



Foto aérea de Husn y Qaryat Salūt desde el dron / Aerial shot of Husn and Qaryat Salūt taken by the drone

Albañilería tradicional y restauración arqueológica. El caso de Salūt, Omán

Traditional masonry and archaeological restoration. A case study from Salūt, Oman

Stefano Bizzarri^{1,2}, Michele Degli Esposti^{1,3}, Caterina Careccia^{1,4}, Tiziana de Gennaro^{1,5}, Elisa Tangheroni¹

1. Italian Mission to Oman (IMTO); 2. DZAA Architects; 3. Institute of Mediterranean and Oriental Cultures - Polish Academy of Sciences;
4. Italian Ministry of Culture (MIC); 5. Italian Agency for development cooperation (AICS)

Palabras clave: Antiguos muros de adobe, documentación 3D, enlucido de barro, patrimonio de tierra, transmisión de conocimiento

Keywords: Ancient mudbrick walls; 3D documentation; mud plaster; earthen heritage; know-how transmission

Este artículo describe la restauración de las estructuras de adobe descubiertas en el sitio de Salūt, en el centro de Omán, que datan de la Edad del Hierro (c. 1300-300 a. C.). En esta región, la arquitectura tradicional de tierra ha representado la técnica de construcción clave hasta tiempos modernos. El concepto tradicional de mantenimiento continuo es la única forma de preservar eficazmente las estructuras antiguas. Por otra parte, se experimentó con revocos de barro de diversa composición que pudieran conferir un mejor aspecto y una menor carga estática en las estructuras. La estrategia de trabajo pretendía ser sostenible y se fijaba como objetivo documentar y tratar de revivir la arquitectura tradicional de tierra, actualmente en peligro por el desinterés de las generaciones más jóvenes.

This paper shows the restoration work carried out on the mudbrick structures uncovered at the Iron Age (c. 1300-300 BC) site of Salūt, in central Oman. In the region, traditional earthen architecture represented the key building technique until modern times. The traditional concept of constant upkeep is arguably the only way of efficiently preserving ancient structures. However, different mud plaster compositions were tested which could provide a better aspect and a lower static load on the structures. The work strategy was meant to be sustainable from an economic, ecological, and sociological point of view, as it also aimed at documenting and hopefully reviving the traditional earthen architecture currently endangered by the disinterest of younger generations.

*Texto original: inglés. Traducción al castellano: autores.

*Original text: English. Spanish translation: authors.

1. INTRODUCCIÓN

Entre 2004 y principios de 2019, la Misión Italiana a Omán (IMTO - Universidad de Pisa) ha investigado los restos del yacimiento de Salūt, en el centro de Omán, que datan de la Edad del Hierro (Avanzini y Degli Esposti 2018), consistentes en construcciones de adobes, recibidos con arcilla y originalmente enlucidos con barro, en línea con una tradición arraigada en el sudeste de Arabia desde al menos el cuarto milenio a. C.

La arquitectura de tierra ha sido ampliamente reconocida como un campo complejo para la restauración (Alva Balderrama and Chiari 1995: 103), que requiere el desarrollo de un proyecto específico de conservación y restauración basado en la estrecha colaboración entre arquitectos y arqueólogos, que se inicia con el descubrimiento mismo de las estructuras antiguas. El estudio detallado de sus características originales, en efecto, resulta de capital importancia para comprender los restos arquitectónicos y, en consecuencia, para saber orientar adecuadamente las subsiguientes intervenciones. Para el examen de los restos se utilizaron técnicas de documentación modernas que proporcionaron resultados rápidos y a la vez precisos.

La sostenibilidad económica y ecológica de los trabajos de restauración era esencial para el proyecto, como también lo fue el cumplimiento de las directrices de ICOMOS / UNESCO: «el enfoque multidisciplinar, la atención a las condiciones de seguridad, la delimitación de las causas de los daños y deterioro, la elección de medidas correctivas reversibles y el control de la eficiencia de las intervenciones ...» (ICOMOS 2003; Petzold 2004). Ello implicaba el uso

1. INTRODUCTION

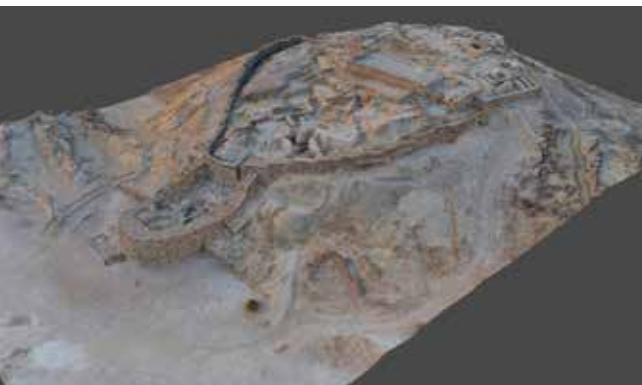
Between 2004 and early 2019, the Italian Mission to Oman (IMTO - University of Pisa) investigated the remains of the Iron Age site of Salūt, in central Oman (e.g. Avanzini and Degli Esposti 2018), consisting of mudbrick structures, bound with clay and originally plastered with mud-plaster, consistently with a tradition rooted in South East Arabia since at least the 4th millennium BC.

Earthen construction is widely recognised as a challenging field for restoration (e.g. Alva Balderrama and Chiari 1995: 103) as in need of a specific preservation and restoration project based on the tight collaboration between architects and archaeologists starting from the very discovery of the ancient structures. The detailed study of their original characters is, in fact, of fundamental importance to understand the architectural remains and consequently direct the following interventions. The survey of the remains made use of a series of up-to-date documentation technologies which provided at the same time fast and precise results.

