
IL NURAGHE IS PARAS DI ISILI (CA): NOTIZIE SUL RESTAURO DI UN COMPLESSO
STRATIFICATO DALL'ETÀ DEL BRONZO RECENTE ALL'ALTO MEDIOEVO

CARMINE MEGNA - ALESSANDRA SABA -
NICOLA SANNA - DIEGO ANGELO CRISTIAN SCHIRRU

Riassunto: Il nuraghe *Is Paras* di Isili è una fortezza con bastione trilobato cinta da un antemurale parzialmente conservato. Gli scavi hanno accertato che l'impianto risale al Bronzo Recente. L'insediamento perdura nel Bronzo Finale e nella prima età del Ferro quando raggiunge la massima espansione. Il sito è abitato nell'età romana imperiale e altomedioevale. Il restauro è stato preceduto da rilievi, documentazioni e indagini diagnostiche finalizzate alla conoscenza del nuraghe e degli interventi realizzati in passato. Le operazioni condotte, riassumibili in puliture, consolidamenti, incollaggi di elementi litici, stuccature e protezioni, sono state rispettose degli attuali orientamenti teorici e delle loro principali declinazioni: minimo intervento, compatibilità fisico-chimica e distinguibilità.

Parole chiave: nuraghe complesso, rilievi, conservazione, restauro, minimo intervento.

Abstract: The Nuraghe *Is Paras*, near the town of Isili, is a fortress made up of a trefoil bastion and a partially intact exterior wall. Recent digs have shown that the original structure dates to the Late Bronze age. The human settlement in the structure continued through the end of the Bronze Age period and the beginning of the Iron Age when it reached its maximum expansion. The site was also inhabited during the Imperial Roman period and the early Medieval period. The restoration was preceded by several surveys, documentations and diagnostic studies geared towards the understanding both of the Nuraghe itself and of the interventions made in the past on the structure. The operations performed on the structure, consisting of cleaning, replacing missing stones, applying stucco and reinforcing the structure itself, have been done with all possible respect to up-to-date theoretical guidelines and their principle variations: a minimal disturbance, physical and chemical compatibility and the integrity of the site.

Keywords: nuragic complex, survey, conservation, restoration, minimal intervention.

1. Il nuraghe *Is Paras* di Isili, interventi di restauro dal 1974 al 2007

L'architettura complessa e formalmente ricercata del nuraghe *Is Paras* fa di esso un eloquente esempio di residenza fortificata di un capo di grande rilievo politico della regione storica del Sarcidano tra il Bronzo Recente e il Bronzo Finale (XIII-XII sec. a.C.) ed insieme l'emblema della ricchezza derivata dai traffici del rame della vicina miniera di *Funtana Raminosa-Gadoni* (Nu) sfruttata dalle comunità locali sin dall'Eneolitico (III millennio a.C.)¹. L'edificio, splendido trilobo con la più bella ed alta *tholos* finora documentata dalla letteratura archeologica², sorge a Nord dell'abitato, ai limiti occidentali dell'altopiano isilese, su un ampio gradone di roccia calcarea. Si tratta di un nuraghe complesso di tipo evoluto avvolto da una poderosa cinta antemurale che in origine doveva contare almeno sette torri. Attualmente, gli scavi hanno posto interamente in luce il mastio, la torre meridionale ed il cortile del bastione, gli altri corpi di fabbrica attendono di essere indagati. Le indagini finora effettuate hanno documentato diverse fasi culturali a partire dalla più

1 SABA 2000a; SABA 2000b.

2 LILLIU 1962, pp. 166-168; MORAVETTI 1985, pp. 202-210; MORAVETTI 1996, pp. 179-185; COSSU-SABA 2000; SABA 2009; SABA 2011.

antica alla quale si riferisce l'impianto del trilobato, ovvero il Bronzo Recente (XIV-XII sec. a.C.), l'insediamento perdurò poi nel successivo Bronzo Finale e nella prima età del Ferro (XII-X sec. a.C.); successivamente, fu frequentato ancora in età romana imperiale (I-IV sec. d.C.) e soprattutto bizantina (VI-VII sec. d.C.)³. Oltre a due campagne di scavo effettuate nel 1974-77 e nel 1998⁴, il nuraghe *Is Paras* è stato oggetto di altri tre interventi di restauro conservativo operati sempre nel 1974-77, nel 1998 e nel 2006-2007⁵. Gli interventi degli anni '70 si resero necessari per risanare la minaccia di crollo causata da una profonda lacuna presente al di sopra dell'ingresso alla torre centrale prodotta da un precedente tentativo di smantellamento della struttura da parte dei Padri Scolopi, antichi proprietari del fondo. Infatti, fino alla metà del XIX sec., il mastio conservava ancora buona parte della camera del primo piano poi demolita dai frati insieme ad un'ampia porzione del paramento murario meridionale causando una pericolosa lacuna sulla fronte dell'edificio. Anni dopo, nel 1974, il degrado ormai avanzato del mastio indusse la Soprintendenza Archeologica di Sassari ad intervenire con un consolidamento in emergenza al quale si accompagnò lo scavo stratigrafico di una parte dell'edificio. Sulla fronte del mastio, il muro ridotto ormai al solo paramento interno, reso precario da numerosi conci in posizione di crollo, venne consolidato con malta cementizia e parzialmente ricostruito con piccoli conci litici isodomi e con una colata di conglomerato cementizio disegnato a blocchi tramite sottosquadro. Al di sopra dell'ingresso, venne collocato un nuovo architrave dato da un blocco in calcestruzzo placcato sul lato prospettico da una grande lastra rettangolare in marna⁶. Gli spazi infrafilari di gran parte del paramento esterno furono anch'essi rinzaffati con abbondante malta cementizia inserita alla massima profondità mediante mazzapicchi e rinzeppati con numerose scaglie in calcare. All'interno della camera, fu ricostruito lo stipite sinistro dell'ingresso alla scala inframuraria con un grosso blocco di calcestruzzo, inoltre, con lo stesso materiale venne foderato il pozzo/cisterna per impedirne il crollo⁷. L'ultimo intervento riguardò l'olivastro secolare abbarbicato in cima al mastio. Le sue radici, profondamente immerse all'interno della muratura, ne causavano un vistoso rigonfiamento sul lato orientale. Al principio, la pianta venne tagliata, ma ben presto ricrebbe nonostante numerosi altri tentativi per estirparla con biocidi, ma anche col fuoco e persino col bitume. I restauri del '74-'77 furono infine completati col consolidamento delle creste murarie della torre secondaria meridionale e del cortile interno al bastione mediante la stesura di un capotto in malta cementizia che andò a sigillare le lacune e a saldare i conci liberi. Nel 1998, la seconda campagna di scavo offrì l'occasione per effettuare alcuni interventi di ripristino. Così, alla sommità della *tholos*, fu ricollocato il blocco in chiave mancante; esso venne ricoperto con geotessile non tessuto e sigillato con uno strato di malta a base terra per evitare infiltrazioni d'acqua; purtroppo, però, il restauro ebbe vita breve in quanto, dopo poco tempo, fu rimosso da ignoti. All'interno della camera del mastio, poi, per rende-

3 COSSU-SABA 2000.

4 La prima campagna (1974) fu condotta da Maria Ausilia Fadda, la seconda (1975-1977) da Alberto Moravetti, la terza (1998) da Tatiana Cossu e da Alessandra Saba, contestualmente a ciascuna campagna si effettuarono pure i restauri.

5 Nel 2006-2007 la direzione la direzione scientifica della Soprintendenza Archeologica di Sassari si è avvalsa della direzione sul campo di Alessandra Saba.

6 L'architrave originale dovette andare distrutto durante l'intervento operato dai Padri Scolopi.

7 Durante lo scavo della struttura, un cedimento delle pareti causò la distruzione di quasi tutta la camicia muraria e provocò alla base un profondo sgrottamento, perciò la struttura venne incapsulata con un cilindro in calcestruzzo.

re maggiormente agevole il passaggio dei visitatori e proteggere i livelli archeologici, si creò un volume di sacrificio costituito da terriccio di scavo setacciato misto a ghiaia, per uno spessore medio di circa cm 30; lo stesso provvedimento fu preso per il cortile e la torre meridionale del bastione dove si stese uno strato di ghiaio molto fine che oltre a facilitare il passaggio doveva impedire il ristagno delle acque meteoriche. Il restauro degli anni 2006-2007, invece, si rese in gran parte necessario per porre rimedio agli esiti negativi prodotti dall'intervento del 1974-77. Infatti, nel corso di oltre un trentennio, la malta cementizia impiegata in quei restauri aveva innescato nel monumento il grave processo della risalita dei sali favorito dalla natura calcarea del materiale costruttivo provocandone una lenta erosione col distacco di porzioni di superfici, fratturazione e talvolta polverizzazione. Dunque, l'intervento del 2006-2007, interamente focalizzato sul mastio, sia all'interno che all'esterno, ebbe l'obiettivo di eliminare per quanto possibile la malta cementizia dalle commessure dei blocchi sostituendola con una malta a base terra. Essa venne applicata negli spazi infrafilarici dei corsi consentendo così all'edificio di recuperare se non tutta buona parte dell'originaria elasticità e dell'isolamento dall'infiltrazione delle acque meteoriche. Con questo intervento si provvide all'incollaggio e alla saldatura di alcuni blocchi fratturati sia tramite applicazione di resina epossidica bicomponente, sia con chiodature di barre in fibra di vetro. Venne poi collocata una nuova lastra alla chiusura della cupola sigillandola con una copertina di malta d'argilla e fu messa in opera una tettoia in policarbonato alveolare con intelaiatura in metallo alla sommità della torre, all'uscita della scala elicoidale, per impedire alle piogge di ruscellare all'interno della camera. Infine, con l'utilizzo di diserbante, si eliminò l'olivastro ricresciuto alla sommità del monumento.

2. Il progetto di restauro del 2011-2013 (Tav. I)

Nel 2008, l'Amministrazione Comunale di Isili, al fine di completare i lavori di consolidamento del 2006-2007 e rendere fruibile il sito archeologico di *Is Paras*, predisponendo il progetto preliminare di restauro e richiedeva un finanziamento regionale impegnandosi ad assicurare l'uso pubblico del bene e la manutenzione ordinaria post intervento⁸. Così, nel 2011 prendeva avvio l'ultimo intervento di restauro conservativo in ordine di tempo effettuato sul nuraghe.

