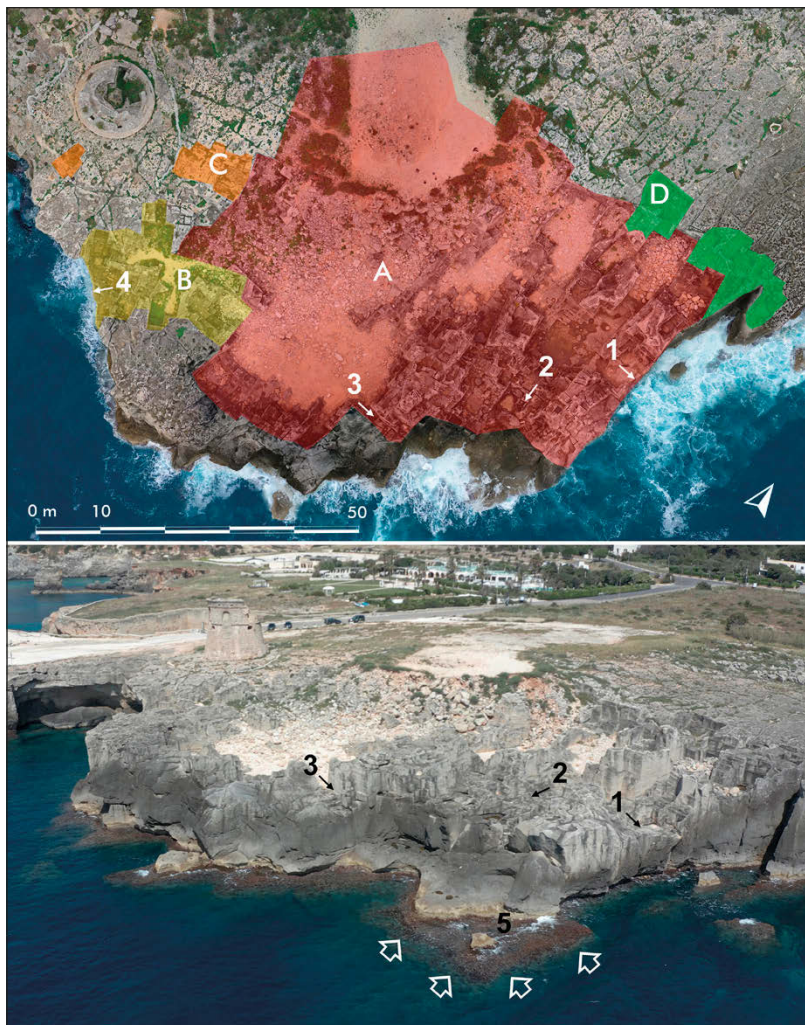


Fig. 4 – Porto Miggiano, cava principale: in alto, ortofoto da drone in cui sono evidenziati i vari settori estrattivi (A-D), corrispondenti a diverse fasi di coltivazione, e sono indicati gli accessi a mare (1-4); in basso, veduta aerea obliqua da S in cui compare la piattaforma (5), oggi semi-sommersa, che probabilmente veniva utilizzata per il carico dei blocchi su imbarcazioni.

accedere direttamente alla linea di costa (Fig. 4, nn. 1-3). Due di essi, in particolare, conducono a una piattaforma, oggi sommersa sotto 50-80 cm d'acqua, che sembra essere stata appositamente spianata e dai margini molto regolari (Fig. 4, n. 5), raggiungibile mediante uno scivolo: fornita di possibili bitte di

ormeggio, essa doveva costituire una banchina funzionale al carico dei blocchi su imbarcazioni, anche valutando che in epoca ellenistica il livello del mare poteva essere in questa zona anche 2-2,5 m più basso, garantendone quindi una maggiore facilità di utilizzo. A tal proposito, va infatti evidenziato che, sebbene la mappatura e l'analisi dei marker geo-archeologici di variazione del livello marino costituiscano una documentazione da utilizzare sempre con molta cautela, per il tratto di costa adriatica subito a N di Brindisi (siti di Torre Santa Sabina e Torre Guaceto/Scogli di Apani) è attestato che in epoca tardo-repubblicana il mare dovette stazionare fino a -2,5 m rispetto alla sua posizione attuale (AURIEMMA *et al.* 2005; SCARANO *et al.* 2008), mentre ancora più a N, a Egnatia, è stato calcolato che nel I sec. a.C. il livello sarebbe stato di ca. 3 m al di sotto di quello odierno (AURIEMMA, MASTRONUZZI, SANSÒ 2004; MASTRONUZZI *et al.* 2017; sulla problematica delle variazioni del livello del mare lungo le coste pugliesi durante l'Olocene, cfr. anche AURIEMMA, MASTRONUZZI, SANSÒ 2003).

All'alloggiamento delle macchine lignee destinate al sollevamento dei blocchi sono poi probabilmente funzionali i vari incassi circolari e quadrangolari visibili nell'area immediatamente soprastante la piattaforma (per le operazioni di trasporto dei blocchi fino al punto di imbarco, di carico mediante argani di legno e di trasporto via mare a partire dalle cave costiere, FELICI 2020). Il trasporto avveniva forse su imbarcazioni simili a zatteroni, con o senza prua e poppa (o con queste due parti sostanzialmente identiche per agevolare le operazioni di ingresso e uscita dalle aree di carico e scarico: cfr. *infra* Fig. 10), i quali potevano facilmente raggiungere il porto di Castro con una tranquilla navigazione sotto costa di appena 2,5 miglia marittime (sulle *naves lapidariae*, cfr. GIANFROTTA 2008, 86-87).

