

RA

restauro archeologico

Conoscenza, conservazione e valorizzazione
del patrimonio architettonico d'interesse archeologico
e di quello allo stato di rudere
**Rivista del Dipartimento di Architettura
dell'Università degli Studi di Firenze**

The knowledge, conservation, and valorization
of all endangered, neglected,
or ruined architectural structures.
**Journal of the Department of Architecture
University of Florence**

1 | 2016



RA

restauro archeologico

Conoscenza, conservazione e valorizzazione
del patrimonio architettonico d'interesse archeologico
e di quello allo stato di rudere

**Rivista del Dipartimento di Architettura
dell'Università degli Studi di Firenze**

The knowledge, conservation, and valorization
of all endangered, neglected,
or ruined architectural structures.

**Journal of the Department of Architecture
University of Florence**



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Editor in Chief

Roberto Sabelli
(Università degli Studi di Firenze)
roberto.sabelli@unifi.it

Managing Editor

Andrea Arrighetti
(Università degli Studi di Siena)

Anno XXIV n. 1/2016
Registrazione Tribunale di Firenze
n. 5313 del 15.12.2003

ISSN 1724-9686 (print)
ISSN 2465-2377 (online)

Direttore responsabile

Saverio Mecca
(Università degli Studi di Firenze)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Mariarosaria Barbera
(Soprintendenza Speciale
per i Beni Archeologici di Roma)

Philippe Bernardi
(Centre national de la recherche
scientifique, Aix-en-Provence)

Giovanna Bianchi
(Università degli Studi di Siena)

Susanna Caccia Gherardini
(Università degli Studi di Firenze)

Emma Cantisani
(Istituto per la Conservazione e la
Valorizzazione dei Beni Culturali | CNR)

Giuseppe Alberto Centauro
(Università degli Studi di Firenze)

Michele Coppola
(Università degli Studi di Firenze)

Maurizio De Vita
(Università degli Studi di Firenze)

Daniela Esposito
(Sapienza | Università di Roma)

Carlo Alberto Garzonio
(Università degli Studi di Firenze)

Luca Giorgi
(Università degli Studi di Firenze)

Alberto Grimoldi
(Politecnico di Milano)

Paolo Liverani
(Università degli Studi di Firenze)

Pietro Matracchi
(Università degli Studi di Firenze)

Alessandro Merlo
(Università degli Studi di Firenze)

Camilla Mileto
(Universitat Politècnica de València)

Gaspar Muñoz Cosme
(Universitat Politècnica de València)

Lorenzo Nigro
(Sapienza | Università di Roma)

José Manuel López Osorio
(Universidad de Málaga)

Andrea Pessina
(Soprintendente della SABAP per la città
metropolitana di Firenze e le province
di Pistoia e Prato)

Hamdan Taha
(Former Director General of Antiquities,
Palestinian Territory, Occupied)

Guido Vannini
(Università degli Studi di Firenze)

Fernando Vegas López-Manzanares
(Universitat Politècnica de València)

Cristina Vidal Lorenzo
(Universidad de Valencia)



Stampato su carta di pura cellulosa Fedrigoni X-Per



Cover photo

Particolare del Canopo di Villa Adriana
a Tivoli (foto di Andrea Arrighetti)

Copyright: © The Author(s) 2016

This is an open access journal distributed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License
(CC BY-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>).

graphic design

●●● **didacommunicationlab**
DIDA Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
via della Mattonaia, 14
50121 Firenze, Italy

published by

Firenze University Press
Università degli Studi di Firenze
Firenze University Press
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy
www.fupress.com

Indice

El modelo 3D como base para la documentación y difusión de los elementos patrimoniales. Aplicación al mausoleo romano denominado 'la Sinagoga' de Sádaba (Zaragoza, España)	4
<i>José Manuel Valle Melón, Pablo Pérez Vidiella, Álvaro Rodríguez Miranda, Chiara Maria D'Anna, Sandra Uceda Queirós, Jerónimo Sánchez Velasco, Ortzí Akizu Gardoki</i>	
Il castello crociato di Qala'at al-Bahr a Sidone. Contributo alla storia degli insediamenti d'Oltremare attraverso l'analisi dei paramenti murari e delle marche lapidarie	20
<i>Gabriela Frulio</i>	
Approcci metodologici e indicazioni progettuali per il restauro del Palazzo del Doge ad Antivari, Montenegro	40
<i>Alessio Cardaci, Antonella Versaci</i>	
Measure and material of the 18th- 20th century masonry techniques. Archaeological analysis of the University building in Cagliari (Italy)	60
<i>Caterina Giannattasio, Silvana Maria Grillo, Maria Serena Pirisino</i>	
Fiorentino in Capitanata. Cronache da un abitato medievale	78
<i>Michele Coppola</i>	
Villa Adriana, esperienze di rilievo digitale ed analisi per il restauro e la musealizzazione dell'Edificio dei Pilastrì Dorici	96
<i>Stefano Bertocci, Giovanni Minutoli</i>	

El modelo 3D como base para la documentación y difusión de los elementos patrimoniales. Aplicación al mausoleo romano denominado 'la Sinagoga' de Sádaba (Zaragoza, España)

José Manuel Valle Melón
Pablo Pérez Vidiella
Álvaro Rodríguez Miranda
Chiara Maria D'Anna
Sandra Uceda Queirós

*Laboratorio de Documentación
Geométrica del Patrimonio
Universidad del País Vasco
(UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz (España)*

Jerónimo Sánchez Velasco
*Asociación Barbaricum.
Universidad Complutense de Madrid
(España)*

Ortiz Akizu Gardoki
*Escuela Universitaria de Ingeniería
de Vitoria-Gasteiz - Universidad del
País Vasco (UPV/EHU),
Vitoria-Gasteiz (España)*

Abstract

A case study of a project for the geometric documentation of a roman mausoleum from the 4th century is used as the overarching element in order to put forward a reflection on some of the steps for the process of documentation itself, as well as on the utility of the outcomes. The main issues considered are: (1) documentation project, (2) three-dimensional modeling, (3) use of different kinds of two-dimensional and three-dimensional representations, (4) Augmented Reality and (5) archive and dissemination of information.

Introducción

La comarca de las Cinco Villas de la provincia de Zaragoza (España) se localiza en el curso medio del río Ebro y cuenta con una importante riqueza de yacimientos arqueológicos de época romana, siendo posible contemplar restos de algunos de los elementos más representativos de su ingeniería como las termas, el foro, un acueducto o una presa. Dentro del término municipal de Sádaba destacan las ruinas de dos mausoleos: el de los Atilios (siglo I d.C) y el denominado como 'la Sinagoga' (siglo IV d.C.). Precisamente sobre este último edificio, desde finales de 2013 hasta principios de 2015, se realizó un proyecto de documentación geométrica que servirá como hilo conductor del presente artículo. A lo largo del texto, se reflexionará sobre algunas de las etapas del propio proceso de documentación, así como de la utilidad de los resultados generados tanto para los potenciales usuarios como para la generación de productos que aporten valor añadido al conocimiento sobre el elemento patrimonial.

El edificio comúnmente conocido como 'la Sinagoga' de Sádaba es una pequeña construcción en piedra y ladrillo de unos 15 x 20 metros de planta en forma de cruz con atrio, los brazos laterales presentan planta semicircular mientras que los otros dos son rectangulares. La fábrica no conserva rastros de decoración y las cubiertas han desaparecido, aún así, las paredes se alzan hasta una altura aproximada de cuatro metros. A unos 80 metros al oeste del mausoleo se aprecian semienterrados los restos de lo que se su-



pone fue una villa que, con toda probabilidad, estuvo relacionada con este edificio (fig. 1).

Existen referencias bibliográficas desde que García Bellido (1962) lo identificase y realizase un primer estudio en 1962, a lo que siguió su declaración como monumento histórico-artístico al año siguiente. Más recientemente, en el año 2003, fue reconocido como Bien de Interés Cultural por el Gobierno de Aragón. A pesar de esta consideración legal -y de su preocupante estado estructural- el mausoleo no había vuelto a ser analizado en detalle ni se han acometido actividades de consolidación o preservación de ningún tipo. Por todo ello, se decidió acometer una documentación geométrica exhaustiva con un doble objetivo: en primer lugar, que los resultados obtenidos sirvieran como reflejo fiel de su estado actual, permitiendo así su estudio futuro en el caso de que se produjese algún cambio significativo (bien porque se acometa una restauración o porque se degrade aún más por el paso del tiempo), en segundo lugar, se pretendía generar una base métrica que posibilitase efectuar análisis sobre el edificio, plantear hipótesis sobre su configuración en el pasado y que, asimismo, sirviese como herramienta para su difusión y puesta en valor.

El proyecto de documentación geométrica de un elemento patrimonial

La documentación de un elemento patrimonial parte de una necesidad que, a su vez, está relacionada con un conjunto de usuarios, pero que también implica a otros agentes como son los responsables del mantenimiento y gestión del bien patrimonial (promotores) y los encargados de desarrollar la documentación (proveedores). El análisis de las necesidades de forma conjunta entre los agentes implicados lleva a la definición del proyecto, entendido como: "...el documento que recoge las necesidades y circunstancias que rodean al elemento patrimonial, propone resultados para satisfacer las necesidades, plantea alternativas tecnológicas, junto a la evaluación de los recursos temporales, instrumentales y económicos de cada una de las alternativas; y en definitiva supone el diseño de la intervención de documentación geométrica." (Valle Melón, 2007, p. 57).

Visto así, el proyecto también puede ser entendido como un proceso de traducción que parte de las necesidades de los múltiples usuarios, definiendo, en primer lugar, las características que deben tener los productos que se generen (precisión, completitud, nivel de detalle, usabilidad, etc.) y, en segundo lugar, seleccionando las metodologías de trabajo más adecuadas y el equipamiento necesario para obtener dichos productos dentro de los recursos disponibles. Así, para el caso de la documentación del mausoleo, se consideró que lo más conveniente era generar un modelo tridimensional con recubrimiento de texturas fotográficas, a partir del cual se obtendrían otros productos métricos y de difusión derivados, cuyas características geométricas se detallan a continuación:

- **Completitud.** El modelo debía abarcar todas las caras visibles de los muros, incluyendo la superior y las superficies internas de las aberturas –puerta y brecha en el brazo oriental-, el suelo del interior y el entorno



próximo en el que se asienta. Los muros del edificio cuentan con dos filas de agujeros pasantes de unos 10x10 centímetros de sección cuyo interior no se consideró necesario modelar.