2.1 Stato di conservazione del monumento

La situazione del complesso nuragico prima dell'inizio dei lavori era il risultato degli scavi e degli interventi di vario genere realizzati nel tempo per esigenze di ricerca archeologica, fruizione e manutenzione dei manufatti. Lo stato di conservazione era caratterizzato da diverse forme di degrado dovute ad azioni naturali ed antropiche che si innestavano sulle strutture originarie e sugli interventi di restauro, ricostruzione e consolidamento realizzati nel corso degli anni. Il nuraghe

8 Per tale progetto, il Comune di Isili ha fatto richiesta di un finanziamento regionale all'Assessorato Pubblica Istruzione, Beni Culturali, Informazione, Spettacolo e Sport ai sensi della L.R. n. 14/06, Art. 4, lett. f e Art. 21, lett. C. L'ottenimento del finanziamento è avvenuto in base alla L.R. n. 14/06, art. 4, lett. f) e art. 21, lett. c), anno 2008. La progettazione e la direzione dei lavori è stata assunta dalla Società Coop. XX Restauro Architettonico e Archeologico nelle persone dell'ing. e arch. conservatore Diego Angelo Cristian Schirru, arch. Andrea Magrini, arch. Daniele Rossetti e dell'arch. Carmine Megna, tutti perfezionati in "Restauro dei manufatti ridotti allo stato di rudere". La Società XX si è avvalsa della consulenza scientifica e del contributo di diverse professionalità: prof. arch. Luigi Marino dell'Università di Firenze, Direttore del Corso di Perfezionamento in "Restauro dei manufatti ridotti allo stato di rudere"; archeologi Alessandra Saba e Nicola Sanna, arch. Fausto Randazzo (rilievi scanner laser), agronomo Andrea Schirru.

presentava una considerevole presenza di vegetazione spontanea e un olivastro secolare cresciuto alla sommità della torre principale. Ancora, erano preoccupanti lo squarcio aperto nel settore alto del paramento di ONO, la grande lacuna a “V” soprastante l’ingresso al mastio, lo scompaginamento di alcune tessiture murarie e la mancanza di malta interstiziale. Un’importante causa di degrado era data dalla costante esposizione del manufatto alle azioni di *weathering*⁹, alla quale si aggiungeva la più incisiva aggressione da parte di agenti inquinanti e biologici. Il prodotto del deterioramento dei conci visibili nelle parti basse della camera, della scala, del corridoio d’ingresso e della nicchia, era caratterizzato da depositi di materiale di colore nocciola chiaro per lo più polverulento e incoerente, di aspetto coniforme e di scarsa aderenza al materiale sottostante dovuto, in minima parte, alla disgregazione dei conci di marna e di calcare dell’apparecchiatura muraria e, per lo più, alla disgregazione della malta moderna di allettamento tra i conci e di stilatura dei giunti. In particolare, tali prodotti disgregativi erano dovuti principalmente sia a piccoli animali ed insetti, sia alle azioni fisico-meccaniche delle efflorescenze e subefflorescenze saline, sia all’azione meccanica erosiva e abrasiva dei venti che in prossimità dell’apertura d’ingresso alla camera aumentano velocità al diminuire della sezione che attraversano (porta e scala) per effetto Venturi¹⁰. Ulteriori motivi di preoccupazione erano originati da alcuni interventi di restauro realizzati nel 1974-77, consistenti in integrazioni murarie realizzate in conglomerato cementizio armato e in listature delle commesure dei paramenti eseguite con malte cementizie. In particolare, generavano perplessità la presenza di elementi strutturali realizzati in calcestruzzo armato mimetizzati o rivestiti con lastre di materiale litoide, quali l’architrave d’ingresso e lo stipite della porta della scala. Tali elementi, in caso di cedimento, avrebbero comportato dissesti e crolli della muratura contigua. L’impossibilità di procedere all’inizio con il montaggio di un ponteggio per accertarsi delle reali condizioni statiche degli elementi in questione, aveva fatto prevedere anche la possibilità di agire con interventi di de-restauro. In effetti, ciò che allora si osservava era la presenza di sali solubili dispersi in alcune parti della camera, mentre le malte cementizie erano in buono stato di conservazione e assolvevano al compito che gli era stato affidato inizialmente. Gli elementi strutturali presentavano fenomeni di carbonatazione del cemento, ascrivibile all’azione dell’anidride carbonica e degli agenti aggressivi presenti nell’atmosfera e nelle piogge acide, inoltre, si notava l’ossidazione dei ferri delle armature lente, favorita dalla presenza di nidi di ghiaia nella matrice con conseguente distacco del copriferro. Questi ultimi, soggetti a percolamento d’acqua in concomitanza di fenomeni meteorici intensi, avevano determinato colaticci di ossido di ferro sui conci sottostanti e la presenza di efflorescenze saline dovute al trasporto di sali solubili, essenzialmente ettringite¹¹. Nel corso dei sopralluoghi e delle indagini diagnostiche, si è constatato che la malta di stilatura dei giunti era presente per uno spessore limitato ad alcuni centimetri e non per tutta la profondità dei conci. Pertanto, il livellamento

9 Sulla degradazione meteorica (*weathering*) dei manufatti archeologici si veda: MARINO 2009, pp. 33-122.

10 MARINO 2009, pp. 98, 106.

11 Il campionamento delle polveri presenti nelle aperture tra i conci, sui piani di carico e direttamente sui singoli conci delle murature dell’intradosso della *tholos* della camera, ha mostrato all’esame XRD (svolto c/o laboratorio Colle di Bonaria in Cagliari) la presenza di gesso, stimabile in tenori tra il 5 ed il 12%. Il fenomeno più preoccupante è stato la subefflorescenza, ossia la cristallizzazione dei sali dentro la microstruttura porosa del litoide. L’aumento di volume dei sali idratati, quali gesso o solfati, induce ciclicamente forti pressioni sulle pareti dei pori stessi. Quando la pressione interna esercita uno sforzo di compressione tale da superare la resistenza meccanica a trazione del materiale, questi si frattura polverizzandosi. La presenza del gesso, come documentato anche in precedenti studi, non è legato alle litologie e malte originali, ma è dovuta alla presenza delle malte e conglomerati cementizi in opera dai restauri degli anni '70.

dei piani di carico non era assicurato per l'intera superficie. Tale situazione comportava un anomalo andamento della distribuzione dei carichi e delle tensioni. Infatti, tra i conci delle murature si generavano non solo tensioni di compressione, ma anche di taglio e di flessione. Tali sollecitazioni sono da ritenersi quantomeno corresponsabili delle fratture, passanti e non, che si sono rinvenute su molti elementi lapidei.

3. I lavori all'interno del mastio

3.1 Mappatura interventi eseguiti in passato

Successivamente alla fase di accantieramento¹², si è proceduto alla mappatura degli interventi precedenti. Considerato che in fase di progettazione non è stato possibile indagare i livelli più alti della camera, la prima azione conoscitiva si è basata su un'attenta mappatura degli interventi visibili¹³ e dello stato delle malte tra i conci. Con un cerchietto arancione sono stati contrassegnati i perni di fibra di vetro ancorati con resine epossidiche inseriti negli interventi del 2006-2007¹⁴. Contestualmente, per ciascun livello, sono state apposte croci gialle a segnalare i conci fratturati¹⁵ bisognosi di incollaggio mediante resine con o senza perni. I conci sono poi stati numerati progressivamente dal livello n. 7 al livello n. 1; durante questa operazione, si è osservata la presenza di un perno libero non ammorsato al concio per mancanza di collante. L'analisi dello stato di conservazione delle malte in opera, invece, è stata eseguita mediante prelievo di 5 campioni per ogni livello nei punti di maggiore sollecitazione meccanica e di esposizione al *weathering*. Durante il prelievo, si è constatato che la malta di stilatura dei giunti era presente per uno spessore limitato ad alcuni centimetri e non per tutto lo spessore e oggetto dei conci. Pertanto, il livellamento dei piani di carico non era assicurato per tutta la superficie inducendo, nel concio soprastante, azioni non solo di compressione ma anche di flessione e taglio. In diversi casi, tali sollecitazioni hanno mostrato di essere corresponsabili della perdita di equilibrio dei conci per sfilamento delle zeppe e soprattutto di fenomeni fratturativi passanti e non degli stessi conci. A conclusione della mappatura, sono state acquisite le fotografie delle murature ad ogni livello del ponteggio e delimitati con un gessetto viola alcuni riquadri di m 1 di lato con funzione di testimone per apprezzare la differenza tra la parte con le malte esistenti e le parti ripulite e restaurate.

3.2 Pulitura

La pulitura delle superfici si prefiggeva lo scopo di rimuovere la presenza di sostanze estranee patogene, causa di degrado, limitandosi alla loro asportazione. Il lato estetico non ha inciso sul risultato finale, l'intento della pulitura non è stato quello di rendere gradevole l'aspetto della su-

12 Tale fase è iniziata in data 6/9/2011 con la realizzazione del ponteggio metallico fisso a tubo e giunto interno al mastio. Considerato che la camera ha un'altezza in chiave rispetto al piano residuo di calpestio di m 12, si è realizzato un ponteggio con n. 5 campate a pozzo centrale su n. 7 impalcati (Livv. 1-7) di metri 1,80 ciascuno, ad eccezione del livello n. 7 che presentava un'altezza residua di metri 1,20. Il vuoto tecnico così ottenuto è stato utilizzato quale pozzo di aerazione e illuminazione e di sollevamento per i materiali. Le passerelle metalliche che costituivano il piano di ogni livello sono state integrate da porzioni di tavoloni lignei dello spessore minimo di cm 5, appositamente sagomati per colmare le lacune laterali adattandosi così alla curvatura dell'ambiente e costituendo i fermapiedi.

13 Listature delle commessure tra i conci, incollaggi strutturali con e senza cucitura di elementi litici, malte ed elementi strutturali in cemento armato e non; interventi anni 1974-77 e 2006-2007.