La maggiore antichità di questo settore della cava rispetto agli altri è anche evidenziata dal fatto che le tracce di piccone e di cunei sui suoi fronti di estrazione sono meno visibili a causa dell'erosione subita dalla roccia nel corso di molti secoli di esposizione agli agenti atmosferici; più "fresche" appaiono invece le tracce di stacchi, evidentemente più recenti, visibili negli altri settori estrattivi che sono stati identificati, oltre che sul letto di cava del settore più antico, da dove, in una seconda fase di coltivazione, che per la freschezza degli stacchi sembrerebbe di molti secoli successiva alla prima, sono stati cavati oltre un centinaio di dischi (diam. ca. 50-60 cm, alt. 20-30 cm; Fig. 6A-B) destinati alla realizzazione di *metae* e *catilli* di macine a mano per cereali. A tal proposito, va evidenziato che nel bacino del Mediterraneo esistono vari esempi di cave costiere caratterizzate dalla presenza di tracce lasciate dall'estrazione di questo tipo di manufatti, per lo più datate tra basso Medioevo e XVIII sec., comprendenti anche mole di macine di dimensioni più grandi, destinate alla frantumazione delle olive o dei grappoli d'uva (LO PRESTI *et al.* 2014; ANTONIOLI *et al.* 2017).

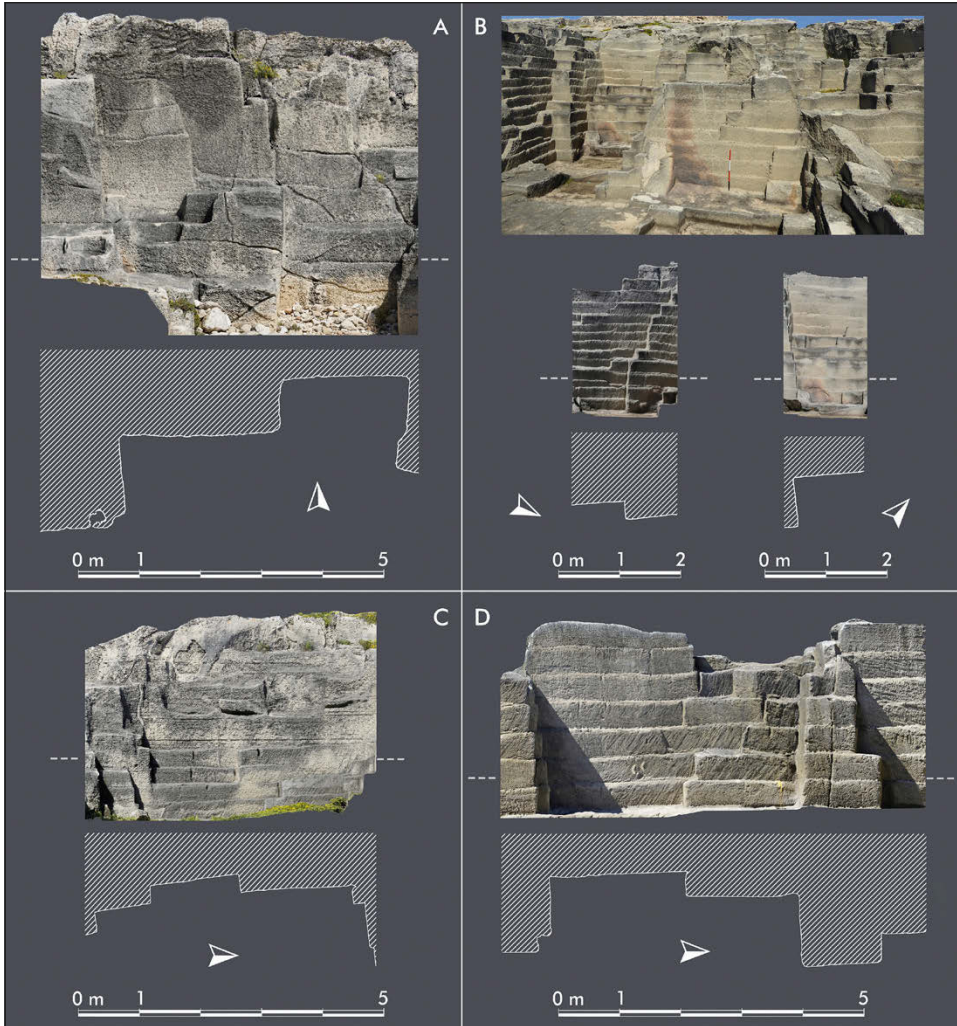


Fig. 5 – Porto Miggiano, cava principale: rilievi fotogrammetrici di alcuni fronti estrattivi.

Nel caso di Porto Miggiano, il numero dei dischi distaccati è davvero notevole e questa attività estrattiva (oltre a riguardare anche la superficie rocciosa subito a S e SO della torre) interessa sistematicamente tutta la porzione visibile del letto originario della cava, che oggi si presenta però in gran parte (settore centrale e settentrionale) coperto da detriti; questi sono stati scaricati da N per colmare la cava e realizzare un parcheggio turistico,

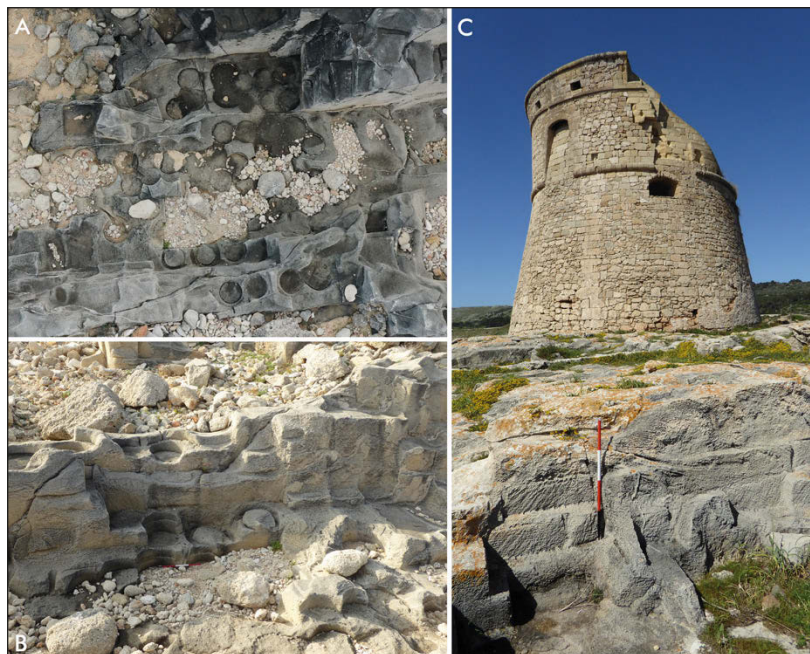


Fig. 6 – Porto Miggiano, cava principale: segni prodotti dal distacco di dischi per macine sul letto di cava del settore estrattivo più antico, documentati da drone (A) e da terra (B); settore estrattivo funzionale alla costruzione della torre (C).