- Nivel de detalle. En los productos a generar deberían apreciarse con nitidez la disposición de los elementos constructivos (hiladas de piedra y ladrillo, dovelas, huecos...) así como las diferentes patologías que afectan a la estructura (suciedad, colonización vegetal, erosión, expolio...). Para el caso del mausoleo se consideraron adecuadas las siguientes resoluciones: 2-3 cm de lado para los triángulos que formarían la geometría y 1 cm en la textura fotográfica.
- Coordenadas y sistema de referencia. El trabajo requiere posicionamiento absoluto con el fin de ponerlo en relación con otros yacimientos de la zona, así como para poder desarrollar estudios que tengan en cuenta la orientación del edificio o la configuración del terreno circundante. El recurso a coordenadas absolutas (el sistema oficial de coordenadas es UTM-huso 30 en el sistema de referencia ETRS89) también facilita la interoperabilidad temporal ya que los trabajos que se realicen en el futuro podrán representarse en este mismo sistema independientemente de que las señales utilizadas como bases topográficas o apoyo que se establezcan para el presente trabajo hayan desaparecido.
- Precisión geométrica. Se diferencia entre la precisión local del modelo 3D que se contrasta utilizando puntos de control que, a su vez, se miden mediante estación total topográfica y la precisión absoluta que representa la incertidumbre al situar dicho modelo local en el sistema

Fig.1
Vista del mausoleo tomada desde una grúa, al fondo se indica la ubicación de los restos arqueológicos probablemente relacionados con una villa

página contigua

Fig.2
Organigrama
de procesos que
describe las tareas
desarrolladas

global de coordenadas, ésta última se realiza mediante observaciones GNSS (GPS + sistemas equivalentes como Glonass, Galileo, etc.). En el caso del presente trabajo, la precisión local está en el entorno del centímetro mientras que la absoluta es del orden de los 3 centímetros.

Además de satisfacer las características geométricas que se acaban de enunciar, los productos también deberían atender otros criterios como la usabilidad, la transcendencia temporal o el aspecto estético, tal como se irá desarrollando a lo largo de los siguientes apartados.

Ejecución del proyecto de documentación

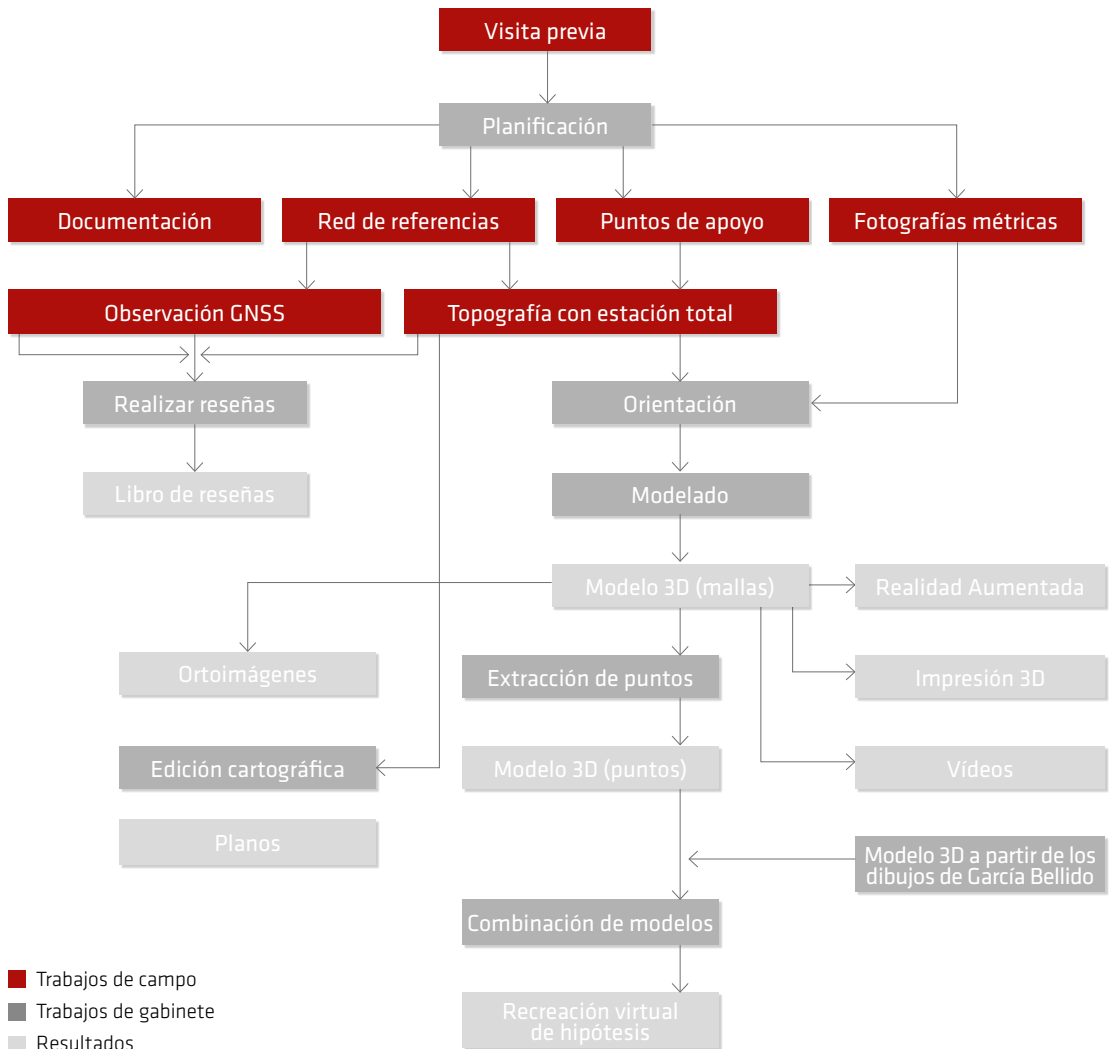
Definidos los productos a obtener con sus características correspondientes y teniendo en consideración los recursos disponibles y el resto de condicionantes, el siguiente paso consiste en establecer el organigrama que estructura las diferentes fases del trabajo (fig. 2).

Con respecto a los trabajos de campo, actualmente existen dos tecnologías predominantes para la captura masiva de información: la fotogrametría y los escáneres láser. En el caso del mausoleo, se decidió realizar una documentación de detalle mediante fotografías convergentes realizadas con cámara calibrada¹⁶ que permitiesen la obtención del modelo 3D con textura fotográfica, en especial mediante programas que utilizan la metodología denominada de *Structure from Motion* (SfM) ya que ofrecen un gran nivel de automatización. Con el fin de disponer de una buena geometría de las tomas, se obtuvieron fotografías a nivel del suelo tanto del interior como del exterior, además, para alcanzar el recubrimiento de las partes superiores del edificio se recurrió a un camión grúa con cesta. Por otro lado, tal como se ha comentado anteriormente, la fotogrametría se apoyó mediante medidas topográficas convencionales con estación total y también se realizaron observaciones GNSS a satélites con el fin de definir el sistema de coordenadas del proyecto –coincidente con el sistema global de la cartografía oficial- de una manera precisa y controlable.

La fase de campo se ejecutó en tres días (sin contar la visita preliminar que se realizó unos meses antes), realizándose durante el mes de septiembre dado que ofrecía varias circunstancias propicias: en primer lugar, el campo contiguo al mausoleo ya estaba cosechado por lo que se podría trabajar en el entorno sin ocasionar perjuicios ni molestias, por otro lado, la duración de los días y las condiciones climáticas eran adecuadas, disponiendo de una iluminación homogénea muy favorable para la captura fotográfica. El software que se utilizó para la generación del modelo 3D a partir de las fotografías fue *Agisoft Photoscan*[®]. En total se utilizaron 190 imágenes seleccionadas de las más de 700 que se adquirieron, obteniéndose un modelo con unas 25 millones de caras, siendo la longitud de los lados de los triángulos de unos 5 mm y resultando una densidad de aproximadamente 15.000 puntos por metro cuadrado.

Aunque, en esencia, los pasos para la obtención del modelo 3D de superficies con texturas fotográficas son los mismos que en los modelos realizados desde principios de la década del 2000 a partir de fotografías sueltas y

¹⁶ En concreto, se utilizó una cámara Canon EOS Mark II, de 20 Mpx y objetivo fijo de 21 mm.



una geometría definida por métodos topográficos, los programas de fotogrametría convergente, como el utilizado, han supuesto una mejora muy significativa en cuanto a las posibilidades de obtener modelos 3D, ya que automatizan en gran medida todo el proceso. Así por ejemplo, el procesamiento del modelo de mausoleo supuso aproximadamente una semana de trabajo, siendo la mayor parte del tiempo proceso de la máquina y requiriendo una mínima participación del operador (seleccionar y cargar las fotos a procesar e indicar el apoyo para la orientación absoluta). A pesar de todo, no se debe olvidar que aún es necesario comprobar que el resultado cumple con las expectativas de precisión, nivel de detalle, estética, etc., que se han definido, lo cual sigue demandando una participación activa. Los controles se basan en criterios visuales y métricos, para estos últi-

Fig.3
Distribución de los puntos utilizados para el control de la precisión geométrica del modelo en toda su extensión

página contigua

Fig.4
Secciones longitudinal y transversal del edificio que muestran además los alzados interiores mediante ortoimágenes

Fig.5
Vistas panorámicas del mausoleo desde el interior y desde el exterior. Ambas generadas proyectando en primer lugar la nube de puntos sobre el cilindro auxiliar marcado en la planta que, en un segundo paso, se desarrolla

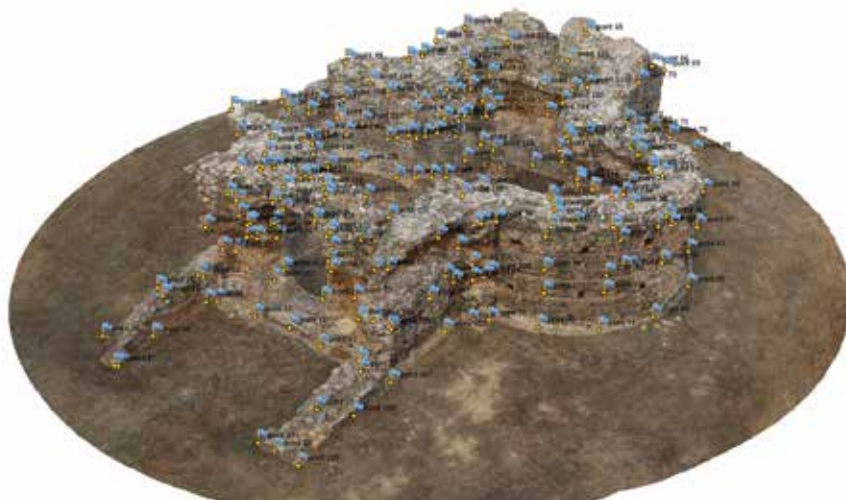
Tabla 1
Clasificación de los productos generados en función de su carácter dimensional (2D ó 3D) y su finalidad principal como documento métrico de trabajo o como producto de difusión

	3D	2D
Uso métrico	<ul style="list-style-type: none"> Modelo 3D (mallas) y Modelo 3D (nube de puntos), ambos en formatos reconocibles por sistemas CAD y de modelado tridimensional. Se han generado varias versiones con diferentes resoluciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Planos de planta, alzados y secciones con ortoproyección de las texturas reales correspondientes.
Fines de difusión	<ul style="list-style-type: none"> Modelos 3D reducidos en formatos <i>pdf</i> y <i>kmlz</i> (<i>Google Earth</i>®). Modelo 3D (nube de puntos) en formato VRML y organizado por niveles de detalle para su visualización interactiva en navegadores web. Modelo 3D que muestra una hipótesis del estado original del edificio en el momento de su construcción. Anáglifos. Videos que muestran recorridos sobre el modelo 3D. Aplicaciones para visualizar los modelos 3D mediante Realidad Aumentada. Maqueta impresa en 3D. 	<ul style="list-style-type: none"> Colección de fotografías. Vistas en desarrollo (panorámicas) del interior y del exterior del edificio.

mos, se dispuso de un conjunto de puntos de apoyo (unos 200) distribuidos regularmente por todas las superficies a modelar (fig. 3). En nuestro caso, se compararon las coordenadas que se obtuvieron por medición directa en campo y las medidas en sobre el modelo tridimensional de los mismos puntos, obteniendo una discrepancia promedio de 3 mm en cada una de las componentes XYZ y no apareciendo zonas con errores anormalmente altos, siendo estos valores acordes con las expectativas de precisión que se habían propuesto al inicio del proyecto.