14 In totale sono stati registrati n. 80 perni, alcuni dei quali "liberi" all'interno dei fori.

15 Sono risultati fratturati n. 198 conci.

perficie, bensì, quello di sanare uno stato di fatto alterato. Si è quindi proceduto evitando puliture insistenti che avrebbero potuto intaccare la patina naturale del materiale formatasi nel corso dei secoli, puliture mosse, generalmente, dalla volontà di restituire al materiale il suo aspetto "originario". Tenendo conto che anche la risoluzione meno aggressiva causa sempre una seppur minima azione lesiva sul materiale, tutte le operazioni sono state calibrate e graduali, procedendo per fasi progressive su più campioni, in questo modo l'operatore ha potuto verificare l'idoneità della tecnica prescelta e, allo stesso tempo, determinare quando l'intervento andava interrotto. I metodi di pulitura sono stati diversificati in relazione al tipo di materiale e alla sostanza asportata. La facilità o difficoltà dell'asportazione e, di conseguenza, il ricorso a metodologie più o meno aggressive, è dipeso dalla natura del deposito stesso. Gli interventi di pulitura hanno soprattutto riguardato: la rimozione di depositi superficiali incoerenti; l'asportazione delle efflorescenze saline; la rimozione di microflora (patina biologica, funghi); la rimozione di macroflora (muschi, licheni, piante superiori). Non intaccando la natura chimica del materiale, i depositi superficiali incoerenti sono stati ripuliti con sistemi meccanici semplici. Dalle superfici (compresi i piani di carico dell'apparecchio murario) sono stati asportati tutti gli elementi intrusivi quali polveri e detriti, vegetazione infestante e malte utilizzate in restauri precedenti che non avevano svolto la propria funzione o erano decadute nelle prestazioni statico-meccaniche. In tal modo, si è evidenziato lo stato conservativo dei blocchi e, soprattutto, quello degli spazi infrafilarici permettendo un'osservazione diretta della malta e delle zeppe residue. La pulitura è stata effettuata manualmente, dall'alto in basso con l'utilizzo di strumenti¹⁶ adatti ad essere impiegati negli spazi angusti degli interstizi tra un blocco e l'altro senza asportare la malta antica e graffiare in qualche modo i conci, in funzione del grado di coerenza. È stato evitato l'uso di getti d'acqua anche a bassa pressione poiché materiali quali marne e calcari ne vengono fortemente danneggiati a seguito di imbibizione forzata. È stato recuperato il materiale pulverulento prodotto sia dalla pulizia, sia dall'azione erosiva della circolazione dell'aria, gradienti e ponti termici, nonché dall'umidità di risalita e di infiltrazione. Il recupero è stato realizzato mediante raccolta, differenziata per litologia e tonalità di colore, delle polveri depositate alla base dei piani di posa dei conci con l'utilizzo di piccole attrezzature. Le efflorescenze sono state trattate con sistemi di rimozione per solubilizzazione dei sali mediante impacchi di argille assorbenti¹⁷, quali attapulgitte e polpa di cellulosa su veline di carta giapponese o *klinex* interposte sulla superficie da trattare in spessori variabili¹⁸. La pulitura mediante impacchi assorbenti è stata vantaggiosa, oltre che per l'asportazione dei sali solubili, anche per la rimozione dalle superfici lapidee di strati omogenei di composti idrosolubili o poco solubili (come croste nere spesse circa mm 1), macchie originate da sostanze di natura organica e strati biologici (batteri, licheni e algali). Gli impacchi sono stati inoltre capaci di ridurre le macchie di ossidi di rame e di ferro¹⁹. Il vantaggio del loro utilizzo è stato anche quello di evitare di applicare direttamente sulla

16 Pennelli a pelo lungo e morbido, aria soffiata a bassissima pressione, aspiratori elettrici.

17 Le argille assorbenti, come la sepiolite e l'attapulgitte, sono dei silicati idrati di magnesio, mentre la polpa di cellulosa è una fibra organica ottenuta da cellulose naturali (disponibile in fibre di lunghezza variabile da 40 a 1000 µm); mescolate insieme all'acqua, questo tipo di sostanze, sono in grado di formare una sorta di fango capace di esercitare, una volta a contatto con le superfici lapidee e opportunamente irrorato con acqua, un'azione, di tipo fisico, di assorbimento di liquidi in rapporto al proprio peso.

18 Cm 2-3 per le argille, cm 1 per la polpa di cellulosa.

19 È il caso delle superfici limitrofe o sottostanti ad elementi strutturali in C.A. con armature lente esposte e carbonatate, quali l'architrave d'ingresso e lo stipite della porta alla scala di camera del mastio, soggette a continuo percolamento.

superficie sostanze pulenti (in particolare quelle di natura chimica) che in questo caso sarebbero risultate troppo aggressive per il substrato. La tipologia d'impacco è dipesa dal grado di persistenza e dalla solvenza dello sporco da rimuovere che, a seguito di ripetuti campionamenti, ha consentito di eliminare la maggior parte delle efflorescenze saline. Prima di applicare l'impacco, su ridotte porzioni di superficie da trattare, è stata operata la rimozione di eventuali depositi superficiali ricorrendo ad un leggero lavaggio con acqua deionizzata in modo da asportare i depositi meno coerenti ed ammorbidire gli strati carboniosi più consistenti. In presenza di efflorescenze, prima di procedere con l'operazione, si è provveduto all'asportazione meccanica tramite lavaggio con acqua deionizzata e spazzolino morbido. In linea generale, si è optato per basse concentrazioni e tempi di applicazione più lunghi rispetto ad impacchi con soluzioni elevate e tempi di applicazione brevi. Nel caso in esame, si è preferito procedere con applicazioni inizialmente limitate a 30 minuti e, progressivamente, al crescere della confidenza con i prodotti e con la tecnica di messa in opera, si è arrivati a tempi di applicazioni di 2-6 ore a cicli ripetuti²⁰. Gli impacchi sono stati eseguiti nel mese di luglio con temperature esterne superiori ai 30°C ed interne al monumento di circa 18-24°C, comunque, mai inferiori a 10°C. Date le alte temperature di applicazione, al fine di rallentare l'evaporazione del solvente, gli impacchi sono stati coperti da fogli di polietilene con ciclico reintegro del liquido evaporato. La rimozione della poltiglia è stata eseguita quando questa, una volta asciutta, ha formato una crosta squamosa ed incoerente tale da distaccarsi dal supporto poiché non più aderente a questo. Il supporto è stato successivamente lavato con acqua demineralizzata, nebulizzata a bassa pressione in modo da riuscire ad asportare tutto il materiale assorbente aiutandosi anche con spazzole e pennelli di setole di nylon morbide. L'attapulgit (anche la seppiolite) è in grado di assorbire una grande quantità di liquidi in rapporto al suo peso²¹, inoltre l'attapulgit (a differenza della seppiolite) riesce ad assorbire, oltre l'acqua, anche eventuali oli. Passando alla patina biologica, va detto anzitutto che essa era costituita da batteri, funghi²², alghe e cianobatteri, il cui sviluppo è stato favorito da condizioni caratterizzate da elevata umidità relativa e dalla presenza di acqua ristagnante all'interno del materiale lapideo; le condizioni erano peraltro aggravate dalla limitata circolazione d'aria. Le sostanze biocide utilizzate per la rimozione della microflora dovevano pertanto rispondere a specifiche esigenze, tra le quali: non risultare tossiche per l'uomo e gli animali (bassi periodi di carenza); essere biodegradabili nel tempo; non provocare azione fisica o chimica nei riguardi delle strutture murarie; dopo l'applicazione non persistere sulla superficie

20 Impacco acquoso: Attapulgit 100 UP (granulometrie comprese tra i 100 e i 200 Me sh); polpa di cellulosa fibra lunga (600-1000 µm, ARBOCELL). Velinatura: carta giapponese *Bolloré* (composizione: mix di canapa di Manila, polpa di carta decolorata e poliamminoepticloridrina che la rende resistente all'acqua; peso: 12,3 g/mq; pH: neutro; formato: rotolo 750x10000 mm). Tutti i materiali impiegati sono stati corredati da specifica scheda tecnica allegata al consuntivo scientifico finale redatto dalla Direzione dei Lavori e consegnata al competente organo di tutela.

21 Un chilogrammo di attapulgit è in grado di assorbire 1,5 kg d'acqua senza rigonfiare.

22 Questi microrganismi possono indurre sulla superficie un degrado di natura meccanica e/o chimica; i funghi possono, infatti, rivelarsi nocivi penetrando, con le appendici filiformi, all'interno delle fessure presenti nel manufatto, sollecitando meccanicamente la struttura, incrementando la decoesione del materiale; le alghe, invece, provocano sulla superficie un'azione meccanica corrosiva agevolando l'impianto d'ulteriori micro e macrorganismi. La loro presenza sulle superfici lapidee si manifesta tramite macchie e patine costituite prevalentemente da microrganismi cui possono aderire polvere, terriccio etc., patologie che, inevitabilmente, ne alterano l'aspetto estetico.

trattata con residui di inerti stabili (per questo sono state evitate sostanze oleose o colorate). La rimozione della patina biologica è stata fatta quindi in parte tramite pulitura manuale (bisturi, spazzole etc.) e in parte mediante l'uso di biocidi. Essa ha interessato le superfici limitrofe all'architrave d'ingresso e alla finestrella di scarico, i conci alla base della nicchia e della camera, e la scala elicoidale. L'efficacia dei sistemi d'asportazione manuale si è rivelata limitata e non sempre in grado di rimuovere completamente la patologia, inoltre, è risultata potenzialmente lesiva per il substrato del materiale. Il biocida²³, invece, in presenza di materiali molto porosi quali i calcari fossiliferi, è stato applicato mediante impacchi sia a pennello, per favorire la maggior penetrazione del prodotto e prolungarne l'azione, sia a spruzzo, soprattutto in presenza di materiali fragili e decoesi. Gli interventi sono stati ripetuti per un numero di volte sufficiente a debellare la crescita della patologia. Dopo l'applicazione della sostanza biocida, si è proceduto all'asportazione manuale dello strato. L'operazione è stata ultimata da una serie di lavaggi ripetuti con acqua deionizzata in modo da eliminare ogni possibile residuo di sostanza sul materiale.