e quindi il numero di dischi che è stato staccato potrebbe essere ancora più elevato. Ne consegue anche che il margine settentrionale della cava non risulta attualmente visibile, ma esso può essere integrato grazie a una foto aerea IGM del 1943 (Fig. 2B), che mostra l'area prima delle trasformazioni moderne a scopi turistici.

Gli altri tre settori della cava, piuttosto limitati, costituiscono ampliamenti posti in aree marginali rispetto al nucleo originario, che in alcuni casi tagliano. Uno (Fig. 4B), posto poco a S della torre e caratterizzato da fronti alti fino a 2,5 m, è stato sfruttato per estrarre blocchi alti 36-38 cm, lunghi fino a 78 cm e spessi 36 cm (Fig. 5B); nella sua porzione più occidentale si nota anche un intervento successivo, con le tracce di lavorazione che documentano l'estrazione di blocchetti alti 24-28 cm, lunghi fino a 64 cm e spessi 28 cm. La coltivazione di questo settore, molto vicino alla costa e che con uno dei *loci* estrattivi si apre sulla falesia (Fig. 4, n. 4), sembra essere stata funzionale all'approvvigionamento di un cantiere più distante, raggiungibile via mare; mancano elementi che possano suggerire una cronologia di questo settore estrattivo, ma l'elevata quantità del materiale estratto e le dimensioni



Fig. 7 – Porto Miggiano, cava a SO della torre: A) ortofoto da drone, in cui sono indicati i margini della piattaforma, oggi sommersa, utilizzata per caricare i blocchi; B-C) vedute da terra dei fronti e del letto di cava, in cui si riconoscono i segni dell'attività estrattiva e alcuni blocchi semi-distaccati e abbandonati.

dei blocchi staccati dalla roccia sembrano escludere un loro impiego nella vicina torre.

Alla costruzione della torre cinquecentesca, invece, sono stati verosimilmente destinati i blocchetti estratti da alcuni settori vicini all'edificio (Fig. 6C), poco profondi (1,20 m); i conchi che vi sono stati staccati presentano infatti caratteristiche metrologiche comparabili a quelle del materiale messo in opera e tale impiego è stato confermato anche dalle analisi

archeometriche (ALVAREZ DE BUERGO *et al.* 2008, 5-7; QUARTA, CALIA, GIANNOTTA 2008, 668). La torre, a pianta circolare (diam. 12,50 m), è costruita in gran parte con pietrame irregolare (probabilmente quello risultante dalla rimozione della porzione più superficiale dei settori estrattivi), fatta eccezione per delle fasce verticali, realizzate a distanze regolari, e alcune porzioni del coronamento, che invece sono in blocchetti (alt. ca. 20 cm, lungh. 30-45 cm).

Probabilmente all'ultima fase di coltivazione della cava, da collocare alla fine dell'800 o ai primi del '900, sono infine riferibili due *loci* estrattivi posti all'estremità nord-orientale del sito (Fig. 4D), a una certa distanza dal mare, caratterizzati da fronti alti fino a 3,5 m (Fig. 5C) e dallo stacco di blocchetti di cm 19-26 (alt.), 39-40 (lungh.) e 17-18 (spess.); in questa fase, alcuni blocchetti delle stesse dimensioni sono stati asportati anche in alcuni punti dei vicini settori del nucleo originario della cava e, superficialmente, anche più a E. Si tratta di interventi paragonabili a quelli visibili anche nel territorio più all'interno e verosimilmente destinati alla costruzione dei primi edifici di Santa Cesarea Terme.

La seconda cava antica dell'area di Porto Miggiano occupa invece una superficie molto meno estesa (ca. 40x30 m) e si trova circa 150 m a SO della torre (Fig. 2B, n. 2), al livello del mare. Si tratta nuovamente di una cava a fossa, con fronti alti fino a 3,20-3,30 m e con tracce dell'attività estrattiva molto evidenti, dove si conservano blocchi semi-staccati e abbandonati (Fig. 7); i conci estratti (alt. 40 cm, lungh. 50-60 cm, spess. tra 35 e 55 cm; Fig. 5D) sono stati trasportati altrove tramite imbarcazioni, che, anche in questo caso, potevano verosimilmente attraccare subito a ridosso della cava, su una piattaforma con bordi regolarizzati, oggi parzialmente sommersa.

G.S.

3. IL RILIEVO LASER SCANNER E LA FOTOGRAMMETRIA DA DRONE

Fondamentale per l'accurata documentazione dell'antica area estrattiva di Porto Miggiano è stata la realizzazione di una campagna di rilievo metrico utilizzando differenti tecniche di acquisizione, secondo modalità già sperimentate in precedenti progetti di ricerca (FERRARI, GIURI 2015; LEUCCI *et al.* 2019; DE GIORGI *et al.* 2021). Data la complessa morfologia dell'area, per la restituzione metrica sono state utilizzate tecniche di rilievo strumentale basate sull'uso di sensori attivi e passivi, ovvero mediante l'utilizzo di laser scanner e tecniche di fotogrammetria digitale aerea. Quest'ultima ha consentito di integrare l'acquisizione laser scanner nelle porzioni fronte mare, irraggiungibili da terra, e di ottenere una mappatura colore in alta definizione utile alla lettura delle caratterizzazioni delle superfici (LEUCCI *et al.* 2019).