Obtención de productos métricos y de difusión

A continuación se describirán los productos obtenidos, clasificados en la siguiente tabla (tabla 1) en función de su carácter dimensional (2D / 3D) y del uso previsto (métrico o de difusión).

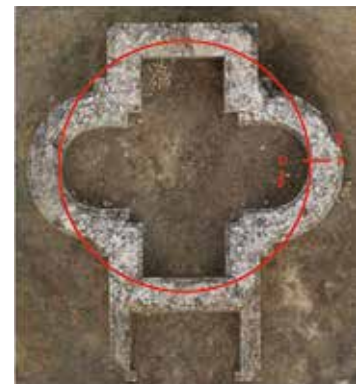
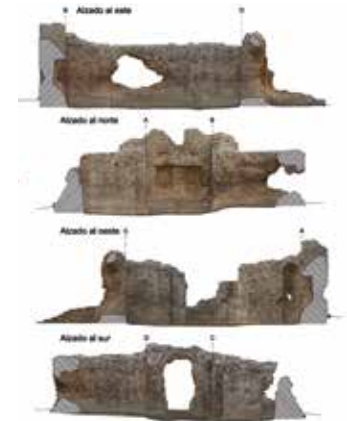
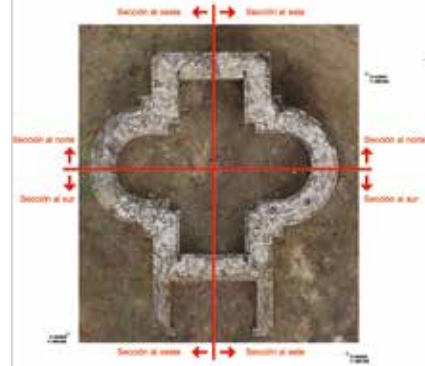


El modelo 3D generado se presenta en formatos estándares de intercambio (*ply* y *obj*) para evitar dependencias con respecto a ningún software específico. Por otro lado, con el fin de popularizar la utilización del modelo 3D, favoreciendo así la generación de nuevos productos y la aportación de valor añadido al trabajo por parte de nuevos usuarios, se prepararon también versiones simplificadas de 5 y 2,5 millones de caras respectivamente en los mismos formatos antes indicados y, además, en formato *pdf*. Asimismo, se generó un modelo en formato *kmz* para su exploración a través del globo virtual de *Google Earth*[®], para ello, el modelo se redujo a 10.000 caras.

Por otro lado, a partir del modelo 3D también se ha generado un conjunto de anáglifos y vídeos que permiten explorar el elemento en aplicaciones que no requieran interactividad directa por parte del usuario.

Pasando ahora a la descripción de los productos 2D derivados del modelo para fines métricos, se ha preparado la colección de planos que muestran las vistas en planta y alzados con imagen ortofotográfica (fig. 4). Este tipo de productos que incorporan a los alzados arquitectónicos la imagen fotográfica se han venido utilizando con gran rendimiento en los estudios históricos de los edificios desde los inicios de la década del 2000 –entre otros, se pueden mencionar los trabajos de Parenti (2002), Almagro (2008), Gilento (2014) o Souto-Vidal et al. (2015)–, siendo de uso generalizado en la actualidad. Asimismo, también se han generado secciones definiendo planos de corte. La escala de representación utilizada en todos los casos ha sido de 1:50, lo que requiere un tamaño de píxel de las imágenes no superior al centímetro, siendo acorde con los valores de precisión y resolución obtenidos.

Además del modelo de mallas, también se ha exportado para su difusión el modelo con la nube de puntos coloreada. Por lo general, el modelo de superficies se suele considerar como un producto más refinado que la nube de puntos y, de hecho, es frecuente que los puntos se utilicen como paso previo para la obtención de dicho modelo de superficies, a partir del cual se obtendrán los subsiguientes productos como las ortoimágenes. No obstante, es importante remarcar que algunos productos también pueden obtenerse directamente de la nube de puntos y que, en ocasiones, puede ser incluso ventajoso realizarlo de esta manera (Georgopoulos et al., 2005; Arrighetti and Cavalieri, 2012; Casinello et al., 2014). Así por ejemplo, la siguiente imagen (fig. 5) reproduce dos vistas: la panorámica que tendría el



Desarrollo visto desde el exterior



Desarrollo visto desde el interior

visitante del edificio si se situase en su interior y girase toda la vuelta de horizonte y la vista que se genera al rodear el edificio mirando en todo momento hacia él. Para obtenerlas, se ha procedido a proyectar cada punto de la nube sobre el cilindro auxiliar que se indica sobre la planta y, en un segundo paso, dicho cilindro se ha desarrollado. Estas vistas no son métricas pero sirven para complementar la interpretación del edificio.

Una particularidad de los puntos es que son elementos inconexos, por este motivo, al acercarnos en la visualización y conforme los puntos se separan y se aprecia el hueco entre ellos, se pierde la noción del elemento que se está representando. De hecho, esta sensación de que la nube de puntos corresponde a un elemento sólido es, en realidad, una interpretación que realiza el usuario, ayudado por el hecho de que, para su representación, a los puntos se les debe asignar un tamaño finito (al menos de una celdilla en la pantalla del monitor) y que si nos situamos a una distancia suficiente, la densidad de puntos ofrecerá una continuidad de celdillas ocupadas que produce dicha impresión de estar visualizando un elemento macizo (fig. 6). Esta característica sirve, de manera indirecta, para marcar un límite de manera visual, lo que puede emplearse provechosamente a la hora de presentar una recreación virtual. En efecto, al realizar un modelo virtual que represente una hipótesis y conforme a los criterios establecidos en la Carta de Londres² y los Principios de Sevilla³, así como los que se inducen de la aplicación de la Directiva INSPIRE⁴ al patrimonio, es interesante que el producto resultante, además de ser visualmente atractivo, informe sobre las propiedades de las fuentes de información utilizadas y del grado de fiabilidad de las hipótesis de reconstrucción que se muestran. En el contexto del presente proyecto, se ha realizado un modelo virtual que muestra la hipótesis presentada por García Bellido en 1962, al mismo tiempo que permite ver el estado actual de los restos, lo que supone la forma más básica de la representación multitemporal (Stefani et al., 2011). A continuación se describe con algo más de detalle el proceso de generación y las características de este producto.

En primer lugar se generó el modelo de la reconstrucción. Como se trata de una hipótesis y queremos que sea entendida como tal, en lugar de presentar una recreación con un elevado nivel de evocación (como el dibujo original de García Bellido), se confeccionó un modelo con una geometría esquemática y sin ningún tipo de textura, en el que sólo se identifican mediante los colores gris y naranja las partes en piedra y los tejados. Además, a este modelo se le aplicó un cierto grado de transparencia con lo que se consigue: en primer lugar, aumentar el esquematismo, en segundo lugar, permitir una visión simultánea del interior y del exterior del modelo y, en tercer lugar, facilitar su combinación con el modelo que muestre el estado actual.

En la siguiente imagen (fig. 7) se muestra la combinación de este modelo hipotético junto al estado actual, representado mediante la nube de puntos, en la que la propia densidad de los puntos informa de una manera visual sobre la completitud del registro y su nivel de detalle.

² <http://www.londoncharter.org/> (acceso en septiembre de 2016).

³ <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/PRAGUE/096.pdf> (acceso en septiembre de 2016).

Otro producto de difusión que se ha generado es una aplicación que permite visualizar el modelo tridimensional sobre el plano en planta mediante Realidad Aumentada, de forma que pueda ser analizado por medio de dispositivos móviles (teléfonos o tabletas).

Como es conocido, la representación tradicional mediante planos permite el uso métrico a profesionales, sin embargo, es una representación difícil de entender por el público en general, por ello la aplicación de la Realidad Aumentada puede ser de gran utilidad ya que facilita la interpretación de estos productos y añade un valor añadido al combinarlo con el modelo 3D. La aumentación de elementos físicos como libros, folletos, etc., es un proceso bien establecido (De Paolis, 2012; Chrysanthi et al., 2012; Ha and Woo, 2014) que también tiene su aplicación a los planos topográficos y arquitectónicos, de esta manera, se pueden conjugar las representaciones métricas en planta y alzados con un modelo 3D interactivo que el usuario puede visualizar y manejar a través de un dispositivo móvil. En este caso, dado que los bordes de la vista en planta están bien definidos, el contraste de la imagen ha permitido utilizarla como marcador (fig. 8), de manera que se consigue:

1. Por un lado, el plano sigue siendo utilizable como documento métrico tradicional ya que no existen elementos extraños como podrían ser los marcadores codificados que se suelen utilizar en muchas aplicaciones de Realidad Aumentada (Ruiz Torres, 2013, p. 35).
2. Al crecer el modelo 3D sobre la vista en planta es más evidente la relación que existe entre el modelo y sus representaciones 2D.

Para la realización de esta aplicación de realidad aumentada se utilizó el software *Qualcomm Vuforia*[®] sobre el entorno de *Unity 3D*[®].

Por último, también se ha generado una maqueta impresa del modelo. En nuestro caso, la impresión se realizó con una impresora *HP Designjet Color 3D Printer* (fig. 9) que utiliza dos materiales (modelo y soporte) que se presentan en bobinas separadas y que se aplican a 300°C de temperatura. La impresión se realizó en capas de 0,254 mm de espesor y requirió unas 14 horas. Una vez finalizada, se procedió a eliminar el material de soporte, liberando así el modelo, este proceso puede realizarse bien de manera mecánica (por ejemplo, rascando con una cuchilla) o mediante un procedimiento químico en el cual se introduce la réplica en un dispositivo (*HP Designjet 3D Removal System*) que lo mantiene sumergido en una solución química que disuelve el material de soporte (este proceso requiere unas 12 horas).

La utilidad de la maqueta física es visual pero también permite acceder al modelo 3D mediante el tacto, lo cual es muy interesante para crear discursos expositivos novedosos o dirigidos a colectivos como personas invidentes, niños, etc.

Preservación de la información

Otro de los objetivos del trabajo realizado consistía en que la información quedase disponible para permitir el estudio del monumento tanto en la actualidad como en el futuro. El problema de la preservación de la infor-



Fig. 6
Vista de la nube de puntos conjuntamente con el modelo volumétrico vectorial de las principales aristas (líneas negras). Los puntos del primer plano se aprecian separados mientras que los de la pared posterior dan la impresión de continuidad

Fig. 7
Dos vistas del modelo esquemático de la hipótesis de reconstrucción superpuesto a la nube de puntos correspondiente al estado actual

⁴ Directiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de marzo de 2007 por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea.