3.3 Consolidamento

Nel cantiere di *Is Paras* ci si è occupati prevalentemente del consolidamento di murature in elevazione in precario stato di equilibrio statico e sottoposte a degrado superficiale diffuso. L'intervento è risultato particolarmente complesso poiché la sua reale efficacia era legata alla conoscenza di diversi fattori tra i quali: la natura dei materiali in opera²⁴, i cambiamenti riconducibili all'invecchiamento della struttura²⁵, le diverse patologie di degrado compresenti, lo stato conservativo²⁶, gli interventi e le sollecitazioni in atto²⁷. Gli interventi operati all'interno del mastio sono stati di due tipi: consolidamento delle superfici per impregnazione e consolidamento dei piani di carico. Il primo ha riguardato esclusivamente elementi strutturali e non, inseriti nell'apparecchiatura muraria della camera durante i lavori di restauro degli anni '70. Per tali elementi si è proceduto alla valutazione della forma di alterazione come da classificazione dei materiali lapidei artificiali²⁸. Preliminarmente al consolidamento lapideo, si è operato quello dei ferri d'armatura lenta esposti secondo le seguenti modalità: demolizione delle parti di cls cadenti o prive di stabilità; pulizia accurata dei ferri d'armatura scoperti mediante spazzolatura manuale; trattamento dei ferri con malta anticorrosiva monocomponente²⁹; ripristino delle lacune con malta tissotropica fibrinforzata di granulometria fine a ritiro compensato³⁰ e media resistenza meccanica, relativamente alle sole parti scoperte; rifinitura e pulizia finale delle parti ripristinate.

Il consolidamento dei piani di carico è stato realizzato mediante impregnazione profonda, al fine di

23 Preventol RI80, Benzalconio cloruro, biocida a largo spettro di attività contro funghi, batteri e alghe. Si tratta di un liquido da incolore a leggermente giallognolo, idoneo per disinfestazioni generiche in soluzione acquosa in concentrazioni variabili dal 2 al 10%. Solubile in alcoli, chetoni, idrocarburi clorinati. Principio attivo: Alchil dimetilbenzilammonio cloruro. Densità: 0,97 kg/l a 20°C, pH: 7-9.

24 Conci, leganti, connettori strutturali.

25 Oltre 3000 anni di esposizione ad agenti meteorici e antropici.

26 La struttura non è mai stata interessata da interventi complessivi di restauro ma solo per piccoli cantieri e a carattere discontinuo.

27 Carico antropico dovuto alla pubblica fruibilità del monumento.

28 UNI 11182/2006, Beni Culturali - NORMAL. Materiali lapidei naturali ed artificiali.

29 Mapefer.

30 Mapegrout 430.

evitare la formazione di uno strato superficiale resistente sovrapposto ad uno degradato, con composto da esteri etilici dell'acido silicico, specificamente INDUR-IN³¹. Il basso peso molecolare e il fatto di dare soluzioni in solvente a bassa viscosità ha permesso una buona penetrazione all'interno della porosità del materiale. Al fine di stabilire la quantità di prodotto da utilizzare, sono stati necessari piccoli test eseguiti su superfici campione; Le prove sono servite anche da spia per determinare l'eventuale alterazione dell'opacità del materiale lapideo artificiale e della sua tonalità durante e subito dopo il trattamento. In linea generale, si è utilizzata una quantità pari 300-400 g/m² su superfici a base cementizia. Il silicato di etile, precipitando a seguito di una reazione spontanea con l'umidità atmosferica, libera, come sottoprodotto, alcool etilico che evapora con i solventi impiegati nella soluzione, pertanto, l'uso di questo consolidante ha presentato il vantaggio di far sì che, nel lapideo trattato, oltre all'acido silicico non siano rimaste altre sostanze che avrebbero potuto in qualche forma (ad esempio efflorescenze) danneggiare l'aspetto e le caratteristiche del materiale lapideo artificiale consolidato. La reazione si è completata nell'arco di 2 o 3 settimane in ragione delle condizioni atmosferiche, della porosità del materiale, della natura e struttura chimica. Il trattamento è stato eseguito a pennello, e in alcuni casi per percolazione e a tampone mediante spugne, previa protezione delle aree contermini mediante teli in pvc e carta assorbente. La superficie trattata è stata completamente saturata sino a rifiuto, evitando però eventuali accumuli di prodotto e procedendo a rimuovere l'eccedenza con l'ausilio di tamponi asciutti o inumiditi con acetone o diluente nitro. Questo tipo di consolidante ha rivelato in toto le sue peculiarità, ovvero, essere molto resistente agli agenti atmosferici e alle sostanze inquinanti, non subire alterazioni dai raggi ultravioletti e presentare il vantaggio³² di possedere un elevato potere legante³³ soprattutto nei confronti di materiali lapidei artificiali contenenti silice anche in tracce, quali arenarie, tufi, trachiti, ma anche su altri materiali artificiali quali mattoni in laterizio, terrecotte, intonaci, stucchi e appunto calcestruzzi³⁴. Il secondo tipo di consolidamento, quello dei piani di carico delle murature, si è basato su azioni di scuci e cuci, rincocciatura, integrazioni, incollaggi e ripristino delle malte di allettamento con l'obiettivo, oltre che di ripristinare i piani di carico dei conci, di migliorarne l'ammorsamento trasversale. Per comprendere l'importanza di questo tipo di consolidamento, è necessario premettere che normalmente si ritiene che le costruzioni nuragiche, in particolare i nuraghi, siano delle costruzioni di conci lapidei apparecchiati con

-
- 31 Monocomponente fluido, incolore, a bassa viscosità, applicato in solvente organico (es. metil etil chetone), in percentuali (in peso) comprese fra 60% e 80%. Si esterifica l'acido silicico $\text{Si}(\text{OH})_4$ con alcool tipo metilico/propilico, ottenendo una classe di prodotti noti come alcossisilani. Se l'esterificazione delle 4 funzioni non è completa, ma si effettua una alchilazione sull'atomo di silicio, si ottengono gli alchilalcossisilani (idrorepellenti) chiamati anche silicati di etile (o di metile). Nel corso delle reazioni che portano al consolidamento del materiale lapideo, la catena alchilica rimane inalterata e costituisce una zona idrofobica rivolta verso l'esterno della superficie lapidea. Successivamente, polimerizzano dando però origine a sostanze molto diverse dai polimeri organici.
- 32 In relazione ai lapidei a base cementizia trattati, è possibile che la presenza di sali solubili contenuti nella malta dei restauri del '70 possano portare fenomeni di cristallizzazione al di sotto della superficie trattata o in zone adiacenti o anche lontane se veicolate dal vento (che nel primo periodo è leggermente idrofoba), oltre a interferire con il meccanismo di gelificazione.
- 33 Dovuto alla formazione di silice amorfa idrata.
- 34 Risultati positivi potranno essere ottenuti anche su materiali calcarei (es. pietra leccese, pietra di Vicenza), ma non risulta idoneo per il trattamento consolidante di superfici in gesso o di pietre gessose.
-

tecniche cosiddette "a secco". Occorrerebbe esplicitare meglio il termine "a secco". Infatti, se per "a secco" si intende costruzioni prive di malta cementante tra i conci, allora si è concordi nel definirle in tal modo, ma se per "a secco" si intende prive di malta, allora si cade in errore dal momento che tali costruzioni sono realizzate con malta tra i conci. Infatti, sebbene non si possa parlare di malta in senso stretto, che reagendo chimicamente cementi tra loro i conci, tuttavia i conci sono allettati con malte di terra (con un tenore più o meno alto di argille e limi a seconda del suolo contermine la costruzione).

Tali malte svolgono quindi funzione di allettamento dei conci³⁵ e, insieme a pietrame minuto, anche quella di pareggiamento e livellamento dei piani di carico e controllo dell'orizzontalità delle giaciture della muratura, mentre le zeppe tra i conci consentono un miglioramento dell'ingranamento trasversale (assolto prevalentemente da diatoni) e della meccanica complessiva della muratura. Sebbene sia indubbio che il costruttore, con la tecnica edilizia impiegata, abbia fatto maggior affidamento per la regolarizzazione complessiva dell'apparecchio murario all'utilizzo sistematico di zeppe e scaglie piuttosto che all'impiego di abbondanti quantitativi di malta soggetti a un maggior degrado fisiologico, la mancanza delle malte di allettamento provoca da subito la perdita del materiale minuto allettato e in parte delle zeppe e, col tempo, anche la perdita di equilibrio della struttura giacché i conci che costruttivamente nelle *tholos* aggettano progressivamente l'uno sull'altro con l'altezza della camera tendono ad essere soggetti non più a sforzi di sola compressione ma anche di flessione, taglio³⁶ e loro combinazioni.

La listatura tra i conci con inserimento di zeppe è stata effettuata senza alterare e rimuovere le argille originali impiegate come malte tra le commessure dei conci. Ogni livello³⁷ è stato contraddistinto da una targhetta identificativa riportante oltre al numero del livello stesso, la data in cui è stata eseguita la listatura (termine) e il tipo di aggregato utilizzato. Lo spazio intrafilare è stato rinzaffato con malta d'argilla e calce, cercando di farla penetrare in profondità. L'impasto è stato applicato in strati separati e successivi, in base alla profondità della commessura da riempire. Tra i filari sono state reinserte le zeppe che avevano perduto stabilità e, limitatamente ad esigenze di equilibrio statico, inserite altre zeppe avendo cura di contraddistinguere le nuove con tagli trasversali eseguiti con smerigliatrice angolare a piè d'opera, e di mascherare per intero le zeppe nel lato visibile del paramento. La stesura della malta è stata effettuata in modo da mantenere un sottosquadro a vista uniforme al fine di esaltare il contorno dei blocchi costruttivi. La malta utilizzata è stata quella di terra cruda locale stabilizzata con leganti aerei e idraulici naturali, aggregati e fibre polimeriche, nonché delle zeppe sia di allettamento che aggrappanti³⁸. La metodologia adottata ha previsto anzitutto la pulitura del paramento murario ed il recupero del materiale pulverulento prodotto dall'azione erosiva della circolazione dell'aria, quindi, l'inserimento di zeppe di materiale litico presente sul posto³⁹; esse sono state selezionate in base alle caratteristiche simili alle originali per colore e litologia ma facilmente distinguibili da quelle antiche per forma e dimensioni, oltre che

35 In relazione al tenore di argille presenti in massa, tali malte svolgono anche una funzione coesiva non trascurabile tra i conci minuti.

36 La resistenza a trazione σ_T di rocce quali calcari e calcari dolomitici è di circa 50 kg/cm², mentre la resistenza a compressione σ_R è di 500-1000 kg/cm²: σ_R 10 σ_T .

37 Livelli 1-7 del ponteggio interno.

38 Le zeppe più superficiali svolgono anche una importante funzione di aggrappo e tenuta della malta interstiziale e, riducendone i volumi di impiego, consentono una diminuzione dei fenomeni fessurativi da ritiro in fase plastica.