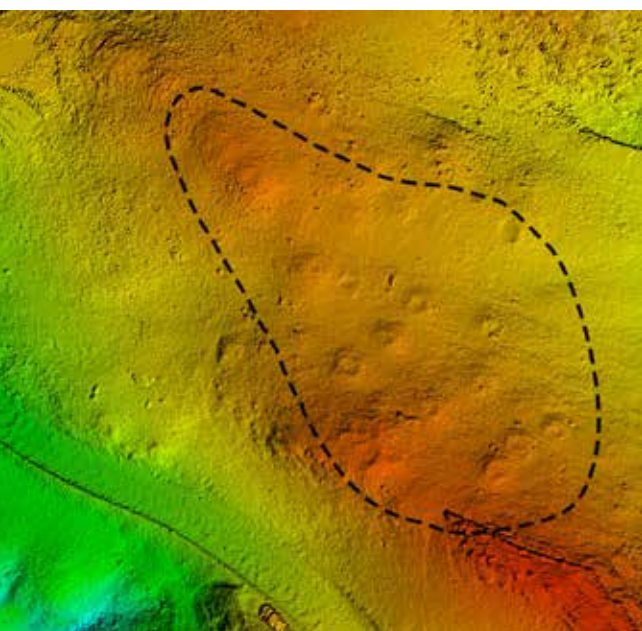
The economic and ecological sustainability of the restoration work was essential to the project, as was the compliance with the ICOMOS/ UNESCO guidelines, including *“multi-disciplinary approach, attention to safety conditions, individuation of the causes of damage and decay, choice of reversible remedial measures and control of the efficiency of*

NOTA / NOTE

Salvo indicación contraria, todas las fotos del artículo pertenecen a los autores / Unless otherwise indicated, all images in the article belong to the authors



1
2



de materiales ampliamente disponibles y asequibles, los cuales tenían la ventaja de corresponderse a la perfección con aquellos empleados originalmente desde antiguo.

La arquitectura de tierra ha representado la principal técnica constructiva de la región hasta la época moderna, en que el uso del cemento ha acabado por imponerse. Ello significa que, a pesar de que esta tradición corre un serio riesgo de no supervivencia, todavía hoy es posible encontrar albañiles locales con amplia experiencia en la construcción con adobe. Para aplicar esta técnica tradicional de albañilería en los trabajos de restauración en Salūt, de hecho, la mejor estrategia se demostró ser la de contactar con uno de esos expertos profesionales locales.

2. DOCUMENTACIÓN DE LOS RESTOS

Para mejorar la eficiencia de los trabajos de documentación se utilizaron drones y cámaras profesionales en combinación con técnicas convencionales de mapeo y topografía, sin necesidad de depender de los dilatados tiempos requeridos para efectuar un levantamiento topográfico al modo tradicional.

El empleo preciso de herramientas de modelado digital, como el Modelo Digital de Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Elevación (MDE) (figs. 1, 2), además, permitió identificar estructuras difíciles de delinear en su complejidad, incluso después de un levantamiento topográfico riguroso. La modelización del terreno posibilitó una evaluación fiable de los taludes afectados por los flujos de agua, facilitando el estudio para la construcción de canales de drenaje

the interventions...etc" (e.g. ICOMOS 2003; Petzold 2004). This entailed using local materials readily at hand, which brought along the additional advantage of perfect correspondence with their ancient counterparts.

Earthen architecture has represented the main construction technique in the region until modern times when cement became predominant. This means that despite the survival of this tradition is at great risk, local masons can be traced that still possess the know-how of mudbrick construction. The nature of the restoration work at Salūt itself resulted in being best for the application of this traditional masonry technique, and a local foreman was, therefore, hired.

2. DOCUMENTING THE ANCIENT REMAINS

Drones and professional cameras, used in combination with "classic" mapping and surveying, improved the efficiency of the archaeological workflow with no need to wait for time-consuming sessions of traditional field topography.

The accurate use of digital modelling tools such as the Digital Terrain Model (DTM) and Digital Elevation Model (DEM) (figs. 1, 2), moreover, highlighted structures that would otherwise be difficult to outline in their complexity even after an accurate field survey. Terrain modelling also allowed for a reliable assessment of the slopes affected by the water flows, facilitating

con un bajo impacto visual. La reconstrucción 3D de los restos arquitectónicos también fue fundamental para controlar el proceso de restauración y simular el resultado final.

3. LA RECUPERACIÓN Y DIFUSIÓN DE LAS TÉCNICAS TRADICIONALES

Junto a los métodos educativos modernos en continua evolución, cada vez más asistidos por soportes multimedia, la narración oral debe ser preservada como herramienta fundamental en la transmisión del conocimiento tradicional, en este caso concreto, el de las técnicas constructivas, la arquitectura y la cultura material (cfr. Ogega 2011). En la actualidad, y no solo en Omán, este saber hacer corre un alto riesgo de desaparecer si nuevas generaciones de aprendices no retoman el legado de los viejos artesanos (fig. 3).

La reciente transformación de la cultura cotidiana ha provocado el abandono parcial o total de pueblos históricos (fig. 4), y la consecuente interrupción del mantenimiento de las casas tradicionales de adobe, protegidas con enlucido de barro y paja (Mershen 2010). Por tanto, el registro de cualquier información que los viejos artesanos de Omán puedan transmitir resulta absolutamente insoslayable.

La participación de un albañil local, Massaoud Al-Khīarī, supuso que no solo las estructuras sino el proceso mismo de elaboración pudiera documentarse, con el objetivo de registrar los conocimientos tradicionales que entrañaba la producción manual de adobe y enlucido, y su aplicación en la construcción de

the study for the construction of drainage channels with a low visual impact. The 3D reconstruction of the architectural remains was also a useful tool to control the restoration process and simulate the final result.