Fig.8
Ejecución de la aplicación de Realidad Aumentada generada con el modelo 3D sobre la imagen en planta de la representación cartográfica

página contigua

Fig.9
Modelo en formato de estereolitografía en el programa de modelado 3D Meshlab® (arriba), impresora 3D utilizada (medio) y resultado de la impresión (abajo) que corresponde a una réplica en resina a escala 1:100 del original

mación no se circunscribe solamente al almacenamiento de los datos sino que también es necesario atender al cumplimiento de las siguientes características: trascendencia, localización, lectura, comprensión y credibilidad, entendidas de la siguiente manera (Rodríguez Miranda, 2014, p. 11):

- Trascendencia, alude al hecho de que la información siga existiendo en el futuro.
- Localización, indica la capacidad del usuario de conocer la existencia de dicha información y tener acceso a ella.
- Lectura, denota la capacidad del usuario de reproducir los datos (visualizar, leer, etc.).
- Comprensión, representa la facultad de entender el significado de la información.
- Credibilidad, se refiere al hecho de que el usuario disponga de criterios para determinar si la información es válida para el contexto en que desea utilizarla.

A este respecto, el organigrama que se ha presentado (fig. 2) resulta ser una herramienta fundamental para posibilitar la reutilización de la información ya que permite navegar desde los datos brutos a los resultados mostrando en todo momento la trazabilidad de los productos que se pretenden reutilizar, permitiendo su replicación y facilitando la generación de nuevos resultados a partir de los datos existentes. Con el fin de abordar los criterios mencionados de comprensión y credibilidad, el organigrama debe ser conocido por el usuario y, además, debe acompañarse con la expli-

citación de las necesidades que originaron el proyecto, así como de su contexto de realización y de la descripción de las características de los registros, los procesos que se han aplicado y los resultados que se han obtenido. Toda esta información se incluye en la memoria del proyecto.

Por otra parte, el criterio de lectura implica a los formatos utilizados para el almacenamiento, gestión y difusión de la información. La selección de dichos formatos está condicionada, en primer lugar, por la funcionalidad que se desee dar a la información (por ejemplo, si se desea que dicha información pueda ser explorada en 3D de forma interactiva, que forme parte de una base de datos, que sea visualizable a través de la web, etc.) y, en segundo término, por las capacidades de los usuarios tanto en lo referente a su disponibilidad del equipamiento necesario para cargar la información (combinación de software y hardware) como por lo que respecta a su habilidad para manejar dicho equipamiento. Como consecuencia de lo anterior, queda claro que es necesario determinar quiénes van a ser los usuarios de la información -tanto actuales como futuros- de manera que se puedan adaptar los productos que se generen a sus particularidades.

Por último, con el fin de atender a los criterios de trascendencia y localización es conveniente que la información seleccionada (memoria, fotografías, modelos 3D, planos, etc.) se disponga en servidores que se encarguen de su mantenimiento, proporcionen visibilidad a los datos y faciliten el acceso al conjunto de usuarios que ha sido previamente definido. A este respecto, son de gran interés los repositorios institucionales (Rodríguez Miranda et al., 2013) que es la opción utilizada en este caso.

Exposición de los resultados

En el apartado anterior se ha apuntado la necesidad de identificar a los usuarios de la información que se genera. En el caso del mausoleo, el conjunto de usuarios está compuesto por los técnicos de las administraciones encargadas del mantenimiento del monumento, los investigadores de diversos campos que lo estudian, los docentes y estudiantes que pueden aprovechar esta información en el ámbito formativo y, finalmente, el público en general que se interese por estos productos debido a su valor divulgativo, cultural o turístico.

Esta multiplicidad de usuarios induce a desarrollar estrategias particularizadas de exposición de los resultados, aumentando así la eficiencia a la hora de difundir el trabajo realizado y permitiendo, además, conocer la experiencia de dichos usuarios al utilizar la información. Veamos algunos ejemplos:

1. En primer lugar, se realizó una presentación detallada del trabajo a los agentes directamente involucrados (ayuntamiento, arqueólogos que desarrollan su trabajo en los yacimientos del entorno, etc.) de forma que pudieran conocer de primera mano las características y posibilidades del material generado.
2. En segundo lugar, la información se ha dispuesto en la web a través del repositorio institucional de la Universidad del País Vasco para su acce-



página contigua

Fig.10

Dos momentos de la exposición pública del trabajo realizado. La imagen superior corresponde a la explicación de los trabajos de campo, la imagen inferior muestra la presentación de los productos (en concreto el modelo de Realidad Aumentada) en el salón de actos del Ayuntamiento de Sádaba

so público⁵. Los repositorios institucionales de las diferentes universidades, centros de investigación e instituciones culturales están conectados entre sí y son accesibles desde catálogos unificados como Recolecta⁶ o Hispana⁷. Asimismo, los enlaces al repositorio también pueden realizarse desde páginas web externas, redes sociales o mapas navegables lo que permite acercar su contenido a un amplio espectro de usuarios y contextos de utilización. Respecto al control de la utilización de este recurso, se cuenta con las estadísticas generadas por el propio repositorio que permiten contabilizar el número de visitas y las descargas de cada uno de los ficheros suministrados así como identificar la procedencia de los usuarios.

3. Por otro lado, se realizó una exposición de carácter más general a los vecinos del lugar. La ocasión surgió con motivo de las jornadas divulgativas organizadas en abril de 2015. La presentación –a la que acudieron vecinos del entorno, arqueólogos, representantes institucionales, escolares, etc.- comenzó con una visita a campo en la que el arqueólogo responsable de las excavaciones en el vecino yacimiento de Los Bañales realizó una contextualización histórica del monumento, tras la que se describió el proceso de registro de la información a la vez que se mostró el instrumental utilizado durante la captura de datos, de forma que los asistentes pudieron conocer *in situ* cómo se realizó esta parte del trabajo. Posteriormente, en una sesión en el Ayuntamiento de Sádaba, se explicó cómo se habían procesado los datos y se mostraron los diferentes resultados obtenidos. En esta sesión, los asistentes tuvieron a su disposición los planos, pudieron explorar los modelos 3D en el ordenador y descargarse la aplicación de Realidad Aumentada en sus dispositivos móviles (fig. 10).
4. Finalmente, también es reseñable la utilización con fines docentes. A este respecto, los resultados del trabajo se han presentado como ejemplos de la metodología de documentación geométrica de elementos patrimoniales en actividades de divulgación científica en la Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz y, además, se ha generado un vídeo didáctico que muestra el proceso de impresión 3D de la maqueta⁸.

Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolla un proyecto de documentación de un bien patrimonial, el proceso abarca desde el análisis de la necesidad que origina el trabajo, la planificación, la toma de datos en campo, el procesamiento de la información y la generación de los resultados, la difusión de dichos resultados y la comprobación de su utilización por parte de los usuarios. Dicho trabajo ha permitido presentar una amplia variedad de productos tanto con fines métricos como de difusión en 2 y 3 dimensiones y trata de ofrecer una panorámica actualizada del estado de algunas de las herramientas y tecnologías en uso de la documentación de los bienes patrimoniales como son las nuevas aplicaciones informáticas para el procesamiento de datos mediante algoritmos de fotogrametría convergente, los

⁵ <http://hdl.handle.net/10810/14963> (acceso en octubre de 2015).

⁶ <http://recolecta.fecyt.es/> (acceso en octubre de 2015).

⁷ <http://hispana.mcu.es/> (acceso en octubre de 2015).





modelos virtuales y de Realidad Aumentada, las posibilidades de impresión 3D o la difusión a través de las redes de repositorios institucionales.

Los principios metodológicos expuestos y las técnicas descritas en este documento provienen de la experiencia acumulada y han sido aplicados y testados en numerosos elementos patrimoniales de tipología diversa durante los últimos años. No obstante, más allá de la exposición puntual de un ejemplo, en el presente artículo, se ha pretendido plasmar un conjunto de fundamentos que pueden extrapolarse a la documentación de una amplia gama de elementos patrimoniales, especialmente los que tienen una componente material y una vinculación espacial con el territorio.

Otro aspecto que deseamos destacar es la adaptación del trabajo a los usuarios y usos que se pretenden dar a los resultados. Para ello, se ha partido del establecimiento de las características que deben cumplir los productos a generar y la definición de las acciones que se van a llevar a cabo para verificar que efectivamente se han conseguido. Una vez obtenidos los resultados, ha sido preciso asegurar que llegasen a los usuarios previstos y que éstos fueran capaces de realizar el uso de manera satisfactoria, en este punto es donde han intervenido las estrategias de preservación y difusión de la información, pero también la comunicación bidireccional con los usuarios que permite conocer su experiencia de uso, posibilitando así la corrección de incidencias y la puesta en valor del trabajo realizado.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Ayuntamiento de Sádaba por su interés en el proyecto y su apoyo logístico durante el trabajo de campo y su exposición pública. Asimismo, queremos agradecer al Dr. Javier Andreu y al resto del equipo del proyecto los Bañales (<http://www.losbanales.es/>) por las múltiples gestiones realizadas, por el interés mostrado y su colaboración en todo momento para que este proyecto culminase con éxito.

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=yymGWh4tmyw> (acceso en octubre de 2015).

Bibliografía

- Almagro A. 2008. *La puerta califal del castillo de Gormaz*. «Arqueología de la Arquitectura», 5, pp.55-77.
- Arrighetti A., Cavalieri M. 2012. *Il rilievo fotogrammetrico per nuvole di punti RGB della "Salla Triabsidata" del sito archeologico di Aiano-Torracci di Chiusi (SI)*. «Archeologia e Calcolatori», 23, pp. 121-133.
- Casinello P., Álvarez M., Rodríguez R., Miranda M., Ramos L.A., Azorín V. 2014. *Levantamiento del comedor del IETcc: una crónica de la innovación en la representación de edificios*. «Informes de la Construcción», 66(536), <doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.023>>
- Chrysanthi A., Papadopoulos C., Frankland T., Earl G. 2012. *'Tangible Past': User-centred design of a Mixed Reality application for cultural heritage*, in *CAA2012 Proceedings of the 40th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Southampton (UK), pp. 31-39.
- De Paolis L.T. 2012. *Applicazione interattiva di Realtà Aumentata per i beni culturali*. «Scires-it», 2(1), pp. 121-132. <doi: <http://dx.doi.org/10.2423/122394303v2n1p121>>
- García Bellido A. 1962. *La villa y el mausoleo romanos de Sádaba*. «Archivo Español de Arqueología», 35-36, pp. 166-170.
- Georgopoulos A., Makris G.N., Dermentzopoulos A. 2005. *An alternative method for large scale orthophoto production*. In *Proceedings of CIPA 2005 XX International Symposium, Torino (Italy)*. <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/TURIN/300.pdf>> (04/2016).
- Gilento P. 2014. *La chiesa dei Santi Sergio e Bacco, Umm as-Surab (Giordania). Risultato storico-costruttivo dall'analisi archeologica degli elevati*. «Arqueología de la Arquitectura», 11, <doi: <http://dx.doi.org/10.3989/arq.arqt.2014.015>>
- Ha T., Woo W. 2014. *Design considerations for implementing an interactive DigilLog book*, in *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage. Documentation, Preservation and Protection*. Springer International, pp. 732-739.
- Parenti R. 2002. *Dalla stratigrafia all'archeologia dell'architettura. Alcune recenti esperienze del laboratorio senese*. «Arqueología de la Arquitectura», 1, pp. 73-82.
- Rodríguez Miranda Á., Valle Melón J. M., Porcal-Gonzalo M.C. 2013. *Enriching the content provided by cultural catalogues with data from institutional repositories*. «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 11-5/W1, pp. 277-282. <doi: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-11-5-W1-277-2013>>
- Rodríguez Miranda Á. 2014. *Documentación espacial del patrimonio: preservación de la información. Necesidad, posibilidades, estrategias y estándares*. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco, Vitoria-Gasteiz (España). <<http://hdl.handle.net/10810/13617>>
- Ruiz Torres D. 2013. *La realidad aumentada y su aplicación en el patrimonio cultural*. Trea. Gijón (España).
- Souto-Vidal M., Ortiz-Sanz J., Gil-DoCampo M. 2015. *Implementación del levantamiento eficiente de fachadas mediante fotogrametría digital automatizada y el uso de software gratuito*. «Informes de la Construcción», 67(539), <doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.098>>
- Stefani C., Busayarat C., Renaudin N., De Luca L., Véron, P., Florenzano M. 2011. *An image-based approach for the architectural modeling of past states*, in *ISPRS Trento 2011 Workshop, Trento (Italy)*. <<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-5-W16/397/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-397-2011.pdf>> (04/2016).
- Valle Melón J.M. 2007. *Documentación geométrica del patrimonio: propuesta conceptual y metodológica*. Tesis doctoral, Universidad de La Rioja, Logroño (España). <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=18561>>