39 Provenienti da discariche di scavi/restauro recenti e passati.

per l'apposizione di contrassegni realizzati con tagli trasversali eseguiti con macchine moderne quali la smerigliatrice angolare o flex. Quanto alle dimensioni, le zeppe selezionate sono state adattate perfettamente agli spazi vuoti in cui inserirle, a tale scopo, a seconda della necessità, si è proceduto a lavorarle opportunamente a scalpello; inoltre, all'occorrenza, sono state allettate con malta di terra stabilizzata o preferenzialmente infilate a contrasto tra i blocchi avendo cura di bloccarle meccanicamente per semplice compressione laterale tra i conci. Lo spazio infrafilario inzeppato è stato successivamente coperto con malta d'argilla, calce idraulica naturale e grassello di calce stagionato a completa stilatura dei giunti; anche in questo caso cercando di farla penetrare quanto più possibile in profondità.

La ricetta della malta di terra cruda stabilizzata⁴⁰ utilizzata per le stilature dei giunti è stata il risultato di numerosi e ripetuti campionamenti eseguiti in cantiere nelle prime settimane di lavoro in quello che potrebbe essere definito "cantiere pilota"⁴¹; la confezione delle malte è avvenuta esclusivamente in cantiere⁴² ed ogni ingrediente è stato accompagnato da specifica scheda tecnica di prodotto⁴³. Dopo circa 2 ore dalla messa in opera, appena la malta iniziava a fare presa, le listature

40 La ricetta finale ha la seguente composizione in volumi: a) aggregato [4,5] - a1.2) terra locale S5 [1,5]; a2.2) pietra triturata S4 [5/6]; a2.3) pietra triturata S5 [1/6]; a4) sabbia 0-2 [2,0]. b) legante [2,0] - b1) calce idraulica naturale [1,5]; b2) grassello di calce [0,5]. c) acqua d'impasto [2,75]. d) fibre polipropilene [1/20]. Il rapporto aggregato-legante [a/b] è di 2,25:1, il quale esprime una notevole componente idraulica al fine di favorire un buon ancoraggio alla matrice calcarea della pietra impiegata.

41 Si tratta di un cantiere propedeutico ai lavori veri e propri della durata di 15-20 giorni, in cui si campionano e testano le diverse composizioni delle ricette che, successivamente all'approvazione, vengono poste in opera.

42 Tutte le malte sono state confezionate *in situ* a partire dagli ingredienti base disponibili in cantiere o prodotti con processi naturali forniti da rivenditori specializzati. Non si è ricorso all'uso di prodotti preconfezionati o premiscelati.

43 Segue l'analisi degli ingredienti utilizzati:

a1.1) terra locale S3: terra raccolta dalle locali cave di argilla-passante al setaccio S3;

a1.2) terra locale S5: terra raccolta dalle locali cave di argilla-passante al setaccio S5;

a2.1) pietra triturata S2: conci di calcare marnoso provenienti da discarica archeologica-passante al setaccio S2 e tritati direttamente in cantiere;

a2.2) pietra triturata S4: conci di calcare marnoso provenienti da discarica archeologica-passante al setaccio S4 e tritati direttamente in cantiere;

a2.3) pietra triturata S5: conci di calcare marnoso provenienti da discarica archeologica-passante al setaccio S5 e tritati direttamente in cantiere;

a3.1) cocchiopesto rosso 2-10: cocchiopesto rosso fuso granulometrico 2-10;

a3.2) cocchiopesto rosso 0-4: cocchiopesto rosso fuso granulometrico 0-4 mm;

a3.3) cocchiopesto giallo 0-1: cocchiopesto giallo fuso granulometrico 0-1 mm;

a3.4) cocchiopesto giallo 0-2: cocchiopesto giallo fuso granulometrico 0-2 mm;

a3.5) cocchiopesto giallo 0-4: cocchiopesto giallo fuso granulometrico 0-4 mm;

a4) sabbia 0-2: sabbia di fiume fine, cat. GF85, fuso granulometrico 0-2 mm, cava in Loc. Pranu Cixiri, Fiume Tirso, Sili - Oristano (OR);

b1) calce idraulica naturale: calce Brigliadori Fernando, loc. Santarcangelo di Romagna (RN);

b2) grassello di calce: calce aerea CL 90-Sg, prodotta e commercializzata da Calcidrata S.p.A., stabilimento di Samatzai (CA);

c) acqua d'impasto: fornitura acqua potabile dalla vicina diga di Is Borroccus c/o acquedotto cittadino gestito

venivano "battute" con mazzapicchio al fine di riplasticizzare il composto e ridurre o eliminare le fessurazioni da ritiro che inevitabilmente si manifestano in presenza di malte contenenti alti tenori di terra in pasta (Tav. III). L'operazione è stata ripetuta anche il giorno successivo, entro le 15-18 ore dalla posa in opera. Va precisato che l'indurimento della malta è avvenuto piuttosto lentamente nel tempo, sia per le condizioni termo-igrometriche della camera del mastio, sia per la presenza del legante aereo; di norma, il processo si completa in 6-8 mesi dalla posa in opera. Entro i due giorni, le listature sono state graffiate con punteruoli lignei al fine di eliminare la malta in eccesso e conferire un aspetto "ruvido" alla superficie. Il consolidamento delle murature mediante interventi di scuci e cuci, invece, ha previsto la scarnitura delle vecchie malte ammalorate con l'onere della salvaguardia dei tratti in buono stato di conservazione, inoltre, la successiva spazzolatura umida con spazzole di saggina, la stuccatura delle commessure con la stessa malta utilizzata per le listature, la spazzolatura finale e la predisposizione per i trattamenti di protezione con sostituzione degli elementi in pietra non recuperabili e l'incremento di quelli completamente mancanti. Il consolidamento delle murature mediante interventi di rincocciatura ha invece interessato la ricostruzione di mancanze o lacune murarie⁴⁴ nella massa e nel volume, tramite l'inserimento di nuovi materiali compatibili con quelli presenti allo scopo di ripristinare la continuità della muratura. Tale lavorazione è stata limitata al solo paramento interno senza interessare l'intero spessore murario, coinvolgendo porzioni limitate di muratura. A differenza dello scuci e cuci, non ha previsto la rimozione delle parti di muratura degradate. L'operazione di rincocciatura si è resa necessaria, inoltre, per evitare il progredire e/o l'insorgenza dei fenomeni di degrado⁴⁵ che potevano attecchire all'interno della lacuna. Il compito strutturale dell'intervento è stato quello di assolvere un ruolo di sostegno e miglioramento dell'ingranamento trasversale della muratura, oltre che quello di ripristinare la continuità dei piani di carico aumentando il contatto tra conci sovrapposti. A tale scopo, i materiali utilizzati sono stati selezionati in base a caratteristiche di resistenza meccanica a compressione tale da garantire la stabilità della struttura, infatti, essendo stati recuperati in loco dalle discariche dei materiali di crollo degli scavi passati, questi sono risultati pienamente compatibili e simili, per natura e dimensioni, a quelli originali. Anzitutto, sono state rimosse dalle cavità tutte le parti incoerenti o eccessivamente degradate tramite l'utilizzo di mezzi manuali⁴⁶ avendo cura di non sollecitare troppo la struttura ed evitando di provocare ulteriori danni. Le cavità sono state quindi pulite ricorrendo a mezzi manuali quali spazzole, raschietti o aspiratori in modo da rimuovere i detriti polverulenti e grossolani senza l'uso di getti d'acqua ma esclusivamente spazzole umide. La posa in opera dei nuovi materiali è stata eseguita a mano avendo cura di bloccare meccanicamente il concio stringendolo alla muratura esistente mediante zeppe litiche cuneiformi. In questa operazione la malta di connessione utilizzata per rapporto legante-aggregato e granulometria dell'aggregato ha avuto la stessa ricetta utilizzata per le listature interne. Dopo la messa in opera del materiale di risarcitura, è stata eseguita la finitura e la stilatura dei giunti soprattutto in prossimità dei bordi d'unione tra il vecchio e il nuovo al fine di evitare proprio in questi punti delicati discontinuità strutturali. L'intervento di rincocciatura ha interessato in totale l'inserimento di n. 10

da Abbanoa S.p.A., Comune di Isili (CA);

d) fibre polipropileniche: microfibre diam=19,8 µ, L=6 mm, tipo iSTRiCE, mod. iMICRO, commercializzate da Fili&Forme srl, S. Cesario s/P. (MO).

44 Generate ad esempio da crolli o distruzioni, nel caso specifico dal deterioramento dei piani di carico.

45 Infiltrazioni d'acque meteoriche, di radici infestanti, etc.

46 Martelli, scalpelli o punte di legno.

nuovi blocchi. Durante le fasi del cantiere, essi sono stati identificati con numerazione progressiva dall'alto in basso con numeri iscritti all'interno di triangoli bianchi e rossi in ragione delle dimensioni del concio. Tutti i blocchi sono stati marcati con contrassegni identificativi realizzati con n. 2 incisioni parallele eseguite con smerigliatrice angolare sul lato non esposto del concio; in particolare, i conci di maggiori dimensioni hanno avuto un contrassegno con n. 4 solchi paralleli. Inoltre, l'intervento è stato denunciato realizzando la nuova porzione di muratura in leggero sottosquadro, tenendo presente però che la non complanarità delle due superfici, costituirà una zona facile da degradarsi. Il consolidamento delle murature mediante incollaggio con resine epossidiche, invece, ha avuto due fasi operative realizzate in cantiere in modo distinto: l'incollaggio⁴⁷ e la stuccatura⁴⁸. Gli incollaggi strutturali hanno interessato conci fratturati di piccole e medie dimensioni⁴⁹. Rispetto alla previsione preliminare in cui sono stati mappati e contrassegnati n. 198 conci con problematiche legate alla fratturazione trasversale passante e non, solo n. 12 conci sono stati oggetto di incollaggio in quanto presentavano seria probabilità di distacco e caduta verso l'interno della camera. L'analisi dello stato fessurativo ha mostrato plessi fessurativi per schiacciamento e taglio per carico concentrato che per la maggior parte delle lesioni si sono originati, con molta probabilità, sin dalla costruzione della torre a seguito di assestamento meccanico dei piani di carico o incremento differenziale dei carichi nel tempo. Diverse fratture sono risultate superficiali senza pericolo di distacco o perdita di materiale. In molti casi, tali distacchi sono stati contenuti interponendo zeppe incastrate meccanicamente e ben allettate ai blocchi contermini. Si è quindi operato nel senso di preservare da possibili danni i futuri visitatori. La resina impiegata è stata di tipo epossidica bicomponente fluida, nello specifico EPO 155⁵⁰, dotata di buona adesività ed elevata flessibilità, indicata per incollaggi elastici su una grande varietà di supporti quali pietra, cotto, metallo e legno. Poiché i conci fratturati si trovavano in opera, è stato necessario colare la resina direttamente nelle fratture da risaldare. Le resine epossidiche hanno però il grosso svantaggio di aderire molto bene alla pietra, anche ai bordi esterni delle fratture, macchiandoli irrimediabilmente. Occorre quindi mascherare i bordi con prodotti reversibili nei confronti della pietra e nel contempo non aggredibili dalla resina. I "salva bordi" sono stati realizzati con lattice di gomma naturale prevulcanizzato stabilizzato con ammoniaca⁵¹, con proprietà peculiari per la preparazione di matrici e stampi. La gomma ottenuta è risultata stabile alla luce, all'acqua, trasparente, flessibile ed elastica. Applicato il lattice (anche per più strati sovrapposti sullo stesso bordo) con l'ausilio di spugna e pennello, si è proceduto a creare una "tasca" per la colatura della resina. La tasca è stata realizzata con plastilina e pongo bianchi del tipo da scultori. Infine, sono state fissate due cannule, una sopra la tasca in cui colare la resina per mezzo di siringa sterile monouso, e una in basso di controllo della quantità e direzione del liquido introdotto (Tav. II). Successivamente alla pulitura e bagnatura con acqua deionizzata, è stata effettuata l'applicazione dell'impasto in strati separati e successivi secondo la profondità della lacuna da riempire. La stuccatura è stata eseguita utilizzando piccole spatole a foglia o cazzuolini, evitando con cura di