3. THE RECOVERY AND DISSEMINATION OF TRADITIONAL TECHNIQUES

Alongside the modern, continuously-developing educational methods, more and more entangled with multimedia supports, oral narration should be preserved as a fundamental tool in handing down traditional know-how, in this precise case that of construction techniques, architecture and material culture (cf. Ogega 2011). In modern days and not only in Oman this wisdom is at high risk of fading away without any new apprentices following in the wake of old craftsmen (fig. 3).

The recent transformation in the everyday culture caused the partial or total abandonment of historic villages (fig. 4), and the irreparable consequent loss of the need to continue the maintenance of traditional mudbrick houses, protected by mud-and-straw plaster (Mershen 2010). The recording of any related information the old Omani craftsmen can transmit is, therefore, compelling.

The involvement of a local mason, Mr Massaoud Al-Khīarī, implied that not only the structures but the process itself required to be documented with the aim of recording the traditional know-how entailed in the

1. Husn Salūt, modelo 3D de alta definición
1. Husn Salūt, high definition 3D model
2. El MDE revela unas tumbas degradadas en Jabal Salūt (JS4) que permanecerían ocultas en la ortofoto
2. The DEM reveals decayed tombs on Jabal Salūt (JS4) that would remain hidden in the orthophoto
3. El señor Massaoud Al-Khīarī trabajando
3. Mr Massaoud Al-Khīarī at work
4. Pueblo histórico abandonado de Bahla
4. Historic abandoned village of Bahla



3

4





5. Las diferentes herramientas utilizadas para la producción de adobe y su nombre árabe transcrito (local)

5. The different tools used throughout the mudbrick production process and their transliterated (local) Arab name

A. *Shīūl* / pala / shovel

B. *Mahrāth* / pico / pickaxe

C. *Muqamshat mahlah* / paleta / trowel

D - E. *Qalib* / molde / mould

F. *Tīn* / barro / mud

G. *Tibin* / paja / straw

H. *Inā* / barreño / large bucket

5 muros y suelos. De este modo, se filmó cada paso del proceso de producción y se entrevistó a nuestro colaborador para explicar el trabajo y detallar el uso de las diferentes herramientas con su terminología local (fig. 5).

Pensamos que esta documentación detallada, que incluye el patrimonio inmaterial como el saber hacer de la albañilería tradicional, debe considerarse parte integrante del yacimiento, una herramienta sólida para comprender, por un lado, su antigua economía de trabajo y su entorno, y por otro, las necesidades de conservación presentes y futuras. Además, este corpus puede contribuir, una vez editado, a promover la divulgación del sitio arqueológico.

4. EL PROCESO DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

El proyecto de restauración ha afectado a todas las estructuras antiguas; sin embargo, el enfoque de este artículo se limita a los procedimientos específicos adoptados para la conservación (consolidación) y restauración de fábricas y suelos de adobe y de enlucidos de paramentos, utilizando técnicas tradicionales y materiales propios del lugar (cf. Meddah *et al.* 2019) (fig. 6).

En el caso de las estructuras de adobe, una intervención mínima (relleno de huecos, eliminación de partes inestables) y un mantenimiento continuado resultan imprescindibles en los trabajos de conservación, al igual que el

manual production of mudbrick and plaster and their use in wall and floor construction. Every step of the production process was filmed and our local mason was interviewed to explain the work and detail the use of the different tools (fig.5). The local terminology associated with them was also recorded.

We believe that this overall detailed documentation, which includes intangible heritage such as the traditional masonry expertise, must be considered an integral part of the site, a strong tool for understanding, on the one hand, its ancient work economy and environment, on the other, its present and future preservation needs. Besides, once edited, this material can also support the dissemination of the site.

4. THE CONSERVATION AND RESTORATION PROCESS

The restoration project concerned all the ancient structures; the focus of this paper are, however, the specific procedures adopted for the conservation (consolidation) and restoration of mudbrick masonries and floors, and the re-plastering of surfaces, using local traditional techniques and suitable, found-on-site materials (cf. Meddah *et al.* 2019) (fig. 6).

For mudbrick structures, a minimal restoration (filling of voids, removal of unstable portions) and frequent maintenance is indeed intrinsic to any conservation work, as is the plastering of exposed surfaces, which would otherwise quickly decay. The restoration work was carried out directly by

enlucido de las superficies expuestas, que de otro modo se degradarían rápidamente. Los trabajos de restauración fueron realizados directamente por el Sr. Al-Khīarī, bajo la supervisión del equipo de conservación arquitectónica. Durante este periodo, se intentó contratar a gente joven de la cercana localidad de Bysia, lo que se tradujo inicialmente en la formación preliminar de un par de chicos jóvenes, pero que encontraron, sin embargo, otros empleos y acabaron por abandonar la colaboración.

5. METODOLOGÍA

Las obras debían atenerse a un protocolo que implicaba tres limitaciones principales: i) las nuevas intervenciones debían poder distinguirse claramente de las partes originales de las estructuras; ii) tenían que aplicarse técnicas tradicionales, utilizando los recursos disponibles localmente; iii) los resultados debían minimizar los trabajos de mantenimiento.

Antes de iniciar las intervenciones, se realizó un estudio exhaustivo de la zona seleccionada para evaluar el estado actual de degradación de las estructuras, teniendo en cuenta la última temporada de lluvias y el intervalo de tiempo transcurrido desde la última operación de mantenimiento, y también para identificar los principales puntos críticos, permitiendo de este modo obtener

Mr Al-Khīarī under the supervision of the architectural conservation team. During the years, the mission tried to hire younger people from the nearby town of Bysia, which resulted in a preliminary training of a couple of young boys, who found, however, other employments and quit the collaboration.

5. METHODOLOGY

Works had to adhere to a protocol entailing three main constraints: i) the new interventions should be clearly distinguishable from the original parts of the structures; ii) traditional technologies should be implied, using locally available resources; iii) the results should reduce the necessity of maintenance works.