Il castello crociato di Qala'at al-Bahr a Sidone. Contributo alla storia degli insediamenti d'Oltremare attraverso l'analisi dei paramenti murari e delle marche lapidarie

Gabriela Frulio

Ministero dei Beni e delle Attività
Culturali e del Turismo

pagina a fronte

Fig.10

Particolare del paramento a bugnato, si rileva lo stato di degradazione del lapideo arenaceo che non consente più la lettura delle bugne e delle eventuali marche lapidarie

pagina seguente

Fig.1

Vista del castello sul fronte a mare

Abstract

The practice to mark blockstones with etched signs by craftsmen is a well known method they used to highlight their work, in order to be paid (piece-rates marks) or to identify the location of the block (position marks). The Glyptography assists the studies above the craftsmen related to their way to be associated. The Saida sea-castle of Qala'at al-Bahr was erected during the Crusade period, by a group of pilgrim builders from France, England and Spain. The structures of the castle are plenty of blockstone marks, most of these are piece-rates marks, with recurring signs. This case-study, also considering the particular construction techniques of bugnato style, could be a reference point for the Crusade archaeology. The quality of the great number of marks confirms the thesis above the nature of land occupation by crusaders. It took place by not only monks, soldiers or merchants, but also by groups of builders, which stabilized at least for the last of construction.

Introduzione

Il sistema fortificato di Saida, l'antica Sidone, ha rivestito un'importanza strategica per la stabilità degli equilibri politici e commerciali degli Stati franchi dalla metà del XIII secolo, parte del circuito di città portuali fortificate che costituivano i centri portanti del regno latino di Gerusalemme, assumendo su di esse la funzione di accesso al percorso assistito per i pellegrini, di rete viaria militare e di percorso di transito commerciale, sia internazionale che, non meno rilevante, locale.

Il castello a mare di Qala'at al-Bahr, fondato nella prima metà del XIII sec., è stato più volte oggetto di incursioni e danneggiamenti e rimane ad oggi, pur in stato di parziale rudere, in buona consistenza materiale.

Gli interventi manutentivi e ricostruttivi che hanno interessato la struttura negli anni del suo utilizzo, nonché i radi interventi di restauro nel recente passato, non ne hanno alterato la generale leggibilità e, a differenza di altri casi, hanno mantenuto inalterata la generale autenticità materiale testimoniata anche dal permanere pressoché inalterato dei paramenti murari originari.







Le strutture della cinta muraria esterna e di alcuni fabbricati interni conservano ancora numerose marche lapidarie testimonianza delle tecniche costruttive e dell'organizzazione del lavoro edile in terra d'Oltremare durante il XIII secolo.

Come è noto i segni lapidari degli scalpellini sono il marchio tangibile dell'organizzazione del lavoro delle maestranze edili che, e per ragioni di pagamento a cottimo sia in cava che in cantiere, e per indicare un qualsivoglia posizionamento, solevano incidere dei grafi sulla superficie lapidea, generalmente segni di identità di una bottega o segni di utilità, questi ultimi per così dire alfabeto da cavatori o da operai.

Posto che la consuetudine di marcare il prodotto del lavoro di cava e di scalpello è una tradizione di origine orientale (i primi grafi delle marche lapidarie corrisponderebbero ad alfabeti pre-fenici), poi mutuata dall'età romana fino al medioevo mitteleuropeo (uno per tutti Sansen, 1975), è indubbio che a partire dal XII secolo la glyptografia di cottimo sia stata elemento distintivo proprio dell'organizzazione sociale del cantiere di marca occidentale, prevalentemente di committenza religiosa.

Famiglie di marche lapidarie si riscontrano in Libano nel sito fenicio di Byblos, commiste ad altre di età crociata afferenti alle fortificazioni del castello, entrambe databili e distinguibili in relazione alle strutture murarie ospitanti; cosiccome si riscontrano marche nei siti romani di Tiro e Baalbek.

Fig.2
Torrione
meridionale



Il presente lavoro è teso ad argomentare il significato della presenza crociata nelle terre d'Oltremare, aggiungendo alla tradizionale lettura stilistico formale dei manufatti cristiani d'Oriente anche la lettura tecnico costruttiva degli elevati attraverso lo studio delle marche lapidarie.

La specificità di una "archeologia crociata" è ormai scientificamente definita; dalla metà degli anni 'Ottanta ha potuto sviluppare un suo potenziale storico autonomo nella interpretazione, o reinterpretazione, di una molteplicità di aspetti inerenti le forme non solo materiali del bisecolare insediamento occidentale, fornendo i dati attraverso cui leggere le modalità di inserimento della società feudale crociata nelle terre d'Oltremare. In un tale quadro, superando il classico approccio monumentale allo studio delle architetture crociate, vengono ad acquisire una nuova dimensione documentaria ed un nuovo contesto interpretativo anche le peculiarità tecnico costruttive del modo degli europei di edificare in Oriente, riaffrontando la questione dei rapporti e delle reciproche influenze fra i saperi tecnologici delle due sponde del Mediterraneo medievale (Vannini, 2006).

Ai primi studi di stratigrafia degli elevati si stanno affiancando anche sporadiche campagne di censimento delle marche lapidarie, quali indicatori di rilievo edile, tese ad identificare, oltre che cronotipologicamente, almeno su scala locale, le specificità della tecnica costruttiva franca.

Il cospicuo numero di marche rinvenute nel castello a mare di Saida corrobora la tesi che l'occupazione delle terre d'Oriente non avvenne solo ad

Fig.3
Torrione
settentrionale



opera di monaci, militari e commercianti, ma dimostra che ad essi si accompagnarono, stabilizzandosi almeno per la durata del cantiere, anche le maestranze edili. Con le Crociate pertanto non viaggiarono soltanto le idee, ma in tema di produzione architettonica, può dirsi con certezza che viaggiarono anche architetti e maestranze che realizzarono le principali fabbriche secondo medesime tecniche costruttive e medesime logiche di organizzazione, anche sociale ed economica, del cantiere medievale europeo.

Il castello di Qala'at al-Bahr

La storia del castello a mare di Sidone si incrocia con le note vicende della scomunica di Federico II e della sua impresa in Terrasanta nel 1228, risoltasi con l'accordo del febbraio del 1229 in base al quale il sultano al-Kāmil riconsegnava ai cristiani Gerusalemme ed altre terre fino a mare, compresi i piccoli distretti intorno a Sidone.

Mentre i Cavalieri Teutonici costruivano i castelli di Monfort e di Jiddin, nel 1227 in attesa dell'arrivo di Federico II un gruppo di pellegrini francesi, inglesi e spagnoli iniziò la fortificazione della difesa di Sidone con la costruzione del castello a mare (Coppola, 2010).

Le truppe dell'Imperatore rimasero in Terrasanta fino alla caduta di Tiro nel 1243, senza mai essere impiegate in scontri con gli eserciti musulmani. Gli unici interventi di architettura militare direttamente attribuibili allo svevo furono la riparazione della Torre di Davide e della Porta di S. Stefano o Porta di Damasco a Gerusalemme (Coppola, 2010), cosicché c'è da ritenere che il castello di Sidone fosse concluso in un tempo relativamente breve e ad opera dei medesimi pellegrini che lo avevano iniziato.

Dopo il 1260, Sidone con altre proprietà, Beaufort e la Cava di Tiron, passò sotto l'egida dei Templari, i quali continuarono a usare la fortezza fino al 1291 (Coppola, 2010), anno della presa dei Mamelucchi che, secondo le cronache, danneggiarono ampiamente il castello a mare.

Lo stanziamento crociato a Sidone significò la realizzazione di un duplice sistema difensivo, localizzando per primo il castello a mare, oggi noto come di Qala'at al-Bahr e, a partire dal 1254 sotto la direzione di Simone di Montbéliard e per disegno di Luigi IX, ristrutturando il castello di terra (Qal'at al-Mu'izz - Château de Saint-Louis). Quest'ultimo è infatti il risultato dell'ampliamento del precedente fortilizio distrutto dal Saladino alla fine del XII sec. (già sulle mura della vecchia acropoli, oggi in stato di rudere e assai poco conosciuto nonostante i restauri del 2014).

Il castello a mare di Qala'at al-Bahr, si erge isolato in un esiguo lembo di terra affiorante nella baia di Sidone, collegato alla terraferma attraverso un imponente ponte fortificato in muratura ad arcate, lungo circa 80 metri, originariamente con struttura lignea.

Campagne archeologiche hanno portato a ritenere che il castello sorga sui resti del tempio fenicio dedicato alla divinità Melkart, l'Ercole romano, come testimonierebbero ad oggi le colonne prevalentemente granitiche riutilizzate nella muratura medievale in luogo di diatoni per rafforzare le compagini della cortina esterna del castello.



Fig.4
Il complesso
fortificato,
dalla torre
meridionale

La dimensione delle colonne tuttavia suggerisce che le stesse, piuttosto omogenee per materiale e rapporti dimensionali, dovevano appartenere ad una struttura di minore respiro rispetto ad un tempio, pur provenendo certamente dal sito arcaico di Sidone ma, con ogni probabilità, inserite nel cantiere fortificato quale materiale erratico recuperato altrove.

Il castello ha impianto quadrangolare, con una cinta che racchiude due strutture turrette di differenti dimensioni. La semplice icnografia quadrata è caratterizzata dai due estremi lobati sul fronte verso terra, uno parte della torre meridionale, l'altro in corrispondenza dello spigolo settentrionale, oggi conservatosi per pochi corsi murari.