47 Per incollaggio si intende operare una riadesione di superfici o parti di superfici staccate o completamente staccate.

48 La stuccatura ha lo scopo di colmare le lacune e le discontinuità (parziale mancanza di giunti di malta, fratturazione del concio di pietra etc.) presenti sulla superficie della pietra (qualsiasi sia la loro origine), così da "unificare" la superficie ed offrire agli agenti di degrado un'adeguata resistenza e durabilità.

49 Media cm 20x30x20.50 Indurente: K 156, rapporto in peso 50%. Aspetto: liquido trasparente. Viscosità del sistema: 120-240 mPas. Tempo di lavorabilità: 30 min. a 25°.

51 Rewultex MR. Aspetto: liquido lattiginoso bianco. Contenuto secco: 61 ± 1%. Contenuto ammoniaca: < 1% pH: 10,5 ca. Viscosità: 50-100 cps ca.

intaccare le superfici non interessate (sia con la malta, sia con gli attrezzi).

Le stuccature, invece, hanno riguardato i conci precedentemente incollati con le resine epossidiche. Infatti, la tasca realizzata con la plastilina è andata a penetrare nella frattura per alcuni centimetri⁵², pertanto, una volta rimossa, la superficie dell'incollaggio si trovava in sottosquadro⁵³. La scelta di operare la stuccatura a livello, invece che in leggero sotto-quadro nella misura di qualche millimetro (così da consentirne la distinguibilità), rispondeva meglio ai criteri conservativi⁵⁴. L'adesivo epossidico è stato distribuito, per quanto possibile, solo al cuore della lesione, mentre le parti in vista sono state stuccate in superficie con malta di calce idraulica naturale (NHL5) e grassello di calce adeguatamente stagionato (6-36 mesi⁵⁵). Il composto è stato caricato con aggregati tipo sabbia silicea (granulometria massima mm 0,3) e polvere di pietra dello stesso litotipo⁵⁶ triturrata a mano e con mulini⁵⁷ direttamente in cantiere, così da avere una granulometria simile a quella del materiale originale, senza dover ricorrere ad ossidi di terre naturali per conguagliare il colore delle stuccature⁵⁸. Durante il cantiere, sono state realizzate campionature di malta da stucco caricate con argilla locale⁵⁹ cavata dagli stessi luoghi nei quali, molto probabilmente, le popolazioni nuragiche cavarono l'argilla per realizzare la malta di terra per l'allettamento dei conci⁶⁰. In tutte le ricette sono state inserite fibre polipropileneche utili per le sollecitazioni indotte di trazione.

Il rapporto tra legante-aggregato è stato 1:3 secondo la seguente ricetta: 0,5 parti di grassello di

52 Si consideri che le dimensioni medie dei blocchi sono di cm 40x30 (testa) x 70-120 (profondità), di conseguenza, le fratture passanti hanno anch'esse dimensioni rilevanti. I lembi spesso distano tra loro 1-2 centimetri.

53 Di per sé questo non sarebbe un problema ma, in sede di rilascio del nulla osta al progetto esecutivo, l'Ente di tutela ha espressamente chiesto che la resina non fosse a vista. Pertanto, l'operazione di stuccatura ha avuto il preciso compito di rispettare questa prescrizione.

54 Sovente, infatti, le integrazioni sottolivello creano percorsi preferenziali per le acque battenti o di infiltrazione innescando pericolosi processi di degrado.

55 Se non si ha certezza sulla stagionatura si può aggiungere un minimo quantitativo di resina acrilica in emulsione.

56 La pietra locale, proveniente dalle discariche dei precedenti cantieri di scavo e restauro archeologico, sono state triturate in cantiere e setacciate con vagli a maglie progressivamente più strette fino ad ottenere il passante a mm 1,0. Prima del suo impiego, l'aggregato è stato ventilato per eliminare le frazioni troppo fini che non essendo facilmente controllabili dal punto di vista quantitativo, avrebbero certamente creato problemi ad essere ricoperti dal gel del legante.

57 I conci di medie dimensioni provenienti dalle discariche sono stati triturati presso lo stabilimento delle cave di Segariu. L'aggregato così ottenuto presentava una granulometria 5-100. La rifinitura fino alla granulometria 0-4 è stata eseguita in cantiere con l'ausilio di un mulino centrifugo a secco cingolato.

58 Non è stato necessario il loro utilizzo in quanto, essendo l'aggregato predominante costituito dalla pietra locale macinata, questa ha conferito direttamente una colorazione e lucentezza simile alla pietra trattata. Le miscele secche di aggregato sono costituite da granuli del diametro di circa 0,10-0,30 mm per un 25%, di 0,50-1,00 mm per un 30% e di 1,00-2,00 mm per il restante 45%.

59 Trattasi di terra locale con alto tenore di argilla.

60 A dispetto di quanto spesso si trova in letteratura, le costruzioni nuragiche complesse non erano costruite con conci posati a secco, ma gli stessi venivano regolarmente allettati con malte di terra e in alcuni casi i paramenti venivano rivestiti di intonaco.

calce⁶¹; 0,5 parti di calce idraulica naturale⁶² a carica pozzolanica NHL5-2Z⁶³; 2 parti di pietra locale triturrata⁶⁴; 1 parte di sabbia silicea normale⁶⁵. Gli impasti dello stucco⁶⁶ sono stati messi in opera piuttosto asciutti in modo da favorire la pulitura dei lembi della fessura, inoltre, sono stati concepiti per esplicare in opera valori di resistenza meccanica e modulo elastico inferiori a quelli del supporto, pur rimanendo con ordini di grandezza non eccessivamente lontani da quelli del litotipo in opera.

3.4 Protezione

Gli interventi protettivi sono obbligatoriamente rivolti ai materiali lapidei artificiali consolidati in precedenza⁶⁷. Le malte cementizie oggetto di passati interventi conservativi sono state quindi trattate con protettivo idrorepellente a base di copolimeri di resina siliconica⁶⁸: un concentrato di silicone diluibile in solventi organici basato su una miscela di silani e silossani. I vantaggi tecnici derivanti da un trattamento silanico risultano sostanzialmente incentrati su due aspetti: la barriera creata nei confronti dell'acqua esterna⁶⁹ e la possibilità, tuttavia, di far fuoriuscire l'umidità interna⁷⁰ attraverso i pori che rimangono comunque "sgombri" da ogni occlusione.

-
- 61 Legante aereo (CL 90-Sg UNI EN 459-1), ottenuto dalla cottura a 900°C dei migliori calcari cristallini sardi. Consistenza: pasta. Composizione: idrossido di calcio con eccesso di acqua. Colore: bianco. Reazione al fuoco: classe 0 (incombustibile). Confezioni: sacchi in polietilene con marchio di fabbrica da kg 30 in container metallico da 1 t. CaO+MgO ($\geq 90\%$): 98,4%; MgO ($\leq 5\%$): 0,74%; CO₂ ($\leq 4\%$): 0,72%; SO₃ $\leq 2\%$. Temperatura di utilizzo: da +5°C a +40°C.
- 62 Fornace Briigliadori, Santarcangelo di Romagna, Rimini. Perdita al fuoco: 19,60. Al₂O₃: 8,50; Fe₂O₃: 2,50; Mg: 0,75; Si: 28,30; CaO: 39,50. Resistenza meccanica (con sabbia 0-6 mm pulita priva di limo e a granulom. ben distribuita rapp. 1-2,5): 28 gg. resistenza a compress. 2,50 MPa; 60 gg. resistenza a compress. 6 MPa; 120 gg. resistenza a compress. 10 MPa.
- 63 UNI EN 459-1:2010, calci da costruzione: calce idraulica naturale con materiali aggiunti (NHL-Z) in polvere, cioè quelle calci che contengono un'aggiunta fino ad un massimo del 20% in massa di materiali idraulizzanti a carattere pozzolanico (pozzolana, coccio pesto, trass) contrassegnate dalla lettera "Z" nella loro sigla.
- 64 Litotipo: marna e calcare organogeno locale. Granulometria: 0-2 mm.
- 65 Conforme ISO 679, prodotta dalla *Société Nouvelle du Littoral*, Leucate (France). Square mesh Size (mm)/Cumulative (%) retained: 0.08/99 \pm 1; 0.16/87 \pm 5; 0.50/67 \pm 5; 1.00/33 \pm 5; 1.60/7 \pm 5; 2.00/0.
- 66 Sono stati effettuati anche diversi campionamenti di stucature preparate utilizzando uno stucco a base di elastomeri fluorurati che non sono stati utilizzati. Elastomero copolimero esafluoropropene-fluoruro di vinilidene (NH). Nomi commerciali Akeogard CO/Akeogard Stucco.
- 67 La natura chimica dei silicati è tale per cui esercitano soltanto un'azione consolidante, ma non hanno alcun effetto protettivo nei riguardi dell'acqua, pertanto, al trattamento di superfici esterne con un silicato, generalmente, si deve far seguire l'applicazione di una sostanza idrorepellente, salvaguardando le caratteristiche di traspirabilità e di permeabilità al vapore acqueo dei materiali lapidei, garantendo la conservazione nel tempo, nel rispetto della loro fisicità.
- 68 Resina Siliconica Wacker Silres ® BS 290. Densità a 25 °C: 1.05 g/cm³ (DIN 51757). Punto d'inflammabilità: 42 °C (DIN 51755). Viscosità, dinamica: 15 - 19 mPa s (DIN 51562). Contenuto silano/silossano: ca. 100%. Diluizione 5%.
- 69 Nel nostro caso quella piovana.
- 70 Quella, per esempio, di risalita capillare nei muri dalle fondazioni o dal terreno.
-