Before all interventions, the targeted area was thoroughly surveyed to assess the current state of degradation of the structures, due to the last rainy season and the time interval since the last maintenance operation, to identify the major criticalities, allowing thus to obtain the decay mapping and schedule and rationalize the restoration operations over the 10-year campaign. (Bizzarri 2015). Overall, the most common types of deterioration observed on the mudbrick structures are related to extrinsic factors such as wind and rain erosion (e.g. Doat *et al.* 1983; Rainer 2008).

Flash-floods are certainly the major cause of deterioration at the base of the walls, while the wall crests are mostly impacted by capillary rise and rains which favour erosion and originate deep ridges and gullies. To contrast



E



F



G



H



6
7



el mapeado de degradación y programar y racionalizar las operaciones de restauración a lo largo de una campaña de 10 años (Bizzarri 2015). En general, los tipos de deterioro más comunes observados en las estructuras de adobe estaban relacionados con factores extrínsecos como la erosión por el viento y la lluvia (Doat *et al.* 1983; Rainer 2008).

Las crecidas repentinas son, sin duda, la principal causa de deterioro en la base de los muros, mientras que las crestas se ven afectadas sobre todo por la ascensión de humedad capilar y las lluvias, las cuales favorecen la erosión y originan caballones y hondonadas profundas. Para contrastar este fenómeno, se dio una forma más marcada a las cárcavas generadas espontáneamente y se llenaron con material drenante para facilitar el flujo de las aguas de escorrentía (figs. 7, 8).

En algunas ocasiones se consideró necesaria la reconstrucción parcial de las estructuras antiguas (por ejemplo, excediendo ligeramente la altura conservada tras la excavación), tanto por razones de estabilidad como para hacerlas más comprensibles para los visitantes.

Para ello, resultó esencial fijar una zona para la elaboración de los adobes (y el mortero de barro y paja) cerca de la obra. Una vez en la obra, el mortero debe mezclarse con agua adicional para lograr la consistencia adecuada. El secado al sol le proporciona una estructura sólida y un color marrón claro en 2 o 3 días (Bizzarri 2015) (figs. 9, 10, 11).

this phenomenon, the naturally formed gullies were more neatly shaped and incised and filled with draining material, thus facilitating the water flow (figs. 7, 8).

Partial reconstruction (i.e., slightly exceeding the preserved height of the structures as exposed by the excavation) of the ancient structures was sometimes deemed necessary to stabilize them at the same time as making them more understandable to the visitor. Essential to this was setting up a mudbrick (and mud-and-straw mortar) production area near the site. Once brought near the construction site, the mortar needs to be mixed with additional water to achieve the appropriate consistency. Sun-drying gives plaster a solid structure and a light brown colour in 2/3 days (Bizzarri 2015) (figs. 9, 10, 11).

Mudbrick wall restoration followed these steps:

1. preliminary cleaning with removal of vegetation and soil;
2. removal of unstable/collapsed portions to provide a solid and clean basis for reconstruction;
3. removal of the old and deteriorated mud plaster and cleaning of the mudbrick structure surfaces;
4. placing of a geotextile layer to mark the separation between the old part and the reconstructed one;
5. filling of possible lacunas with small and medium stones set in the same mud used for plastering



8



10



11



6. Preparación de mortero, colocación y enlucido de paredes
6. Mortar preparation, laying and wall plastering

7. Nuevas cárcavas realizadas con la forma de las naturales
7. New gullies made in the shape of natural ones

8. Cárcavas rellenas con material drenante
8. Gullies filled with draining material

9. Elaboración de adobes
9. Mudbricks preparation

10. Massaoud Al-Khīarī reconstruyendo la parte faltante de los muros con nuevos adobes fabricados *in situ*

10. Mr Massaoud Al-Khīarī rebuilding the missing part of the walls with new mudbricks made on site

11. Mortero secado al sol

11. Sun-dried plaster

La restauración de los muros de adobe atravesó los siguientes pasos:

1. limpieza preliminar con eliminación de vegetación y tierra;
2. remoción de las partes inestables o colapsadas para proporcionar una base sólida y limpia para la reconstrucción;
3. retirada del revoco de barro viejo y deteriorado, y limpieza de las superficies de la estructura de adobe;
4. colocación de una capa de geotextil para marcar la separación entre la parte antigua y la reconstruida;
5. relleno de posibles lagunas con piedras pequeñas y medianas engastadas en el mismo barro utilizado para enlucir;
6. reconstrucción de las partes colapsadas con adobes recién elaborados;
7. enlucido protector de barro y paja aplicado capa tras capa.

Para los suelos de adobes se utilizaron los mismos materiales y métodos.

Este procedimiento, que precisamente se sirve de la misma arcilla arenosa utilizada para los adobes y revocos originales, demostró ser extremadamente eficiente, pues las estructuras restauradas no mostraron daños significativos tras las fuertes lluvias caídas en la zona en los últimos años. Sin embargo, sigue siendo necesario integrar un plan de mantenimiento más a largo plazo para el sitio. El mantenimiento es, de hecho, el principio clave para la conservación de la arquitectura vernácula de tierra e implica un seguimiento continuo del estado del enlucido, y la remoción y re-enlucido iterados tantas veces como sea necesario. Una vez más, la implementación de habilidades tradicionales profundamente arraigadas en la albañilería local representa la estrategia más

6. rebuilding of collapsed parts with newly made mudbricks;
7. mud-and-straw protective plastering applied coat after coat.

The same materials and methods were used for the mudbrick floors.