Il secondo livello della torre meridionale è realizzato dai Mamelucchi dopo il 1291; la piccola moschea cupolata sul corpo settentrionale è eretta dagli ottomani dopo il XVI secolo, così come il lungo pontile ad archi su speroni. Seriori all'originario impianto duecentesco appaiono anche le strutture del corpo settentrionale, caratterizzate dall'apertura verso il mare di un vano voltato su pilastri polilobati. Nella prima metà del XVII secolo, durante l'epoca fiorente di Fakhr el-Dine Maan II principe druso si registrano interventi di rinnovamento delle strutture del castello, legato alla attività del porto commerciale.



Fig.5
Famiglie
di marche
lapidarie nei
castelli crociati
in Libano. A
sinistra; marca
con freccia
a Sidone; a
destra marca
con freccia nel
castello crociato
di Byblos

Strutture murarie con presenza di paramenti glyptografati

La presenza di marche lapidarie di cotto è stata rilevata distintamente nei soli paramenti murari afferibili alla prima fase di impianto del castello, prevalentemente nella cinta muraria e in uno dei vani voltati nel maschio settentrionale. Le murature apicali delle torri rimaneggiate in epoche successive non presentano marche lapidarie del genere, come pure i resti del vano su pilastri polilobati a ovest. Rimane aperta l'interpretazione della cronologia di alcuni vani addossati allo stesso maschio settentrionale che presentano un elevato livello di degrado della consistenza lapidea, anche oltre il paramento.

Cinta muraria

La maggiore presenza di marche lapidarie, e per numero e per variegata grafia, si riscontra nelle murature di cinta, particolarmente sul fronte esterno verso terra.

Prima di affrontare la disamina delle famiglie di marche *in situ* risulta opportuno sciogliere la questione della attribuzione cronologico/costruttiva di questa porzione muraria, o più appropriatamente di questa porzione di paramento.

Si tratta di una spessa cortina muraria realizzata a sacco con utilizzo massiccio di colonne erratiche in luogo di diatoni al fine di stabilizzare i corsi della muratura, tecnica cosiddetta “dei cunei a cuscino” (Vannini, 2006) o *enboutisse* (Coppola, 2010) propria dei costruttori franchi in Terrasanta ma non meno utilizzata nella stessa Europa continentale dall'altomedioevo. Si tratta di un ri-arrangiamento della più nobile tecnica dell'*opus africanum*, dettato, nei casi di utilizzo, più dalle necessità contingenti che non da istanze di citazione classica. Nel castello a mare di Sidone è indubbia una certa tensione al risultato formale giacché i fusti di colonna sono apparecchiati con regolarità e ordine e sono espressamente denunciati in faccia a vista. Il paramento murario è risolto con bozze lapidee finite a bu-



gnato sulle quali è presente il maggior numero di marche di cottimo e, secondo altre ipotesi interpretative, di posizione.

Apparecchi murari con medesima struttura costituita da colonne diatonici e paramento in bugnato sono presenti anche nella cittadella di Beyruth e nel castello di Byblos, quest'ultimo costruito dai franchi sui resti della città fenicia e romana, con il ben noto reimpiego di bozze lapidee di imponenti dimensioni. Inoltre, anche in questa struttura crociata, pur in minore quantità, sono presenti marche lapidarie.

La problematica da sciogliere, che lega i paramenti murari del castello di Saida a quelli di Byblos, riguarda la possibile attribuzione delle porzioni trattate a bugnato all'età fenicia o romana piuttosto che all'età medievale, giacché questo tipo di soluzione per paramento risulta ampiamente utilizzato dal X secolo a.C. in area Palestinese e, nello stesso Libano, permane nelle strutture arcaiche del sito di Byblos e nell'area sacra del tempio di Eshmoun o Eshmun nei pressi di Sidone.

Né risulterebbe determinante la presenza dei segni degli scalpellini sulle bozze in quanto la consuetudine di marcare il lavoro a cottimo è, come si è detto in premessa, documentata anche in strutture di età fenicia e romana ed i marchi utilizzati, nel repertorio più stilizzato, sembrano spesso ricorrere.

Passando attraverso l'identificazione delle incisioni glyptografiche rinvenute nelle strutture medievali del castello di Byblos, tuttavia assai scarse in relazione all'estensione delle superfici murarie, è possibile identificare con un buon margine di certezza i paramenti ad esse associate, marcati in quanto opera *ex novo* o comunque rilavorata. Concorrono i tracciamenti di cantiere incisi sugli enormi blocchi di reimpiego, che disegnano i concetti sagomati con incastro a dente poi effettivamente realizzati ed apparecchiati nell'ogiva del portale del maschio.

Non deve trascurarsi che la tecnica costruttiva a bugnato è utilizzata durante tutto il medioevo occidentale particolarmente per le strutture forti-

Fig.6
Segni
costruttivi nel
castello crociato
di Byblos
(tracciato e
realizzazione in
opera)

pagina seguente

Fig. 7
Accesso
al castello
attraverso il
ponte ad arcate







Fig.8
Resti della sala
con pilastri
polilobati sul
lato a mare del
castello

ficato e che inoltre la tipologia ricorrente in Terrasanta, ed in Libano anche nel castello di Beaufort, sembra una naturale conseguenza di adattamento alle tecniche difensive più antiche presenti nel territorio (Marino, 1997). Si tratta di una soluzione di finitura delle bozze particolarmente congeniale alle strutture fortilizie che ben si adattava alle esigenze degli Stati franchi, in quanto economica sotto il profilo realizzativo (lisciatura della sola cornice di bordo) e performante sotto l'aspetto difensivo.

A minimizzare le criticità sulla autenticità costruttiva del paramento della cinta del castello di Saida contribuisce infine l'analisi di una porzione del suo tratto settentrionale: la sezione di una colonna è stata perfettamente incastonata in due conci di arenaria dai profili bugnati sagomati *ad hoc*, con andamento semicircolare della cornice, il che mostra una contestualità di realizzazione tra paramento e struttura muraria.

Possiamo pertanto attribuire ai costruttori crociati il consistente numero di marche lapidarie presenti sul castello di Saida, quali marchi di cottimo o posizione per una lavorazione (o ri-lavorazione) delle bozze a bugnato attualmente in opera.

Vano con copertura ad ogiva nel corpo settentrionale

Si tratta di un vano affiancato alla base della torre settentrionale, realizzato in muratura di blocchi arenacei di media pezzatura tendente al quadrato, apparecchiati in corsi regolari fino a congiungersi in chiave della coper-



Fig.9
Vano al
primo livello
della torre
settentrionale

tura voltata ad ogiva. Le marche lapidarie, presenti in gran quantità, si trovano questa in un ambiente interno e mostrano il ricorrere di poche famiglie di marche.

La tecnica costruttiva non lascia dubbi sulla attribuzione della struttura alla prima fase del fortilizio crociato, particolarmente in relazione alla differente cifra stilistica dei successivi corpi edilizi aggiunti sul fronte a mare e delle sopraelevazioni di età mamelucca e ottomana, che peraltro non presentano tracce di marcatura.

Altre porzioni murarie

Il paramento a bugnato presente alla base della torre meridionale, pur in stato di degradazione, conserva qualche esempio di marca lapidaria. La tecnica costruttiva e particolarmente la finitura dei paramenti consente di associarlo alla prima fase di realizzazione del castello; sono pertanto valide le considerazioni sopra esposte circa il paramento della coeva cinta muraria. All'interno della torre, al primo livello, si rilevano sporadiche marche lapidarie su conci semplicemente squadriati.

Altre rade marche lapidarie si conservano all'interno del vano alla base della torre settentrionale, anch'esso con volta ad ogiva, che oggi conserva un paramento lapideo estremamente degradato.

Si rilevano inoltre marche lapidarie in piccole strutture in muratura realizzate successivamente all'impianto di fondazione con materiale erratico.

Fig.11
 Vista dall'alto del
 torrione d'angolo
 settentrionale; lo
 stato di crollo ha
 messo in evidenza
 la particolare
 tecnica costruttiva
 a diatoni realizzati
 con rocchi di
 colonna di
 recupero

co proveniente da crolli perlopiù della cinta muraria; sono porzioni facilmente identificabili per la finitura a bugnato dei conci e poiché alloggia-no marche lapidarie. Di particolare interesse la gradonata realizzata per razionalizzare i livelli interni al cortile del castello in corrispondenza del machio settentrionale.

Classificazione delle marche lapidarie

Marche sulla cinta muraria

In relazione allo stato di conservazione dei paramenti a bugnato della cinta muraria, porzione prevalente sul fronte a terra, si rilevano con buone caratteristiche di leggibilità le marche in corrispondenza dell'area del portale d'accesso; delle estremità settentrionale e meridionale risultano esigue porzioni murarie e con consistente livello di degradazione della superficie lapidea. Non si rilevano marche sui conci della ghiera dell'arco che introduce il portale.

Si riscontra la ricorrenza di tre marche: ψ , +, * e sporadicamente di altre sei marche rinvenute al massimo in due repliche: S, Δ , \uparrow , N, V, Y.

Le dimensioni corrispondono a circa 1/5 dell'altezza del blocco lapideo, solo raramente occupano l'altezza per 1/3.

Di indubbio interesse è la presenza di molti conci con doppia marcatura, si tratta dei grafi più ricorrenti, l'asterisco e la vu segnata in centro (*, ψ), ai



quali è sempre abbinata la croce (+); se i due segni principali occupano circa il centro della bozza, la croce è sempre in posizione laterale o subalterna e di dimensioni inferiori. Ciò porterebbe a significare una doppia lavorazione, forse distinta per finitura della bugna e finitura della cornice di bordo, o segnale di posizione. Sembra di potersi escludere la marca della lavorazione in cava che normalmente segna i blocchi al grezzo con grafi di consistenti dimensioni ed in profondo sottosquadro. Il segno a croce (+) risulta isolato in un solo caso.

Residua una sola volta nella cinta muraria la enne rovesciata (N), ospitata in un concio alla base della cortina muraria occidentale; il medesimo grafo è più volte ripetuto sul vano con copertura ad ogiva del corpo settentrionale. Nella stessa area ricorre due volte il grafo con tre triangoli convergenti a formare una croce (Y), che risulta un *unicum* nel suo genere in tutto il castello e che rimanda piuttosto a istanze figurative.

La marca ad esse (S) è incisa nello spigolo inferiore del secondo concio scultoreo sopra il portale, oggi estremamente degradato; appartiene ad un repertorio differente rispetto ai rinvenimenti del castello e, per analogia con altre casistiche europee, è possibile attribuirlo ad uno scultore specializzato piuttosto che ad uno scalpellino.

Marche sul vano con copertura a ogiva nel corpo settentrionale

All'interno del vano, su conci semplicemente squadrati, prevale la presen-

Fig.12
Portale di accesso
al castello,
attraverso il ponte



Fig.13
Marche lapidarie
sul lato sinistro del
portale



za di marchi a croce (+), tutti graffiti in corrispondenza del centro del concio tendente al quadrato ed in posizione perfettamente ortogonale ad esso. Differiscono per misure e grado del sottosquadro, con proporzioni medie rispetto all'altezza del concio da 1/3 a 1/5. In alcuni casi le croci risultano incise per circa 1/2 dell'altezza e incise debolmente, forse rimaneggiate con significato simbolico.