4. Lavori esterni al mastio

4.1 Pulitura e trattamento della vegetazione spontanea

Prima di procedere esternamente al mastio con la pulitura ed il trattamento della vegetazione spontanea, si è effettuato l'accantieramento. Esso ha previsto la realizzazione del ponteggio presso il paramento Est⁷¹, utile al diserbo e alla disinfezione dell'olivastro oltre che alla realizzazione della copertina di protezione della camera, inoltre del ponteggio sul lato Sud (per il parziale ripristino della lacuna a "V") e di quello sul lato Nord⁷². Tutti i ponteggi sono stati ancorati al monumento per mezzo di sistemi a contrasto nelle murature del tipo a cravatta, vitone e cunei lignei, senza utilizzo di sistemi a tassello. Quanto alle operazioni di pulitura, devitalizzazione e asportazione della vegetazione spontanea, le criticità maggiori erano date dalla considerevole presenza di vegetazione su paramenti verticali e creste murarie, inoltre, da un olivastro cresciuto alla sommità della torre, già devitalizzato nel 2007, che comprometteva un ampio settore del paramento esterno orientale spanciandolo verso l'esterno con la pressione delle radici. Gli interventi sono iniziati col decespugliamento ed il diserbo realizzato mediante sfalcio manuale di erbe, sterpaglie ed arbusti, tagliati alle radici in vicinanza e soprattutto in corrispondenza delle strutture archeologiche. Un'altra fase ha riguardato la disinfestazione mediante applicazione di biocidi preventivamente campionati ed approvati, con rimozione manuale della vegetazione superiore, previo fissaggio delle superfici circostanti in pericolo di caduta. Nel periodo di massima attività vegetativa, è stato eseguito un diserbo selettivo in post-emergenza per il controllo delle infestanti sull'olivastro del prospetto Est e sul lentisco del prospetto Sud con lo scopo di asportare dai materiali lapidei, in particolare dalle commessure tra i giunti di malta dei paramenti murari, vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea. L'intervento sull'olivastro è stato sia di tipo chimico che meccanico. Si è anzitutto proceduto ad irrorare la chioma con un diserbante fogliare sistemico totale, specifico per infestanti annuali, biennali e perenni, nonché per arbusti e alberi⁷³. Lo stesso prodotto è stato contemporaneamente iniettato direttamente sul fusto per mezzo di cannule inserite in appositi fori alimentate da piccoli serbatoi⁷⁴. Le cannule sono state fissate al fusto e sigillate lungo i bordi con mastice per innesti e potature. Il periodo di applicazione è stato sufficientemente lungo⁷⁵ tale da consentire al diserbante di essere veicolato dall'apparato fogliare fino alle radici (completamente immerse nelle murature e

71 Il ponteggio sul lato Est era caratterizzato da n. 3 campate e n. 3 impalcati per un'altezza totale di metri 6,5, mentre la sopraelevazione ha comportato l'inserimento di ulteriori n. 2 impalcati fino a raggiungere la sommità della *tholos* di metri 9 dal piano di partenza.

72 Il ponteggio sul lato Nord, provvisto di rampa, si sviluppava su unica campata (un castelletto) e n. 2 impalcati per un'altezza di metri 5. Infine, il ponteggio sul lato Sud, presentava n. 3 campate e n. 3 impalcati per un'altezza complessiva di metri 6.50 dal piano di posa.

73 Il prodotto utilizzato è stato il Glifosate, N-(*fosfonometil*)glicina, C₃H₈NO₅P; nomi commerciali: Roundup, Rodeo, Spasor, Panthox e altri. È un analogo aminofosforico della glicina, inibitore dell'enzima 3-fosfoshikimato 1-carbossiviniltransferasi. Questa molecola inibisce un enzima prodotto dai vegetali (enzima EPSPS) bloccando la produzione di 3 aminoacidi aromatici essenziali per la sintesi delle proteine. Dal momento che tale enzima è presente solamente nel regno vegetale, il Glifosate agisce solo sugli organismi vegetali. A differenza di altri prodotti, viene assorbito per via fogliare (prodotto sistemico), ma successivamente traslocato in ogni altra posizione della pianta per via prevalentemente floematica. L'assorbimento del prodotto avviene in 5-6 ore e il disseccamento della vegetazione è visibile in genere dopo 10-12 giorni.

74 Siringhe sterili monouso da 60 ml.

75 Da 6 a 8 mesi.

quindi protette verso interventi meccanici esterni) dove ha potuto agire fino in profondità. Diversamente a quanto eseguito nei precedenti interventi, l'apparato fogliare è stato rasato solo dopo la sua manifesta essiccazione⁷⁶, per poi proseguire col metodo ad iniezione già applicato fino alla chiusura del cantiere. A distanza di circa 12 mesi non si sono riscontrati nuovi germogli delle specie trattate⁷⁷.

La rimozione delle radici delle ceppaie, invece, non è stata attuabile stante la loro profonda penetrazione nelle murature; questo fatto, nel tempo, creerà sicuramente problemi statici per via dei vuoti che si formeranno a seguito della loro marcescenza e polverizzazione. Considerato che l'olivastro è un legno molto duro che marcisce lentamente, si ipotizza che il problema sarà manifesto non prima di un secolo e mezzo.

4.2 Consolidamento

Il consolidamento esterno al mastio ha interessato strettamente la parziale risarcitura della lacuna a "V" del prospetto Sud. Tale intervento si è reso necessario in corso d'opera per limitare le infiltrazioni di acque meteoriche dall'esterno ed il conseguente percolamento sull'architrave dell'ingresso in cemento armato, con successivo trasporto e deposito di sali all'interno della camera, localizzabili in punti e aree limitrofe allo stesso architrave.

Rispetto all'autorizzazione concessa, la risarcitura è stata limitata a soli n. 3 filari invece dei n. 4 approvati. Le motivazioni sono strettamente legate alla mancanza di conci idonei al completamento del quarto filare. Infatti, nonostante la cernita delle discariche degli anni '70 e '90, l'individuazione e numerazione di n. 45 conci dagli allineamenti del 1998 e ulteriori n. 15 conci dai crolli intorno al mastio, non è stato possibile individuare altri conci che, per dimensioni, forma e tonalità (patina del tempo) fossero adeguati all'intervento progettato.

L'operazione è stata eseguita mediante lavorazioni di rincocciatura di murature con inserimento di n. 10 blocchi tra quelli autorizzati, scuci e cucì a livello di alcune zeppe del paramento, stilatura dei giunti e copertina sulla sommità della cresta muraria realizzata.

Dopo avere effettuato la scelta dei blocchi e riportato a terra la conformazione in pianta ed elevato della volumetria da risarcire, è stata effettuata una presentazione fuori opera dell'apparecchiatura muraria per verificarne aspetti statici, estetici e di impatto formale (fig. 1).

Successivamente, i blocchi sono stati riportati a terra in posizione orizzontale per singoli piani di giacitura, quindi, collocati in opera a partire dai filari di base mantenendo inalterato il raggio di curvatura della torre. I blocchi sono stati movimentati con l'ausilio di mezzi meccanici di sollevamento, imbragati con fasce o tramite tasselli a rendere, posizionati con l'ausilio di paranco fissato allo stesso mezzo meccanico e palanchini per la messa a dimora (fig. 3).

Come nelle altre operazioni di rincocciatura, l'equilibrio statico è stato affidato prevalentemente a incatenamenti meccanici dei conci per interposizione di zeppa a contrasto sulle murature laterali, affidando alla malta solo un compito di allettamento dei blocchi e occlusione degli interstizi minuti oltre che la stilatura dei giunti esposti.

La parte sommitale dell'integrazione muraria è stata rivestita e protetta con una copertina realizzata con la stessa malta delle stilature (fig. 2).

76 Infatti, se l'apparato fogliare viene tagliato a raso, la pianta amplifica l'attività vegetativa (nuovi germogli) nel tentativo di sopravvivere rendendo poi inefficace il trattamento del fusto per iniezione diretta del diserbante.

77 Nei primi mesi del 2014, sono apparsi i primi germogli di una pianta di fico, probabilmente cresciuta a seguito di trasporto di semi da parte di volatili/roditori, in zona limitrofa a quella trattata. E' in via di programmazione un intervento di completamento che sia risolutivo anche nei confronti di questa nuova ceppaia.

4.3 Protezione

La protezione all'esterno del mastio ha interessato l'estradosso della *tholos* e si è reso necessario al fine di limitare le infiltrazioni meteoriche che copiosamente attraversavano tutto lo spessore murario fino all'intradosso e all'interno della camera lungo le pareti Est e Nord. Pertanto, sulla sommità della torre, a livello dell'originario piano di calpestio della camera del primo piano, si è realizzata una copertina di malta di terra cruda stabilizzata con leganti idraulici naturali e aerei.

Prima di eseguire la copertina, si è proceduto alla pulitura del piano di posa mediante decespugliamento, diserbo e raccolta di materiale superficiale incoerente, quale vecchie malte utilizzate in restauri precedenti. Quindi, è stato steso uno strato di geotessile non tessuto del peso di 500 g/mq.

Su questo, è stato posizionato uno strato aerante di risetta locale 0-3 e paglia sminuzzata.

Sullo strato aerante così definito, si è gettata in opera la copertina di protezione a formazione di uno strato idrofobizzante delle creste murarie.

Le malte utilizzate sono state opportunamente campionate prima della loro messa in opera⁷⁸ (figg. 4-5).