This procedure, which moreover employs the same sandy clay used for the original mudbricks and mud plaster, proved extremely efficient and restored structures showed no significant damage after the heavy rains occurred at the site in recent years. However, it must absolutely be integrated inside a longer-term maintenance plan for the site. Maintenance is, traditionally, the key principle inherent to vernacular earthen architecture, and implies the continuous survey of the plaster's condition and repeated removal and re-plastering when deemed necessary. Once more, the implementation of traditional skills deeply rooted in local masonry represents the aptest strategy to handle the problem of ancient mud-based structure preservation, although one has to recognise that the local authorities are reluctant to accept this, their perspective being that of finding a final solution which is, however, not feasible unless one uses modern materials.

6. TESTING DIFFERENT PLASTER MIXES

Traditionally, maintenance and conservation interventions follow empirical processes and field-test approach to the choice of the building material appears not to be part of the cultural background of the local actors, who

adecuada para manejar el problema de la conservación de las estructuras antiguas de adobe, aunque hay que lamentar que las autoridades locales sean reacias a aceptar esta realidad: su perspectiva se dirige a encontrar una solución definitiva que, sin embargo, no resulta factible sin recurrir a materiales modernos.

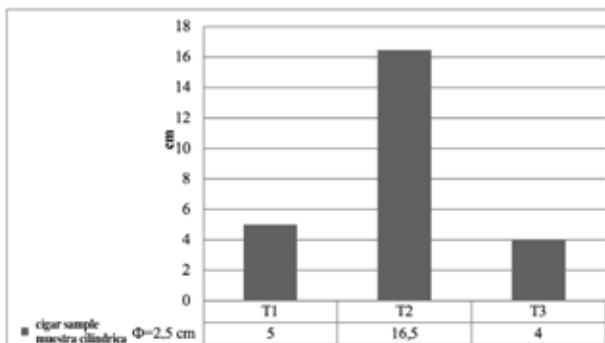
6. EXPERIMENTACIÓN CON DIFERENTES MEZCLAS DE REVOCO

Tradicionalmente, las intervenciones de mantenimiento y conservación siguen procesos empíricos, y el enfoque de los ensayos de campo para la elección del material de construcción no parece formar parte del trasfondo cultural de los actores locales, que parecen más bien depender de un reconocimiento visual de las diferentes características de los barros. El caso de los ladrillos de adobe es emblemático. Durante las fases iniciales del trabajo, se informó al equipo de que grandes cantidades de adobes estaban siendo preparadas en la cercana ciudad de Bahla para la restauración de la fortaleza local, y que también estaban disponibles para la restauración del sitio de Salūt. Solo con echarles un vistazo, el Sr. Al-Khiari declaró que no eran adecuados y que debían producirse directamente utilizando la tierra del lugar.

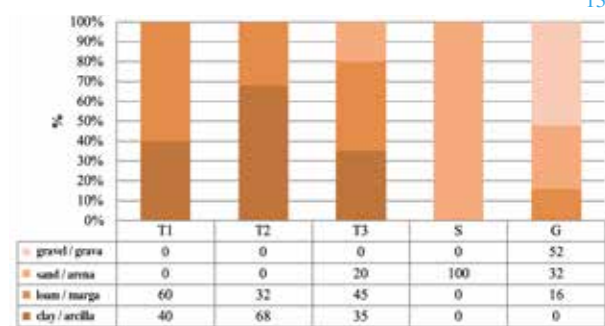
Con el fin de identificar una fórmula «estándar» y proporcionar las pautas a los futuros actores de los trabajos de restauración, junto con el uso de revocos de barro tradicionales se realizaron algunas pruebas con diferentes mezclas para obtener un producto con características mejoradas. Los requisitos perseguidos radicaban en una buena compatibilidad con la composición del material tradicional, una capacidad de evaporación y transpiración similar, y una resistencia parecida.

seem rather reliant on a visual reconnaissance of the different soils' characteristics. Emblematic is the case of the mudbricks. During the initial phases of the work, the team was informed that they were being prepared in large quantities at the nearby city of Bahla, destined for the restoration of the local fort and that they could be made available for the restoration at Salūt as well. Only by taking a look at them, Mr Al-Khiari stated they were not suitable for him and should be produced directly using the soil nearby the site.

In order to identify a "standard" formula and provide the guidelines to future actors of restoration work alongside the use of traditionally made mud-plaster, a few tests were made using different mixtures to obtain a product with improved characteristics. Looked-for requisites were a good match with the composition of the traditional material, a similar evo-transpiration capacity, and similar strength. These experiments aimed to obtain a lower aesthetic impact on the finishing of the wall surfaces. The apt plaster mix should, therefore, be stabilized with a lower quantity of straw than the one produced by our mason. These tests were discussed by Bizzarri *et al.* (2020) and only a summary is provided here. Three macroscopically different soils - T1, T2 and T3 - were sampled at three different locations of the site to macroscopically identify their compositions and verify their suitability as a construction material (figs. 12, 13, 14).



12



13

14

shrinkage and crack test prueba de contracción y agrietado				
soil type tipo de terreno	crack > 4 mm deep grieta > 4 mm de espesor	passing through crack grieta pasante	crack max grieta máx (mm)	fragments fragmentos
T1	sí	sí	8	5
T2	sí	sí	6	15
T3	sí	no	3	2

El objetivo de estas pruebas se orientaba a conseguir un menor impacto estético en el acabado de las superficies de las paredes. Consecuentemente, la mezcla apropiada del revoco debía estabilizarse con una cantidad de paja menor que la producida por nuestro albañil. Estas pruebas fueron discutidas por Bizzarri *et al.* (2020) y aquí se ofrece sólo un resumen.

Se tomaron tres muestras de tierra macroscópicamente diferentes – T1, T2 y T3– en tres ubicaciones diferentes del sitio para identificar macroscópicamente sus composiciones y verificar su idoneidad como material de construcción (figs. 12, 13, 14).