Sono presenti anche numerose enne rovesce (N) e frecce semplici (†). Si riscontra una omogeneità nella ricorrenza del grafo per aree di muratura.

L'esterno del vano presenta una tripla ghiera ogivale, nei cui conci sagomati *ad hoc* dell'arco inferiore sono presenti nuovamente marchi raddoppiati: la croce (+) e la lettera A rovescia in grafia gotica (Ā). Anche in questo caso può trattarsi di un doppio segno di cottimo e di posizione; la A rovescia, a parte la S rinvenuta sul concio scolpito nel portale della cinta (e una kappa del vano interno alla torre sud, forse seriore), sarebbe l'unico caso di graffito alfabetico rinvenuto nel castello, che presumibilmente sostiene una maestranza maggiormente specializzata o un lavoro da computarsi diversamente. La chiave inferiore della ghiera è marcata da un grafo a vu rovescia segnato ortogonalmente (∨).

Marche su altre porzioni murarie

Paramento a bugnato alla base della torre meridionale: si rileva una croce (+) e due tipi di freccia (†), una con punta svasata, l'altra con punta ad andamento circolare, presente peraltro anche nel castello di Byblos.

Interno alla base della torre meridionale: su conci semplicemente squadrati un grafo a vu rovescia segnato ortogonalmente (∨), come nella chiave della ghiera sopra descritta, e una kappa (K), forse seriore.

Vano alla base della torre settentrionale: un triangolo chiuso (Δ).

Gradonata interna al cortile castello: croci singole su bugnato (+), solo in un caso affiancato ad una enne aperta (N).



⊕	Δ	∇	+	*
∧	⊗	+	*	∇+
↑	Δ	∇+	∇+	
∩	*	* *	+ ↑	

↗	Δ	↑	+
↑	∞	∩	+
∇+	K	N	+
+	X	∩	+ ∇

Fig.14
Marche lapidarie sul lato destro del portale

Fig.15
Repertorio delle marche lapidarie rilevate sul paramento esterno della cinta muraria a terra

Fig.16
Repertorio delle marche lapidarie rilevate: su paramenti diversamente localizzati (colonna 1 e 2); sui conci di ghiera dell'arco del vano con copertura ad ogiva nel corpo settentrionale (colonna 3 e 4)

Fig.17
Rilievo delle marche lapidarie sui conci di ghiera dell'arco del vano con copertura ad ogiva

Conclusioni

Lo studio delle marche lapidarie insieme alle tecniche costruttive porta a ritenere che i costruttori materiali del primo impianto del castello a mare di Sidone furono maestranze al seguito di quel gruppo di pellegrini francesi, inglesi e spagnoli che precedettero la crociata di Federico II nel 1228. Le marche lapidarie sono localizzate soltanto in quella parte della struttura che può essere definita originaria e costituiscono per essa elementi dattanti; gli interventi seriori sono pertanto realizzati da maestranze caratterizzate da una differente organizzazione sociale ed economica del cantiere. Gli oggettivi limiti alla ricerca, nel caso specifico, sono rappresentati dalla non omogeneità della distribuzione delle marche cosiccome oggi si rilevano. Può tuttavia concorrere a minimizzare il margine di incertezza lo sta-

Fig.18, 19
Rilievo delle
marche lapidarie
sul paramento
della cinta
muraria, lato a
mare

Fig.20, 21
Rilievo delle
marche lapidarie
sul paramento
interno del vano
con copertura ad
ogiva

to di degrado dei paramenti lapidei nelle corrispondenti aree di muratura ad oggi prive di segni di scalpellini (comprendendo anche i conci di sostituzione dei recenti restauri, peraltro chiaramente distinguibili per litotipo e lavorazione). Non di meno i grossolani segni di rilavorazione con punta delle superfici lapidee dei vani interni delle torri, forse atti ad ospitare un successivo intonaco.

Le famiglie dei marchi rilevati appartengono al repertorio di segni di scalpellini comunissimo nell'Europa medievale, a corroborare la qualificazione dei costruttori come maestranze di importazione. E non vi è dubbio che benché il repertorio di grafi più semplici, quali croci o triangoli, appartenga anche al repertorio di marche rilevato nei siti romani di Balbeek o Tiro, l'utilizzo della cosiddetta "A in grafia gotica" sia un elemento di distinzione ed identificazione cronologica.

Allo stato attuale delle ricerche, tuttavia, proprio la gran diffusione in Europa di segni analoghi pone il limite alla identificazione certa della origine geografica e dei ceppi di maestranze che parteciparono alla costruzione del castello. Una per tutti la congruenza di parti delle marche lapidarie qui rilevate con il repertorio riscontrato nel castello Maniace di Siracusa, anch'esso di età federiciana.

L'analisi archeologica degli elevati ha restituito una base documentaria, di natura materiale, sulla quale è possibile interpretare le modalità insedia-



tive e la struttura economica del Levante crociato. Si tratta di ricondurre in un più ampio quadro conoscitivo il risultato di una indagine settoriale quale quella glyptografica, assumendo i dati emersi per la ricostruzione di contesti più ampi.

Già l'archeologia crociata aveva trovato riscontri di tale assetto insediativo nella dimensione strutturale e costruttiva degli edifici eretti dai Franchi. In molti villaggi d'Oltremare, che risultano infeudati all'inizio del XII secolo, sono stati rinvenuti edifici fortificati, in molti casi costituiti da semplici torri, al pari di forme occidentali, europee e mediterranee di organizzazione dell'insediamento, con la rappresentazione non solo militare del potere signorile sul territorio ma con funzioni anche residenziali e amministrative o politiche (Tannini, 2006).

Bibliografia di riferimento

Agnello G. M. 2010, *Il castello Maniace di Siracusa, funzione e significato*, «Archivio storico siracusano», serie IV (II), pp. 193-226.

Bessac J.C. 2015, *Les marques lapidaires du proche-orient: état de recherches*, in *Signum lapidarium: estudios sobre glifografía en Europa, América y Oriente próximo*, «XVIII Colloque International de Glyptographie de Valencie», a cura di R. Romero Medina, Cultiva Libros, Madrid, pp. 573-601.

Bessac J.C. 2008, *À propos des marques lapidaires des fortifications médiévales de Qalaat al-Moudiq, citadelle d'Apamée de l'Oronte (Syrie)*, «Adiyat Halab», 11-12, p. 35-50.

Bessac J. C., Boqvist M. 2005, *Les chantiers de construction de la citadelle de Damas: méthodologie et résultats préliminaires*, «Arqueologia de la Arquitectura», IV, pp. 237-249.

Bessac J.C., Yasmine J. 2001, *Étude préliminaire sur les chantiers de construction du château de Beaufort*, «Baal», 4, pp. 241-320.

Bianchi G. 1997, *I segni dei tagliatori di pietre negli edifici medievali. Spunti metodologici ed interpretativi*, «Archeologia dell'architettura», II, pp. 25-37.

Bini M., Bertocci S. 2004, *Castelli di pietra: aspetti formali e materiali dei castelli crociati nell'area di Petra in Transgiordania*, Polistampa, Firenze.

Bini M., Luschi C. (a cura di) 2009, *Castelli e cattedrali. Sulle tracce del regno*

crociato di Gerusalemme, Resoconti di viaggio in Israele, Alinea, Firenze.

Cadei A. 1994, *I castelli federiciani: concezione architettonica e realizzazione tecnica*, in Federico II e le Scienze, P. Toubert, A. Paravicini Baggiani (a cura di), Sellerio, Palermo, pp. 253-271.

Castellvi G. 2012, *La mole antique du port Sidonien dit «mole Podebard» de Tyr: techniques de construction et approche socio-historique*, in *L'histoire de Tyr au témoignage de l'archéologie*, Actes du Séminaire international, «Baal», 8, Beyrouth, pp. 95-118.

Coppola G. 2010, *Federico II e l'architettura militare in Palestina*, «Annali dell'Università degli Studi di Napoli Suor Orsola Benincasa», Napoli, pp. 75-86.

Coppola G. 2002, *Fortezze medievali in Siria e Libano al tempo delle Crociate*, Sellino, Salerno.

Hamarneh B. 1998, *Gli apparecchi murari a bugnato*, in *Tecniche edili tradizionali. Contributi per la conoscenza e la conservazione del patrimonio archeologico*, L. Marino e C. Pietramellara (a cura di), Alinea, Firenze, pp. 33-36.

Esquieu Y. et al. 2007, *Les signes lapidaires dans la construction médiévale: études de cas et problèmes de méthode*, «Bulletin Monumental», 4 (165), pp. 331-358.

Frulio G. 2007, *Maestranze e cantiere edilizio nella Sardegna medievale: marche lapidarie di cottimo e di posizione*,

in *Ricerca e confronti 2006. Giornate di studio di archeologia e storia dell'arte*, «Quaderni di Aristeo», Edizioni AV, Cagliari, pp. 381-390.

Inglese C. 2000, *Progetti sulla pietra: lo studio dei tracciati di cantiere attraverso il rilevamento*, Gangemi Editore, Roma.

Kahwagi-Janho H. 2012, *L'hippodrome romain de Tyr. Etude d'architecture et d'archéologie*, Bordeaux.

Marino L. 1987, *«Chastel abatuz est demi refez»: nota sulla fabbrica dei castelli d'epoca crociata in Terra Santa. Riconoscimento agli impianti fortificati di epoca crociata in Transgiordania. Prima relazione*, «Castellum», 27/28, pp. 17-34.

Marino L. 1997, *La fabbrica dei castelli crociati in Terrasanta*, Octavo, Firenze.

Marino L. 2000, *L'architettura crociata in Terrasanta. La difesa costiera*, in *Dalla crociata alla custodia dei Luoghi Santi*, M. Piccirillo (a cura di), Artificio Skira, Milano, pp. 219-223.

Sansen R. 1975, *Lointains messages de la pierre*, La Taille d'Aulme, Braine-le-Château.

Seyrig H. 1948, *Note sur les marques d'assemblage d'une colonnade de Beyrute*, «Bulletin du Musée de Beyruth», VIII, pp. 155-158.

Vannini G. 2006, *Il periodo crociato nel Levante*, in *Il mondo dell'archeologia*, «Enciclopedia Archeologica», Treccani, Roma.

Approcci metodologici e indicazioni progettuali per il restauro del Palazzo del Doge ad Antivari, Montenegro

Alessio Cardaci

Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi di Bergamo

Antonella Versaci

Facoltà di Ingegneria e Architettura
Università degli Studi di Enna "Kore"

pagina a fronte

Fig. 0
Il Palazzo del Doge:
immagine del fronte
principale

Abstract

The restoration project of an old building requires an approach based on the capacity of the designer to build a computational model that interprets its constructive history. The Doge's Palace in Antivari a millenary citadel of Montenegro, results from several construction phases that cannot be properly explained only through the application of mechanics principles. The integrated survey and elevation's stratigraphic study, important to the archaeologist and the architect for the reconstruction of the building's evolutionary phases, are to the engineer a necessary tool for understanding the structure's static and dynamic behaviour. This work addresses the issue of the protection of archaeological sites and investigates the means of intervention on buildings in a state of ruin, choosing to run a project of 'authentic restoration' that, by establishing structure's collapse mechanisms, is oriented on non-invasive/removable solutions, designed to not alter the building's identity.