N° SCAN	POINTS	SCAN TIME AND RESOLUTION AT 10 M
1	50.764.115	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
2	49.607.669	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
3	49.159.246	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
4	47.510.710	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
5	50.016.892	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
6	197.194.182	spacing 3.1, quality level 4, time 26:59 min
7	40.760.680	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
8	36.685.128	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
9	57.002.621	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
10	51.412.698	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
11	45.059.664	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
12	45.301.684	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
13	56.879.519	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
14	59.447.624	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
15	59.398.917	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
16	59.297.933	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
17	47.999.661	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
18	48.274.993	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
19	48.276.774	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
20	48.522.070	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
21	48.421.141	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
22	40.332.925	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
23	38.942.755	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
24	42.265.116	spacing 3.1, quality level 3, time 13:30 min
Tot.	1.318.505.251	

Tab. 1 – Porto Miggiano, cava principale, rilievo laser scanner: parametri di acquisizione per singole stazioni.

L'impiego del laser scanner consente di riprodurre in ambiente 3D qualsiasi tipologia di superficie, con un'elevata accuratezza geometrica a partire da una maglia di restituzione sub-centimetrica, opportunamente definita in funzione delle superfici di riferimento. Nello specifico è stato impiegato il laser scanner topografico a tempo di volo Leica P20, in grado di acquisire sino a una distanza massima di 120 m con una velocità pari a 1 milione di punti al secondo (cfr. *supra* Fig. 3). Per la copertura totale dell'area, è stato necessario effettuare complessivamente 24 punti di stazione (Tab. 1), di cui 23 con un preset impostato su una dome di 10 m di raggio, avente spacing 3,1 mm, quality 3 e time 13:30, e il restante (posizionato in un'area centrale particolarmente aperta della cava e proprio per questo necessitante di una maggiore risoluzione) con spacing 3,1 mm, quality 4 e time 26:59 per coprire la parte più estesa del sito (Fig. 8A).

Successivamente si è proceduto al matching manuale secondo la procedura cloud to cloud utilizzando il software Leica Cyclone (v. 8.1.1), con

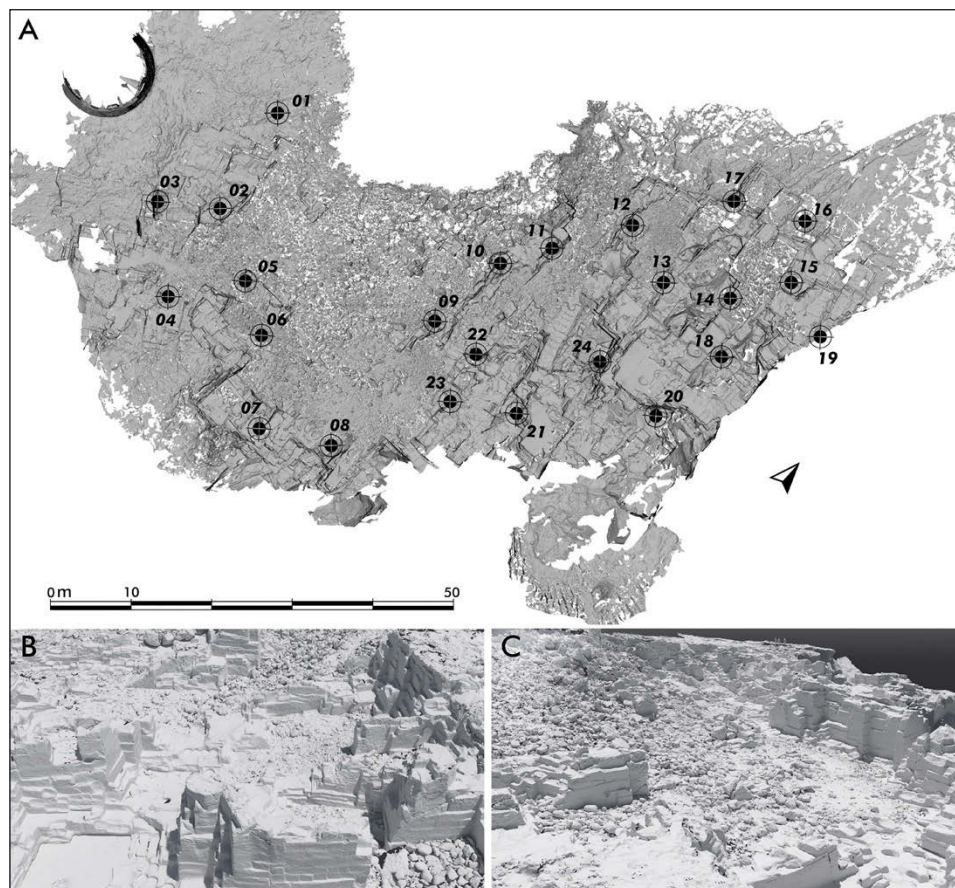


Fig. 8 – Porto Miggiano, rilievo laser scanner della cava principale: A) modello poligonale con punti di stazione; B-C) particolari da SO e da E.

un errore medio di allineamento di 0,016 m; la nuvola di punti finale è stata esportata in formato .pts (44,4 Gb; 1,3 mld di punti) e importata, decimata e processata in Geomagic (Studio 2003) per il calcolo della mesh poligonale in formato .obj (3,69 Gb; 34 mln di poligoni) (Fig. 8B-C).