También se tomaron muestras de dos tipos de suelo en las inmediaciones del sitio arqueológico: el suelo S, cuyo análisis de sedimentación indicó una composición 100% de arena fina, de color rojizo dorado; y el suelo G, compuesto por 52% de grava, 32% de arena y 16% de marga, de color gris. Estas muestras se sometieron a diversos análisis empíricos, como la inspección visual y táctil, la prueba de lavado de manos, el ensayo de consistencia, el análisis granulométrico por sedimentación y, finalmente, una prueba preliminar de retracción y fisuración.

Efectuados estos análisis, la muestra T1 resultó estar compuesta por marga como componente principal y un reducido porcentaje de arcilla; la T2, por arcilla con un bajo contenido de marga; y la T3, por un alto porcentaje de marga arenosa con un pequeño porcentaje de arcilla.

Two kinds of soil were also sampled from the area surrounding the archaeological sites: soil S, which sedimentation analysis indicated to be composed of 100% fine sand, with a reddish-golden colour; and soil G, composed of 52% gravel, 32% sand and 16% loam, with a grey colour.

Empirical analyses were carried out on these samples such as visual and tactile examination, handwashing test, consistency test, granulometric analysis by sedimentation and, finally, a preliminary shrinkage and crack test. Following the latter, T1 resulted comprises of loam as the main component and of a low percentage of clay, T2 resulted composed mainly of clay with a low loam content and T3 resulted comprised of a high percentage of loam-sand with a low percentage of clay. All the tests showed that the three soils samples required the addition of balancing components to be used in the restoration work due to their bad performance in the consistency test and their being subject to swelling and shrinkage which confirmed the insufficient content of binder (i.e., clay) in their composition.

The following step was, therefore, the “correction” of their composition by adding natural tempering material available on the site, that is, sand and/or gravel namely soils S and soil G. The ratio of no less than three parts of

Todas las pruebas revelaron que las tres muestras requerían la adición de estabilizantes para ser utilizados en los trabajos de restauración, debido a su mal comportamiento en la prueba de consistencia y a estar sujetos a hinchamiento y encogimiento, lo que constató el insuficiente contenido de ligante (arcilla) en su composición. El siguiente paso consistió, por tanto, en «corregir» la composición mediante la adición de material natural de atemperado disponible en la zona, es decir, arena y/o grava, es decir, suelo S y suelo G. La proporción de no menos de tres partes de arena por una de arcilla es, de hecho, necesaria para lograr un mejor desempeño del revoco y del mortero de barro, y reducir las fisuras sin comprometer su cohesión (Ruskulis 2009). A continuación, se probaron diferentes mezclas para comprobar si las correcciones habían mejorado su comportamiento.

Se realizó una segunda prueba mejorada de retracción y fisuración utilizando ladrillos de adobe de 27x57 cm como superficie estándar sobre la que aplicar el enlucido, restregándolos y humedeciéndolos antes de cada aplicación. Las capas se aplicaron a mano presionando con fuerza para aumentar la adherencia del enlucido a la superficie de los adobes. Las capas de prueba se rociaron con agua una o dos veces en las primeras horas tras su aplicación y se cubrieron con una lámina de plástico durante uno o dos días. Los resultados indicaron que la muestra T2, que ya es un buen aglutinante por su alto contenido en arcilla, puede ser la mejor base para una buena mezcla,

sand to one of clay is, in fact, necessary to achieve a better performance of mud-based plaster and mortar and reduce cracks without compromising cohesion (Ruskulis 2009). Different mixtures were then further tested to understand whether these corrections had improved their performance. A second improved shrinkage and crack test were made using 27x57 cm mudbricks as the standard surface to apply the plaster, scrubbed clean and moistened before each application. The layers were forcefully applied by hand to increase adherence of the plaster to the brick surface. Test layers were sprayed with water once or twice during the first hours after being laid down and covered with a plastic sheet for one-two days.

The results indicated sample T2, already a good binder due to its high clay content can serve as the best basis for a good mixture, given that its sand component is increased.

Of the tested T2-based mixture, the sample made mixing 1 part T2+1 part S+1 part G and tempered with a small amount of straw and gravel (0mm< ϕ <20mm) - in a way that their presence was not visually predominant on the surface finishing, but that could help to avoid cracks while increasing cohesion and resistance to washing away- gave the best result. The modest cracks that appeared were completely closed with the secondary manual treatment with water.

12. Ensayo de consistencia en las muestras T1, T2 y T3

12. Consistency test on soils T1, T2, T3

13. Ensayo de sedimentación en las muestras T1, T2, T3, S y G

13. Sedimentation tests on soils T1, T2, T3, S, G

14. Ensayo de retracción y fisuración en las muestras T1, T2 y T3 (superficie 20x15 cm)

14. Shrinkage and crack test on soils T1, T2, T3 (20x15 cm surface)



15

15. Muestras de enlucido sobre una nueva estructura de adobe, desde arriba a la izquierda: Muestra A, capa 1; Muestra 1, capa 2; Muestras en el lado oeste del muro

15. Plaster tests on a new mudbrick structure, from the left: Sample A, coat 1; Sample 1, coat 2; Samples on the west side of the wall

16. El corredor del «sótano», una de los principales elementos arquitectónicos de Husn Salūt, antes y después de la restauración de los muros de adobe