Il getto è stato eseguito in 3 strati successivi⁷⁹: strato di base⁸⁰, strato di collegamento⁸¹ e strato di copertura⁸², posti in opera a distanza di circa 15 ore l'uno dall'altro, fresco su fresco, e dello spessore medio finito, dopo successive costipazioni, non inferiore a 50 mm.

Sul conglomerato ancora umido, e comunque dopo un primo indurimento⁸³, è stata eseguita la battitura a umido con mazzapicchio di legno e oclusione di eventuali fessurazioni da ritiro, "segnandola" con spazzola di saggina o tamponandola con tela di juta ruvida. Infine, la superficie è stata riplasticizzata e levigata con spugna e acqua.

78 In tutto sono state testate n. 4 ricette per lo strato di base denominate SB1 e SB2 con fibre e SB1 e SB2 senza fibre, n. 2 ricette per lo strato di collegamento denominate SC1 e SC2, e n. 4 ricette per lo strato di copertura denominate SCOP1, SCOP2, SCOP5 e SCOP6. Le ricette validate e quindi utilizzate sono state SB2, SC2 e SCOP2.

79 Dallo strato di base verso lo strato di copertura: decresce la granulometria dell'aggregato, diminuisce fino ad annullarsi il contenuto in terra, aumenta il contenuto di cocciopesto e aumenta il tenore di legante.

80 Strato di base [SB]-sottofondo magro (rapporto aggregato-legante a/b=6,25:1), composto dalle seguenti parti in volumi: a) aggregato [12,5]-a1) terra locale S5 [2,0]; a2) terra locale S3[1,0]; a3) pietra triturrata S4 [1,0]; a4) pietra triturrata S2 [2,0]; a5) cocciopesto rosso 2-10 [3,0]; a6) cocciopesto rosso 0-4[1,0]; a7) sabbia 0-2 [2,5]. b) legante [2,0]-b1) calce idraulica naturale [1,0]; b2) grassello di calce [1,0]. c) acqua d'impasto [6,0]. d) fibre polipropilene [1/20].

81 Strato di collegamento [SC] - strato intermedio legante (rapporto aggregato-legante a/b=5:1), composto dalle seguenti parti in volumi: a) aggregato [12,5] - a1) terra locale S5 [0,5]; a3) pietra triturrata S5 [0,5]; a4) pietra triturrata S4 [1,5]; a5) cocciopesto giallo 0-2 [1,0]; a6) cocciopesto rosso 0-4 [4,0]; a7) sabbia 0-2 [5,0]. b) legante [2,5] - b1) calce idraulica naturale [2,5]; b2) grassello di calce [0,5]. c) acqua d'impasto [6,5]. d) fibre polipropilene [1/20].

82 Strato di copertura [SCOP] - strato a finire idrofobo (rapporto aggregato-legante 3:1), composto dalle seguenti parti in volumi: a) aggregato [7,5] - a1) pietra triturrata S5 [1,0]; a2) pietra triturrata S4 [0,5]; a5) cocciopesto giallo 0-1 [2,5]; a6) cocciopesto giallo 0-4 [1,0]; a7) sabbia 0-2 [2,5]. b) legante [2,5] - b1) calce idraulica naturale [2,0]; b2) grassello di calce [0,5]. c) acqua d'impasto [4,25]. d) fibre polipropilene [1/30].

83 Appena questo ha "tirato", ma essendo ancora modellabile.

La stessa operazione è stata ripetuta dopo circa 4-5 ore, così anche il giorno successivo.

Carmine Megna
Architetto - Università degli Studi "Suor Orsola Benincasa" Napoli
carmine.megna@archiworld.it, megna.unisob@gmail.com

Alessandra Saba
Archeologa
saba.alessandra@tiscali.it

Nicola Sanna
Archeologo
nicolasannasemata@gmail.com

Diego Angelo Cristian Schirru
Ingegnere e Architetto Conservatore
Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio Politecnico di Milano
diego.schirru@ianus.co

Bibliografia

- ALESSANDRINI -PASSETTI 1991: G. Alessandrini, A. Passetti, *Elenco ragionato delle Raccomandazioni NorMaL*, in Arkos, 1991, 14, 26-34.
- ALESSANDRINI - PASSETTI 2001: G. Alessandrini, A. Passetti, *Norme UNI Beni Culturali-NorMaL e loro classificazione, Nuovi documenti*, in Arkos, 2002, 2, 53-55.
- ALESSANDRINI *et alii* 2001: G. Alessandrini, G. Biscontin, R. Peruzzi, *La conservazione dei materiali lapidei: diagnosi di degrado ed intervento*, in Bellini A. (a cura di), *Tecniche della Conservazione*, Ed. Franco Angeli Ex Fabrica, Milano 2001.
- AMOROSO 1995: G. Amoroso, *Il restauro della pietra nell'architettura monumentale*, Ed. Flaccovio, Palermo 1995.
- AMOROSO-CAMAITI 1997: G. Amoroso, M. Camaiti, *Scienza dei materiali e del restauro*, Ed. Alinea, Firenze 1997.
- BELLINI 1985: A. Bellini, *Tecniche della conservazione*, collana Ex Fabrica, Franco Angeli, Milano 1985.
- CARBONARA 1996: G. Carbonara, *Teorie e metodi del restauro*, in G. Carbonara (a cura di) *Trattato di restauro architettonico*, vol. I, Torino 1996.
- CARBONARA 1997: G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Napoli 1997.
- CHIARI 1999: G. Chiari, *Conservazione in situ di superfici decorate in terra cruda*, in Incontri di restauro n. 3, Atti dell'Incontro *Consolidanti e protettivi in uso sui materiali inorganici porosi di interesse artistico e archeologico*, Trento 1999.
- COLLEPARDI-COPPOLA 1996: M. Colleparidi, L. Coppola, *Materiali negli Edifici Storici: Degrado e Restauro*, Ed. Enco, Spresiano (TV) 1996.
- COSSU-SABA 2000: T. Cossu, A. Saba, *Il nuraghe Is Paras*, Comune di Isili-XIII Comunità

- Montana Sarcidano- Barbagia di Seulo-Ministero per i Beni e le Attività Culturali- Soprintendenza Archeologica per le Province di Sassari e Nuoro, Ediz. La Stella, Isili (Ca) 2000.
- LILLIU 1962: G. Lilliu, *I nuraghi torri preistoriche della Sardegna*, Cagliari 1962, 166-168.
- MARINO 2005: L. Marino, *Edifici allo stato di rudere. La protezione delle creste*, in L. Binda (a cura di), *Dalla conoscenza e dalla caratterizzazione dei materiali e degli elementi dell'edilizia storica in muratura ai provvedimenti compatibili di consolidamento*. Atti del Workshop presso il DIS del Politecnico di Milano, 16-17 dicembre 2004, Milano 2005, 39-43.
- MARINO 2009: L. Marino, *Materiali per un atlante delle patologie presenti nelle aree archeologiche e negli edifici ridotti allo stato di rudere*, Ed. Alinea, Firenze 2009.
- MARINO 2013: L. Marino, *Il rischio nelle aree archeologiche*, Ed. Alinea, Firenze 2013.
- MELONI *et alii* 2012: P. Meloni, D. Isola, G. Carcangiu, A. Bonazza, L. Selbmann, L. Zucconi, F. Manca, R. Faedda, O. Cocco, G. Toreno, A. Murru, *Weathering e vulnerabilità di materiali lapidei in contesti urbani: il cimitero storico di Cagliari*, in G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *La conservazione del patrimonio architettonico all'aperto superfici, strutture, finiture e contesti*, 28° Convegno Internazionale Scienza e Beni culturali, Bressanone 10-13 luglio 2012; Marghera (VE) 2012.
- MORAVETTI 1985: A. Moravetti, *Isili (Nuoro). Loc. Nuraghe Is Paras*, in *I Sardi*, Jaca Book, Milano 1985, 202-210.
- MORAVETTI 1996: A. Moravetti, *Nuraghe Is Paras (Isili)*, *Preistoria e Protostoria*, Guide Archeologiche, vol. 2, Forlì 1996, 179-185.
- PULGA 2008: S. Pulga, *La conservazione delle strutture archeologiche: storia, problematiche e materiali*, Ed. Alinea Firenze, 2008.
- SABA 2000a: Alessandra Saba, *Le statue-menhir di Isili*, in *Studi Sardi*, vol. XXXII, Cagliari 2000, 111-164.
- SABA 2000b: Alessandra Saba, *Le stele figurate di Isili (Nuoro)*, in M. Sanges (a cura di), *L'eredità del Sarcidano e della Barbagia di Seulo. Patrimonio di conoscenza e di vita*, Ediz. B&P/Blackwood & Partners, Sassari 2000, 39-42.
- SABA 2011: Alessandra Saba, *Il nuraghe Is Paras di Isili (Ca): interventi di consolidamento e restauro del mastio (1976-2007)*, in L. Marino (a cura di), *Bollettino del Gruppo di Ricerca sul restauro archeologico, conservazione e manutenzione di edifici allo stato di rudere dell'Università di Firenze*, Dipartimento di Costruzioni e Restauro dell'Università di Firenze, n. 2/2011, ALINEA Editrice, Firenze 2011, 43-45.



Tav. II - ISILI - Nuraghe *Is Paras*. Procedura di stuccatura: applicazione del salva bordo; inserimento delle cannule; realizzazione della tasca di plastilina; iniezione della resina epossidica (foto Alessandra Saba).



Tav. III - ISILI - Nuraghe *Is Paras*. Riplasticizzazione delle malte mediante battitura con mazzapicchio e raschiatura delle commessure con punteruolo ligneo (foto Alessandra Saba).



Fig. 1 - ISILI - Nuraghe *Is Paras*. Procedura di presentazione dell'apparecchio murario, soluzione provvisoria (foto Alessandra Saba).



Fig. 2 - ISILI - Nuraghe *Is Paras*. Integrazione della lacuna *post operam* (foto Alessandra Saba).



Fig. 3 - ISILI - Nuraghe *Is Paras*. Posizionamento del concio n. 26 (foto Alessandra Saba).



Fig. 4 - ISILI - Nuraghe *Is Paras*. Formatura dei campioni di malta dello strato di collegamento da sottoporre a test di durabilità (foto Alessandra Saba).



Fig. 5 - ISILI - Nuraghe *Is Paras*. Posa in opera dei campioni dello strato di base SB (foto Alessandra Saba).