La contestuale campagna di rilievo fotogrammetrico ha riguardato sia la documentazione a grande scala, che il dettaglio di specifici fronti di cava di particolare interesse. Riguardo la prima è stato necessario ricorrere ad acquisizioni aeree eseguite mediante UAV DJI Mavic 2 Pro, dotato di camera RGB ad alta risoluzione (20MPx). L'area complessivamente coperta si estende per circa 10.000 m² e presenta una morfologia complessa con variazioni di

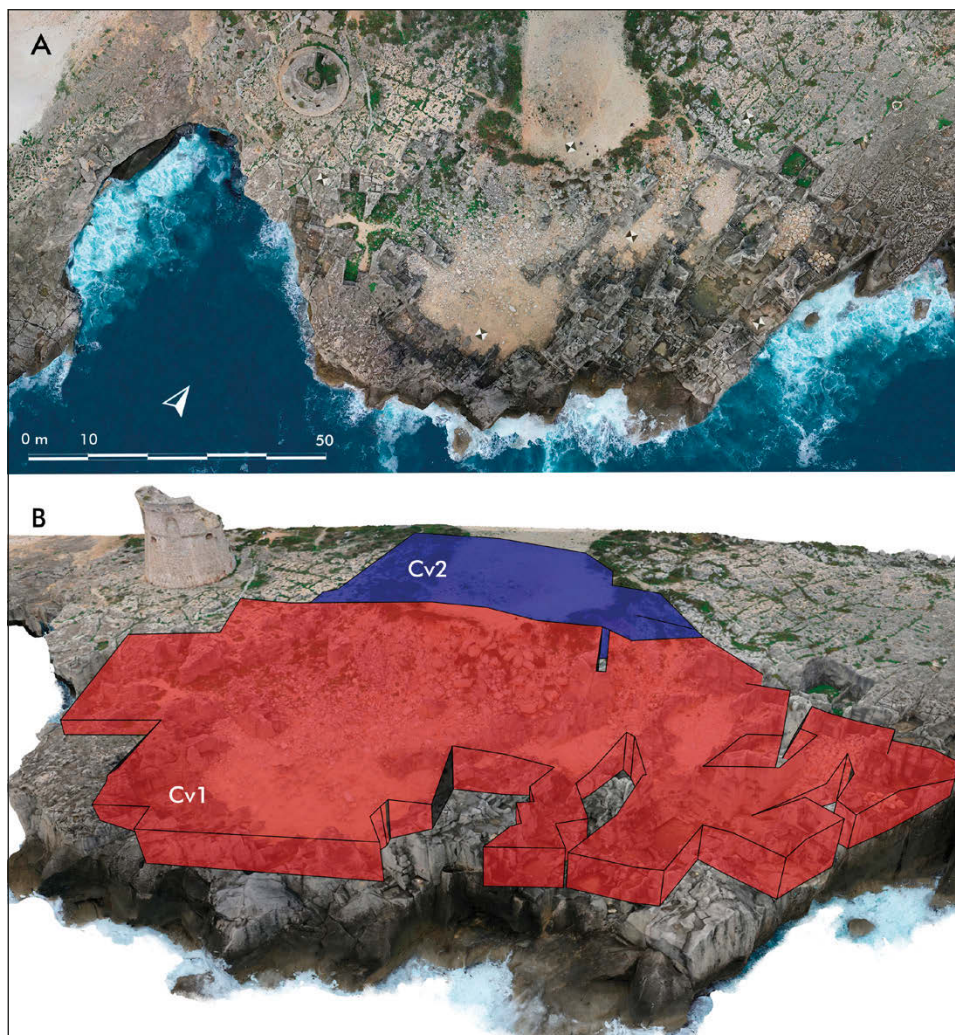


Fig. 9 – Porto Miggiano, cava principale: A) ortofoto da drone; B) calcolo del volume di materiale estratto nella porzione in luce (Cv1) e in quella interrata con materiale di riporto (Cv2).

quota che raggiungono i 5 m. Le operazioni di volo sono state precedute dal posizionamento di sei Ground Control Points (GCP) identificati da specifici target (80×80 cm) e rilevati utilizzando un ricevitore multifrequenze GNSS Emlid Reach RS2, con correzioni differenziali RTK direttamente dalla rete Hexagon SmartNet.

Per poter pianificare le missioni di volo automatico è stato utilizzato il software PIX4Dcapture, impostando parametri di quota, velocità, tempo di scatto della camera e percentuale di overlapping laterale/frontale. L'area in esame è stata acquisita compiendo tre sorvoli a un'altezza di circa 35 m s.l.m., il primo con camera nadirale e i restanti incrociati con camera posizionata a 30° per un totale di 152 foto RGB. Le immagini sono state quindi processate all'interno del software di fotogrammetria tridimensionale Agisoft Metashape Pro con i seguenti step: allineamento delle foto e creazione della nuvola di punti sparsa; inserimento delle coordinate GNSS sui relativi marker al suolo; correzione dell'allineamento delle foto sulla base delle coordinate note GNSS; creazione della nuvola ad alta densità (circa 67 milioni di punti); creazione del modello tridimensionale con texture; creazione del DEM e dell'ortofoto nadirale (8 mm/pixel) (Fig. 9A).

Per quanto concerne invece la documentazione dei fronti di cava, i dataset fotografici sono stati acquisiti tramite una camera digitale Sony Alpha 7R con obiettivo CANON EF 24MM F/1.4 L USM II, in parte con prese manuali e in parte con l'ausilio di un'asta telescopica provvista di un'estensione massima di 5 m. Gli scatti sono stati realizzati spostandosi parallelamente alle superfici a una distanza di circa 3 m, garantendo un overlapping minimo del 70%. Anche in questo caso l'elaborazione dei modelli 3D e dei fotopiani in scala è stata realizzata con Agisoft Metashape Pro (cfr. *supra* Fig. 5).

I.F., F.G.

4. CALCOLO DEI VOLUMI ESTRATTI E PROPOSTA RICOSTRUTTIVA DELL'AREA DI IMBARCO

Il rilievo digitale tridimensionale della cava principale, oltre alla documentazione dello *status quo*, è stato fondamentale sia nella stima dell'attività estrattiva in termini volumetrici (per la metodologia, cfr. QUARTA *et al.* 2015), che nell'elaborazione di una proposta ricostruttiva di una porzione particolarmente significativa del sito, preposta all'imbarco dei blocchi mediante argani lignei.