16. The corridor of the “basement”, one of the main architectural features of Husn Salūt, before and after the mudbrick walls restoration

ya que se incrementa su componente de arena. La mezcla que dio el mejor resultado fue la de base de T2, obtenida mezclando 1 parte de T2 + 1 parte de S + 1 parte de G y estabilizada mediante una pequeña cantidad de paja y grava ($0 \text{ mm} < \varphi < 20 \text{ mm}$), de forma que su presencia no predominase en el acabado superficial, pero que pudiera ayudar a evitar fisuras al aumentar la cohesión y la resistencia al lavado. Las discretas grietas que aparecieron se cerraron completamente con el tratamiento manual secundario con agua. Esta mezcla mostró buena cohesión y una razonable resistencia al lavado, con un acabado y color ideales. Por tales razones, fue seleccionada para trabajos posteriores en la superficie vertical más grande de un muro de adobe recién construido (fig. 15). Tradicionalmente, los revocos de barro suelen aplicarse en una sola capa, tanto en interiores como en el exterior. Si se aplica en dos capas, la primera puede contener más arcilla, aunque provoque la aparición de más fisuras, mientras que la segunda viene a ser más arenosa y se aplica en una capa más fina. Esta segunda capa cerrará las grietas de la primera, siempre que se haya humedecido ligeramente la superficie antes de enlucir. En el caso de Salūt, la mejor solución resultó ser la aplicación dos capas de enlucido, con la primera mezclando solo arcilla y paja, considerando la escasez de arena en el lugar.

De acuerdo con las buenas prácticas, se limpió y humedeció la superficie de la pared. La primera capa de revoco se aplicó a mano presionando con fuerza con un espesor de 20 mm, con el fin de crear una superficie rugosa que permitiese una buena adherencia para recibir la segunda capa. Fue importante rociar el enlucido

This sample showed good cohesion and reasonable resistance to the washing, together with an ideal finishing and colour surface. For such reasons, it was selected for further work on the larger, vertical surface of a recently built mudbrick wall (fig. 15). Traditionally, mud plasters are often applied in one coat both internally and externally. If applied in two coats, the first can contain more clay, even if this leads to the development of more cracks, while the second is sandier and is applied in a thinner layer. This second coat will close the cracks in the first one, provided the surface has been lightly wetted before plastering. The best solution at Salūt turned out to be applying two coats of plaster, with the first made mixing only clay and straw, considering the scarcity of sand at the site.

As per good practice, the wall surface was cleaned and moistened. The first plaster coat was forcefully applied by hand with a thickness of 20 mm, to create a naturally wrinkled surface to provide good bonding for the second coat. It was important the plaster was sprayed with a coat twice or three times a day with water during the first days to reduce cracking. Plastic sheets were also used to shade the wall and retain moisture.

con agua dos o tres veces al día durante los primeros días para reducir la fisuración. También se utilizaron láminas de plástico para dar sombra a la pared y retener la humedad.

La segunda capa, con un contenido mayoritario de arena, se aplicó con un espesor de 10-15 mm cuando la primera hubo secado, y luego se alisó a mano para obtener un acabado uniforme. Además, en este caso, el revoco se mantuvo cuidadosamente húmedo durante unos días y se mantuvo en sombra para reducir la fisuración, especialmente en el caso de las muestras en las que se experimentó con ligantes como el *sarooj* y la creta; de hecho, se realizaron otros tanteos para comprobar la contribución a la impermeabilización del *sarooj* –un ligante local a base de cal–, la caliza y el estiércol de vaca, todos ellos utilizados tradicionalmente y fácilmente disponibles. Las técnicas aplicadas y las recetas ensayadas para el enfoscado y enlucido de los muros dieron resultados satisfactorios tanto en términos de acabado como de comportamiento.

Las pruebas analizadas confirman que el control de la cantidad y la calidad de la fracción de arena en la tierra local y la adición de materiales de revenido específicos proporcionan un revoco de barro perfectamente adecuado para el revestimiento de las estructuras patrimoniales de tierra. Las mezclas ensayadas, además, cumplen con el objetivo de perpetuar las técnicas tradicionales utilizando materiales disponibles localmente y respetando las características físicas, higroscópicas y estéticas de los materiales antiguos.

The second coat, with majoritarian sand content, was only applied when the first coat was dry, with a thickness of 10-15 mm, and then smoothed by hand to get an even finish. Also, in this case, the plaster was accurately kept wet for a few days and shaded to reduce cracking, especially for samples that tested the addition of binders such as *sarooj* and chalk; other experiments were indeed made to understand the waterproofing contribution of *sarooj* - a local lime-based binder, chalk and cow dung, all selected because they are used traditionally and easily available. Applied techniques and the tested recipes for the rendering and plastering of the walls gave satisfying results both in terms of finishing and performance. The discussed tests confirm that controlling the quantity and quality of the sand fraction in the local soil and adding specific tempers provides a perfectly suitable mud-based plaster for the protective coating of earthen heritage structures. The tested mixtures, moreover, fulfil the aims of perpetuating the traditional techniques while using locally available materials and respect the physical, hygroscopic and aesthetic characteristics of the ancient materials.



16




17

17. Un ejemplo de restauración de muro en seco de Qaryat Salūt. El color marrón diferencia las piedras recién colocadas
17. An example of dry-wall restoration from Qaryat Salūt. Brown indicates the newly placed stones

7. CONCLUSIÓN

El presente artículo ilustra el enfoque multidisciplinar seguido para definir la estrategia de conservación para el sitio arqueológico de Salūt, en el centro de Omán, pero igualmente apta para cualquier yacimiento donde la arquitectura de tierra constituya una componente predominante del paisaje construido.


Las claves para forjar un plan de conservación de tal envergadura son: una estrecha colaboración entre arquitectos y arqueólogos; una cuidadosa excavación; el mantenimiento preventivo; y el uso de materias primas sostenibles (figs. 16, 17). Por último, pero no por ello menos importante, conviene destacar la relevancia de la formación, encaminada a recuperar y transmitir las técnicas constructivas tradicionales para preservar no sólo los edificios en sí, sino las propias técnicas tradicionales. Revivir las tradiciones constituye, en efecto, una estrategia esencial para la gestión del yacimiento y la participación de la comunidad, ya que el conocimiento de los restos arqueológicos de una región acerca a la población local a sus raíces culturales y fomenta el sentido de pertenencia. Por eso, en Omán, este tipo de prácticas son fundamentales para alentar a los jóvenes omaníes a estudiar y reapropiarse del patrimonio tradicional que está desapareciendo súbitamente.