Nel primo caso sono state individuate due macro-aree di estrazione: la porzione di cava in luce (Cv1: Fig. 9B, in rosso) e quella attualmente occultata da materiale di riporto (Cv2: Fig. 9B, in blu). Pertanto, ipotizzando come limite superiore la quota indicata dall'andamento naturale della costa e come limite inferiore il piano di cava, sono state simulate in 3D tutte le aree oggetto di estrazione e identificabili dalle tracce di lavorazione. A partire da questi modelli è stato possibile stimare un volume complessivo del materiale asportato di circa 11.354 m³, suddiviso nelle singole aree secondo i valori espressi nella Tab. 2.



Fig. 10 – Porto Miggiano, cava principale, proposta ricostruttiva 3D dell'antico cantiere estrattivo e delle operazioni di trasporto e carico dei blocchi presso la piattaforma a S di esso (cfr. Fig. 4, n. 5): A) veduta panoramica da E; B) dettaglio della banchina di ormeggio.

La medesima riproduzione digitale è stata utilizzata come punto di partenza per l'elaborazione di una proposta ricostruttiva di una parte del cantiere estrattivo, dove si riscontra l'esistenza di uno sbocco diretto sul mare per la presenza di una banchina di ormeggio e carico del materiale

AREA	SUPERFICIE	ALT. MEDIA	VOLUME ASPORTATO
Cv1	2.520 m ²	3,65 m	9.198 m ³
Cv2	625 m ²	3,45 m	2.156 m ³

Tab. 2 – Porto Miggiano, cava principale: stima del volume di materiale estratto nella porzione in luce (Cv1) e in quella interrata con materiale di riporto (Cv2).

su imbarcazioni, verso la quale convergono due probabili rampe adoperate nella discesa dei blocchi estratti nei soprastanti fronti di cava. Si è proceduto, quindi, a realizzare alcune integrazioni direttamente sul modello digitale della cava per una ricostruzione dell'originaria morfologia della superficie rocciosa dell'area di cantiere che, per quanto indicativa, rimane tuttavia ancorata alle evidenze archeologiche documentate, grazie alle quali è stato possibile posizionare il livello del mare a una quota decisamente più bassa rispetto a quella attuale.

Nell'allestimento della scena in ambiente 3D (Maxon Cinema 4D R21 + V-Ray 5) sono state utilizzate tecniche hand-made modeling per la realizzazione dei modelli inerenti alle macchine da cantiere e alle imbarcazioni (per la metodologia, cfr. GABELLONE 2006; CARUSO *et al.* 2015; GABELLONE, FERRARI 2017), facendo ricorso a un software specifico per la modellazione e messa in posa dei personaggi (Bondware Poser Pro 12.0.757 e relativo plugin per C4D InterPoser Pro v1.9). I render finali, basati su proposte ricostruttive presenti nella recente bibliografia archeologica relativa al trasporto di blocchi da cave costiere (KOZELJ, KOZELJ WURCH 1993; FELICI 2020, figg. 8 e 12), mirano a proporre una rappresentazione 3D d'insieme (Fig. 10) che consenta di fornire una migliore e più immediata cognizione sia dello sviluppo topografico dell'area oggetto di studio, sia della sua plausibile articolazione, in un "modello di conoscenza" che si può configurare come sintesi dell'interpretazione dei dati raccolti (in proposito, cfr. GABELLONE *et al.* 2017).

I.F., F.G.

5. CONCLUSIONI

In base ai rilievi effettuati è stato possibile giungere a una restituzione schematica dei volumi di pietra asportati dalla cava principale di Porto Miggiano, pari a ca. 12.000 m³, almeno l'80% dei quali da riferire alla più antica fase di coltivazione. A tal proposito, va evidenziato che questa cifra, tolto un verosimile scarto del 10%, compatibile con quello che si produce in una cava di pietra tenera, è molto coerente con il materiale che si può stimare sia stato messo in opera nella terza fase delle mura di Castro, per la quale si può calcolare che siano stati impiegati ca. 8500 m³ di calcarenite.

In conclusione, se da un lato le ricerche condotte tra Santa Cesarea Terme e Marina Serra hanno evidenziato come tutto il settore della costa adriatica vicino a Castro, oltre che il territorio più all'interno, sia stato oggetto di un sistematico utilizzo degli affioramenti di pietra adatta alle costruzioni (SCARDOZZI 2023), dall'altro le cave di Porto Miggiano rivestono sicuramente un'importanza fondamentale, poiché molto più degli altri siti estrattivi conservano in gran parte ancora in maniera evidente l'aspetto originario, non alterato da successive coltivazioni. Insieme ai resti archeologici messi in luce a Castro, queste cave rappresentano quindi un'eccezionale testimonianza, assolutamente da conservare e tutelare, dell'esteso sfruttamento delle risorse naturali funzionali ai cantieri del Santuario di Atena e del successivo *castrum* tra IV e II sec. a.C.

G.S.

GIUSEPPE SCARDOZZI, IVAN FERRARI, FRANCESCO GIURI

Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale - CNR

giuseppe.scardozzi@cnr.it, ivan.ferrari@cnr.it, francesco.giuri@cnr.it

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ DE BUERGO M., MASINI N., PEREZ-MONSERRAT E., CALIA A., VARAS M.J., QUARTA G., FORT R., GIANNOTTA M.T., VAZQUEZ-CALVO C., DANESE M., SILEO M. 2008, *Geomonumental routes: The granitic bridges over the Guadarrama River (Madrid, Spain) and the calcarenitic coastal towers from the Salento (Italy)*, in J.W. ŁUKASZEWICZ, P. NIEMCEWICZ (eds.), *Proceedings of the 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (Torun 2008)*, Torun, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 1153-1161.
- ANTONIOLI F., MOURTZAS N., ANZIDEI M., AURIEMMA R., GALILI E., KOLAITI E., LO PRESTI V., MASTRONUZZI G., SCICCHITANO G., SPAMPINATO C., VACCHI M., VECCHIO A. 2017, *Millstone quarries along the Mediterranean coast: Chronology, morphological variability and relationships with past sea levels*, «Quaternary International», 439, Part A, 102-116.
- AURIEMMA R. 2004, *Salentum a salo. Porti, approdi merci e scambi lungo la costa adriatica del Salento*, I-II, Galatina, Congedo Editore.
- AURIEMMA R., MASTRONUZZI G., SANSÒ P. 2003, *I siti archeologici costieri pugliesi come markers delle variazioni del livello del mare*, in *Ambiente e paesaggio nella Magna Grecia. Atti del XXXII Convegno di Studi sulla Magna Grecia (Taranto 2002)*, Taranto, ISAMG, 515-521.
- AURIEMMA R., MASTRONUZZI G., SANSÒ P. 2004, *Middle to Late Holocene relative sea-level changes recorded on the coast of Apulia (Italy)*, «Géomorphologie: relief, processus, environnement», 10, 1, 19-33.
- AURIEMMA R., MASTRONUZZI G., SANSÒ S., ZONGOLO F. 2005, *The harbour of the Mansio ad Speluncas (Brindisi, Italy): A key to the history of sea level changes in the past 3500 years?*, in I. MARCEL *et al.* (eds.), *Maritime Heritage and Modern Ports*, Southampton, Wessex Institute of Technology Press, 5-14.
- BELOTTI B. 1997, *Un exemple de prospection systématique au sol: histoire de la ville de Vaste et de son territoire (prov. de Lecce)*, in F. D'ANDRIA (ed.), *Metodologie di catalogazione dei Beni Archeologici, I. Beni Archeologici. Conoscenza e Tecnologia, Quaderno 1.1*, Lecce-Bari, Martano Editore-Edipuglia, 135-166.

- BOSSIO A., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G. 2005, *Stratigrafia del Neogene e Quaternario del Salento sud-orientale (con rilevamento geologico alla scala 1:25.000)*, «Geologica Romana», 38, 31-60.
- BUSCEMI FELICI G., FELICI E., LANTERI L. 2020 (eds.), *Produzioni antiche sulla costa sud orientale della Sicilia. Saggi di topografia antica litoranea*, Bari, Edipuglia.
- CALIA A., GIANNOTTA M.T., QUARTA G., SILEO M., DELLE ROSE M. 2011, *Le antiche cave nei depositi calcarenitici lungo la costa pugliese: un esempio di geoarcheositi da tutelare e valorizzare*, in M. BENTIVENGA (ed.), *Il Patrimonio geologico: una risorsa da proteggere e valorizzare. Atti del Convegno Nazionale (Sasso di Castalda, Potenza, 2010)*, «Rivista della Società Italiana di Geologia Ambientale», Suppl. al n. 2, 265-273.
- CARUSO F., GABELLONE F., FERRARI I., GIURI F. 2015, *New reconstructive proposal for a critical reading of the archaeological documentation of Syracuse in Greek times*, «Virtual Archaeology Review», 6, 12, 19-28.
- D'ANDRIA F. 2009, *L'Athenaion di Castro*, in F. D'ANDRIA (ed.), *Castrum Minervae*, Galatina, Congedo Editore, 13-66.
- D'ANDRIA F. 2020, *L'Athenaion di Castro in Messapia*, «Römische Mitteilungen», 126, 79-140.
- D'ANDRIA F., DEGL'INNOCENTI E., CAGGIA M.P., ISMAELLI T., MANCINI L. 2023, *Athenaion. Tarantini, Messapi e altri nel Santuario di Atena a Castro*, Bari, Edipuglia.
- DE GIORGI L., FERRARI I., GIURI F., LEUCCI L., SCARDOZZI G. 2021, *Integrated geoscientific surveys at the Church of Santa Maria della Lizza (Alezio, Italy)*, «Sensors», 21, 2205, 1-17.
- DE MITRI C. 2009, *Castro. Lo scavo di località "Muraglie": nuovi dati sul circuito murario di età messapica*, in F. D'ANDRIA (ed.), *Castrum Minervae*, Galatina, Congedo Editore, 121-197.
- FELICI E. 2020, *Dalla latomia al cantiere. Il trasporto nautico della pietra*, in BUSCEMI FELICI, FELICI, LANTERI 2020, 147-174.
- FERRARI I., GIURI F. 2015, *Rilievo e restituzione grafica delle aree delle Pozzelle di Pirro e di Apigliano*, in A. CHIGA, P. DURANTE, S. GIAMMARUCO (eds.), *Conservare l'acqua. Le pozzelle di Zollino tra memoria storica e indagini scientifiche*, Galatina, Editrice Salentina, 63-70.
- GABELLONE F. 2006, *Hand made 3D modelling for the reconstructive study of Temple C in Selinunte: Preliminary results*, in G. GALLO, S. BATTIATO, F. STANCO (eds.), *Proceedings of the 4th Eurographics Italian Chapter Conference (Catania 2006)*, Catania, Eurographics, 1-7.
- GABELLONE F., FERRARI I. 2017, *Reconstruction of Villino Florio's wooden ceiling using 3D technologies*, in GARAGNANI, GAUCCI 2017, 587-590 (<https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.49>).
- GABELLONE F., FERRARI I., GIURI F., CHIFFI M. 2017, *3D technologies for a critical reading and philological presentation of ancient contexts*, in GARAGNANI, GAUCCI 2017, 591-595 (<https://doi.org/10.19282/AC.28.2.2017.50>).
- GALATI A. 2015a, *Castro. 2, Castello, torre Est*, «Taras. Notiziario delle attività di tutela», n.s. 2, 258-259.
- GALATI A. 2015b, *Castro. 3, Piazza Perotti*, «Taras. Notiziario delle attività di tutela», n.s. 2, 259.
- GARAGNANI S., GAUCCI A. (eds.) 2017, *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas*, Proceedings of the KAINUA 2017 International Conference (Bologna 2017), «Archeologia e Calcolatori», 28, 2 (<http://www.archcalc.cnr.it/journal/idyear.php?IDyear=2017-01-07>).
- GIANFROTTA P.A. 2008, Σμειριδες: *depositi portuali, marmi di cava e navi*, «Orizzonti», 9, 77-89.
- GUAITOLI M. 1997, *Attività dell'Unità operativa Topografia antica*, in F. D'ANDRIA (ed.), *Metodologie di catalogazione dei Beni Archeologici, I. Beni Archeologici. Conoscenza e Tecnologia, Quaderno 1.2*, Lecce-Bari, Martano Editore-Edipuglia, 9-45.