Creemos que este programa de restauración integral ha dado resultados ampliamente positivos y podría proporcionar las pautas a seguir para promover y definir la recuperación de otros sitios arqueológicos con características similares. 

7. CONCLUSION

This paper illustrates the multidisciplinary approach used to define the conservation strategy specifically created for the archaeological site of Salūt in central Oman but apt for any site where earthen architecture constitutes a predominant component of the built landscape. Key points to build such a large scale conservation plan are a stringent collaboration between architects and archaeologists; careful excavation; preventive maintenance; and the use of sustainable raw materials (figs. 16, 17).

Last but not least, the importance of training, aimed at recovering and passing on traditional construction techniques to preserve not only the buildings themselves but the traditional techniques. Reviving traditions is indeed a key strategy for site management and community involvement because the knowledge of the archaeological remains of a region brings local people more in touch with their cultural roots and encourage a sense of belonging. Therefore, in Oman, these kind of practice are fundamental to encourage younger Omani to study and re-appropriate the traditional heritage that is suddenly disappearing.

We believe that this comprehensive restoration programme has given largely positive results and could provide such guidelines to be followed for promoting and defining the recovery of other archaeological sites with similar characteristics as Salūt. 

BIBLIOGRAFÍA / REFERENCES

- ALVA BALDERRAMA, A.; CHIARI, G. (1995): «Protection and conservation of excavated structures of mudbrick», en Stanley Price, P. (ed.): *Conservation on archaeological excavations. With particular reference to the Mediterranean area*. Roma: ICCROM, 101-112.
- AVANZINI, A.; DEGLI ESPOSTI, M. (eds.) (2018): «Husn Salūt and the Iron Age of South East Arabia. Excavations of the Italian Mission to Oman 2004-2014». Arabia Antica, 15. Roma: L'«Erma» di Bretschneider.
- BIZZARRI, S. (2015): «Restoration works at Salūt», en Avanzini, A. (ed.): *In the heart of Oman. The castle of Salūt*. (Ancient Oman, 1). Roma: L'«Erma» di Bretschneider, 87-95.
- BIZZARRI, S.; DEGLI ESPOSTI, M.; CARECCIA, C.; DE GENNARO, T.; TANGHERONI, E.; AVANZINI, N. (2020): «The use of traditional mud-based masonry in the restoration of the iron age site of Salūt (Oman). A way towards mutual preservation», *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, vol. XLIV-M-1-2020, pp. 1081-1088. Disponible en / Available at: <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-1081-2020>>.
- DOAT, P.; HAYS, A.; HOUBEN, H.; MATUK, S.; VITOUXEDS, F. (1983): *Construire en terre*. París: Editions Alternatives.
- HAGO, A. W.; AL-RAWAS, A. (1997): «Properties of the Omani Sarooj». *Engineering Journal of University of Qatar*, 10, 81-91.
- ICOMOS (2003): *ICOMOS Charter - Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage*. Ratified by the ICOMOS 14th General Assembly in Victoria Falls, Zimbabwe, 2003. Disponible en / Available at: <<https://www.icomos.org/en/about-the-centre/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/165-icomos-charter-principles-for-the-analysis-conservation-and-structural-restoration-of-architectural-heritage>>.
- MEDDAH, M. S.; BENKARI, N.; AL-BUSAIDI, M. (2019): «Potential Use of Locally and Traditionally Produced Bending Construction Material». IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 471, n.º 4: 471, <doi:10.1088/1757-899X/471/4/042008>.
- MERSHEN, B. (2010): «Unveiling the Past: the Role of Oral History in Understanding Oasis Development», en Buerkert, A.; Schlecht, E. (eds.): *Oases of Oman. Livelihood System at the crossroads*. Muscat: Al Roya Press & Publishing House, 60-63.
- OGEA, J. J. (2011): «Oral Traditions in the Conservation of Earthen Architecture», in Rainer, L.; Bass Rivera, A.; Gandreau, D. (eds.): *Terra 2008: The 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 124-128.
- PETZET, M. (2004): «Principles of preservation: An introduction to the International Charters for Conservation and Restoration 40 years after the Venice Charter», in Petzet, M.; Zieseemer, J. (eds.): *International Charters for Conservation and Restoration. Monuments & Sites*. I. Munich: ICOMOS, 7-29.
- RAINER, L. (2008): «Deterioration and pathology of earthen architecture». In Avrami, E.; Guillaud, H.; Hardy, M. (eds.): *Terra Literature Review: An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 45-61.
- RUSKULIS, O. (2009): «Mud Plasters and Renders». *Appropriate Technology Journal*. Disponible en / Available at: <<https://answers.practicalaction.org/our-resources/item/mud-plasters-and-renders>> (Consultado: 15 de enero de 2020).

AGRADECIMIENTOS / ACKNOWLEDGEMENTS

Los autores quisieran agradecer a la profesora A. Avanzini, directora del IMTO, quien ha promovido los trabajos de restauración durante todos estos años. Las obras en Salūt fueron posibles gracias al inestimable apoyo de la Oficina de Su Excelencia el Consejero de Su Majestad el Sultán para Asuntos Culturales - Mascate / The authors would like to thank Prof. A. Avanzini, Director of the IMTO, who promoted the restoration works over all these years. Works at Salūt were made possible by the invaluable support of the Office of HE the Adviser to HM the Sultan for Cultural Affairs - Muscat