- ISMAELLI T. 2020, *I fregi a girali abitati dell'Athenaion di Castro. Iconografia e linguaggio formale di una creazione tarentina*, «Römische Mitteilungen», 126, 141-203.
- KOZELJ T., KOZELJ WURCH M. 1993, *Le transports dans l'antiquité*, in R. FRANCOVICH (ed.), *Archeologia delle attività estrattive e metallurgiche*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 97-142.
- LARGAIOLLI T., MARTINIS B., MOZZI G., NARDIN M., ROSSI D., UNGARO S. 1969, *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 214, Gallipoli, Ercolano*, Poligrafica & Cartevalori.
- LEUCCI G., DE GIORGI L., DITARANTO I., GIURI F., FERRARI I., SCARDOZZI G. 2019, *New data on the Messapian necropolis of Monte D'Elia in Alezio (Apulia, Italy) from topographical and geophysical surveys*, «Sensors», 19, 3494, 1-26.
- LIPPOLIS E., MAZZARIO N. 1981, *Castro. Rinvenimento di mura preromane*, «Taras», 1, 1, 43-52.
- MARTINIS B. 1970, *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 223, Capo S. Maria di Leuca*, Ercolano, Poligrafica & Cartevalori.
- LO PRESTI V., ANTONIOLI F., AURIEMMA R., RONCHITELLI A., SCICCHITANO G., SPAMPINATO C.R., ANZIDEI M., AGIZZA S., BENINI A., FERRANTI L., GASPARO MORTICELLI M., GIARRUSO C., MASTRONUZZI G., MONACO C., PORQUEDDU A. 2014, *Millstone coastal quarries of the Mediterranean: A new class of sea level indicator*, «Quaternary International», 332, 126-142.
- MARGIOTTA S., SANSÒ P. 2017, *Abandoned quarries and geotourism: An opportunity for the Salento quarry district (Apulia, Southern Italy)*, «Geoheritage», 9, 463-477.
- MASTRONUZZI G. 2015, *Castro. 1, Capanne*, «Taras. Notiziario delle attività di tutela», n.s. 2, 256-258.
- MASTRONUZZI G., ANTONIOLI F., ANZIDEI M., AURIEMMA R., ALFONSO C., SCARANO T. 2017, *Evidence of relative sea level rise along the coasts of central Apulia (Italy) during the late Holocene via maritime archaeological indicators*, «Quaternary International», 439, 65-78.
- PREVIATO C. 2016, *Nora. Le cave di pietra della città antica*, Roma, Edizioni Quasar.
- QUARTA G., CALIA A., GIANNOTTA M.T. 2008, *Caratteristiche minero-petrografiche e geo-chimiche di calcareniti da cave costiere della penisola salentina: contributo allo studio dello sfruttamento nell'antichità*, in G. OGGIANO et al. (eds.), *Atti dell'84° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana (Sassari 2008)*, Roma, Società Geologica Italiana, 667-668.
- QUARTA G., GIANNOTTA M.T., GIURI F., SANSÒ P., VITALE A. 2015, *Identification of an ancient limestone quarry on the Ionian coast of Southern Apulia (Southern Italy): Rock characterization and new data about its exploitation over time*, in *Abstracts of Asmosia XI Conference (Split 2015)*.
- RICCHETTI G., CIARANFI N. 2013, *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 537, Capo Santa Maria di Leuca*, Firenze, Litografia Artistica Cartografica.
- SCARANO T., AURIEMMA R., MASTRONUZZI G., SANSÒ P. 2008, *L'archeologia del paesaggio costiero e la ricostruzione delle trasformazioni ambientali: gli insediamenti di Torre Santa Sabina e Torre Guaceto (Carovigno, BR)*, in *Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura. Proceedings of the 2nd International Conference (Napoli 2008)*, Firenze, CNR-IBIMET, 391-402.
- SCARDOZZI G. 2023, *Costruire il Santuario: lo sfruttamento delle cave di calcarenite*, in D'ANDRIA et al. 2023, 173-181.
- TROPEANO M., SPALLUTO L., MORETTI M., PIERI P., SABATO L. 2004, *Depositi carbonatici infrapleistocenici di tipo foramol in sistemi di scarpata (Salento - Italia meridionale)*, «Il Quaternario. Italian Journal of Quaternary Sciences», 17, 2/2, 537-546.
- ZEZZA F., BRUNO G. 1991, *Caratteristiche geo-meccaniche e problemi di instabilità della falesia di Porto Miggiano (Puglia)*, «Geologia Applicata e Idrogeologia», 26, 273-291.

ABSTRACT

The ISPC-CNR is conducting research activities aimed at identifying ancient quarries that supplied the public building sites in the Athenaion of Castro, where excavations revealed dry-stone city walls made of calcarenite blocks and built in three phases between the 4th and 2nd cent. BC. The paper is focused on the large coastal quarries of Porto Miggiano, located approximately 4.5 km NE of Castro, where the extraction was carried out in function of sea transportation of the blocks. The extraction sites were documented through laser scanning and photogrammetry by a drone. In the main quarry, which covers an area of approximately 0.4 hectares, thanks to the metrological analysis of the stepped faces, four extraction areas were identified corresponding to at least five cultivation phases. The oldest and most extensive one affects the central sector of the quarry, where large blocks compatible (for dimension and macroscopic aspect) with those of the third phase of the Castro city walls, dated to the beginning of the 2nd cent. BC, were extracted.