Antivari (Stari Bar), uno dei più grandi siti archeologici fortificati al mondo, si sviluppa su una collina rocciosa, inaccessibile su tre lati e posta ai piedi del monte *Rumija*. Situata a pochi chilometri dal mare e dalla città moderna (il principale porto del Montenegro), si erge in un punto intermedio tra l'insenatura di *Boka Kotorska* e l'estuario del fiume *Bojana*. Questa posizione privilegiata e la presenza di numerose sorgenti di acqua potabile, ne fecero un importante crocevia commerciale tra la costa e le zone più interne dei Balcani. Le sue origini rimangono per lo più misteriose, anche se la tradizione le fa risalire al mondo illirico con una continuazione in età ellenistico-romana. Tuttavia, solo dopo il X secolo compare, in fonti documentarie più affidabili, un insediamento chiamato *Antibareos*.

La città, arcidiocesi metropolitana dal 1089, fu annessa allo stato serbo nel 1183, per poi divenire colonia veneziana nel 1443. Il periodo di dominio della 'Serenissima' modificò sensibilmente il tessuto urbanistico e architettonico del borgo conferendogli, in larga parte, l'aspetto attuale. Nel 1571, la cittadella passò ai Turchi Ottomani che la tennero fino al 1878, quando i Montenegrini la conquistarono, arrecandole, gravi danni.



Il totale abbandono del villaggio fortificato agli inizi del XX secolo ha favorito una sorta di cristallizzazione dell'impianto edilizio e dei depositi archeologici, sia sepolti che in elevato. Anche se la maggioranza degli edifici permane allo stato di rovina (circa 240, immersi in un contesto urbano caratterizzato da strade tortuose e piazzette irregolari), Antivari rappresenta una meta interessante per gli studiosi (fig.1a) poiché risulta ancora possibile attuare attività di studio e di lettura della complessità urbana, di indagine archeologica e di recupero monumentale (Gelichi, 2014). Sono, inoltre, indubbie le enormi ricadute che una sua corretta valorizzazione potrebbe determinare in termini di sviluppo della regione.

Importanti ricerche finalizzate alla rivitalizzazione del centro furono avviate verso la metà degli anni '50 dall'architetto serbo Đurđe Bošković a cui si deve la prima analisi dell'evoluzione urbana e la mappatura degli edifici principali (fig.1b); un lavoro di grande ampiezza e qualità scientifica che rimane tuttora un riferimento imprescindibile (Bošković, 1962). Il drammatico terremoto che colpì l'area nel 1979 compromise notevolmente lo stato di conservazione della città ma indusse l'amministrazione locale a compiere una riflessione approfondita sul suo grande potenziale storico-culturale. Fece pertanto seguito una seconda stagione di interventi, diretti da Omer Peročević, volti a rivalutare il sito attraverso la sua apertura al pubblico in modo organizzato, trasformandolo in un luogo di aggregazione culturale e produzione artistica. Il progetto non ottenne i risultati sperati ma lasciò in eredità alcuni manufatti restaurati o completamente riedificati, tra cui un piccolo *Antiquarium* ospitato al piano terra di una casa posta all'ingresso della cittadella, e offrendo in più la possibilità di visitarla nella sua interezza.

Le ricerche archeologiche condotte congiuntamente da ricercatori italiani, montenegrini e sloveni a partire dal 2004 e poi dal 2007 da una équipe italo-montenegrina nonché le attività di formazione organizzate sul campo, hanno garantito nuove importanti scoperte sull'origine ed evoluzione del luogo, nonché una sua certa vivacità. Negli ultimi anni, gli archeologi montenegrini hanno portato avanti un estensivo programma di recupero che ha comportato nuovi interventi su alcuni edifici, molti dei quali, tuttavia, non del tutto condivisibili perché finalizzati alla ricostituzione della loro immagine 'formale'.



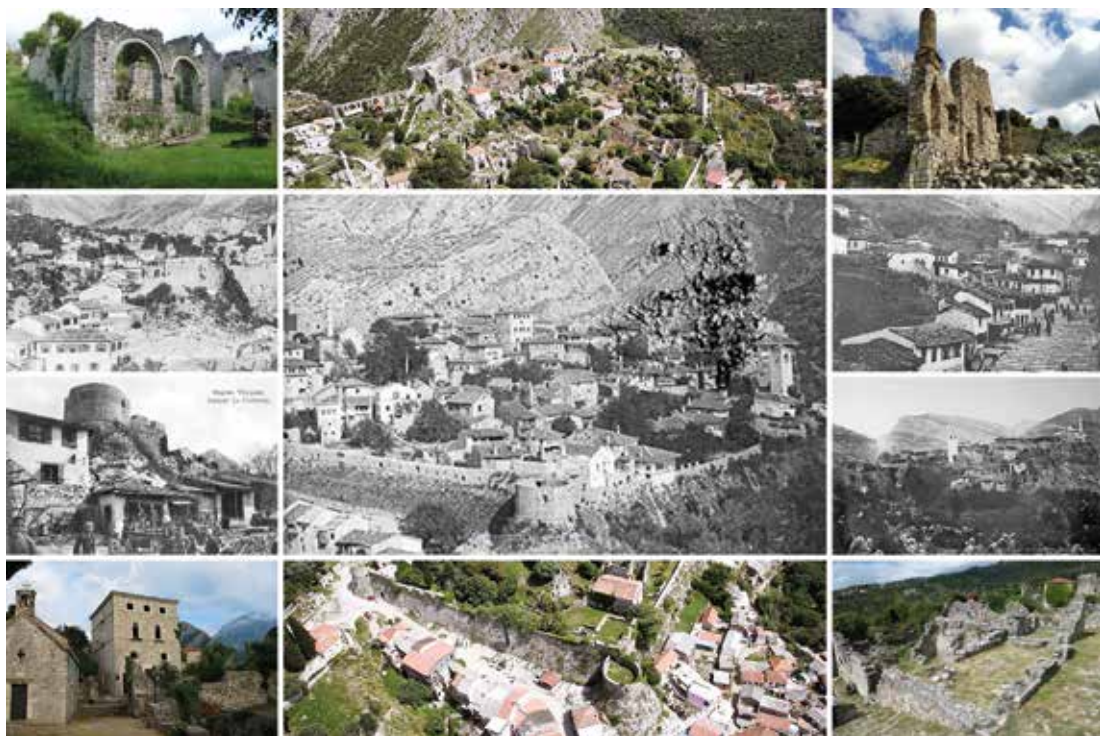
La città di Antivari è, oggi, un parco archeologico aperto al pubblico, inglobato all'interno delle mura costruite dai Veneziani nel XV-XVI secolo (Bagate et al., 2006), che presenta ancora le imponenti strutture dell'acquedotto, le rovine della cattedrale di S. Giorgio e della chiesa di S. Nicola distrutte da esplosioni di polveri nel 1881 e 1912 (fig.1c). Una cappella romanica è stata incorporata nelle fortificazioni, mentre un grande palazzo nella parte nord-occidentale della città, tradizionalmente identificato come 'Palazzo del Vescovo', è stato recentemente ricostruito ed è in attesa di una nuova destinazione d'uso. Nonostante i tre secoli di occupazione, del periodo di dominazione turca sono rimasti relativamente pochi segni sul tessuto urbano, il più notevole dei quali è un *hamam* del XVII secolo.

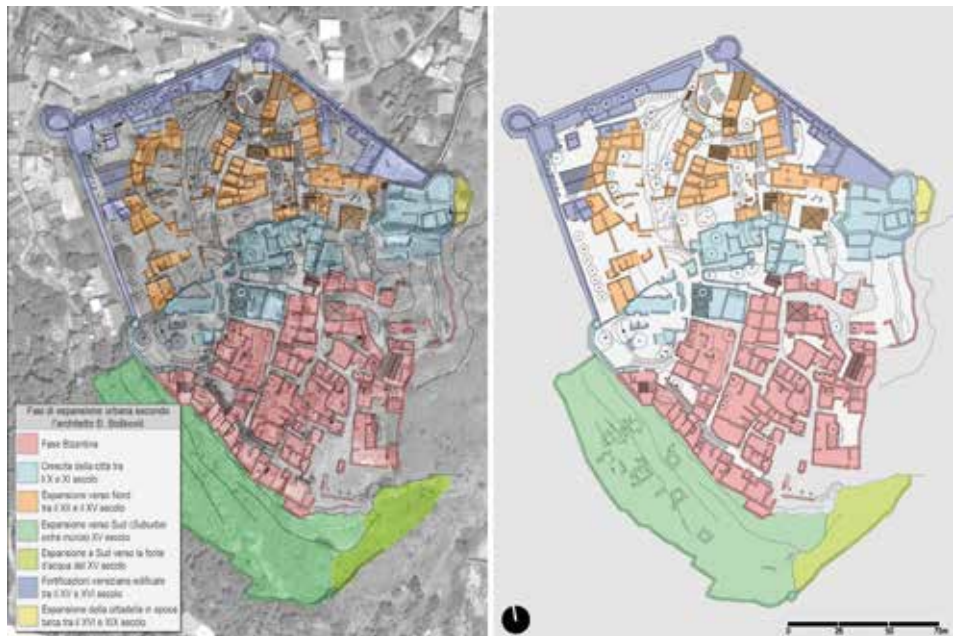
Il sito mostra, nondimeno, numerose problematiche legate alla completa fruizione e alla effettiva comprensione dei luoghi. Uno dei suoi principali segni distintivi risiede nella particolarità dei suoi edifici, prevalentemente in stato di rudere, e nella percezione che, grazie ad essi, si ha della città. L'edificato, sostanzialmente costituito da macerie murarie spesso di limitata elevazione che si adattano all'orografia del terreno (ad eccezione di alcuni manufatti di forma compiuta, come già detto, il risultato di ricostruzioni effettuate negli ultimi anni) non creando barriere visive allo sguardo, permette molteplici osservazioni da piani a varie quote e il godimento di suggestivi scorci panoramici. Questa caratteristica, se da un lato contribuisce a creare un'atmosfera pittoresca, non permette l'immediata lettura e

pagina a fronte

Fig.1a
Il borgo fortificato di Antivari con le sue rovine e alcuni degli edifici ricostruiti

Fig.1b
La città prima dell'abbandono agli inizi del XX secolo e come appare oggi





comprensione dell'articolazione volumetrica degli spazi e rende difficoltoso immaginare la città come era anticamente.

In particolare, se una parte della cittadella a nord risulta pulita e abbastanza percorribile, la sua zona meridionale si trova in uno stato di grande fatiscenza. L'ampia vegetazione causata dall'assenza di manutenzione e/o di qualsiasi altro tipo di regolamentazione e la presenza incontrollata di fauna - pecore al pascolo, vipere e altri tipi di serpenti - mettono in pericolo i resti architettonici, oscurandoli alla vista e ostacolando, quando non impedendo, un'agevole frequentazione da parte dei visitatori. Inoltre, la presenza di cantieri archeologici aperti e non protetti costituisce un ulteriore, ingente fattore di rischio per il sito che si somma ad una grave vulnerabilità sismica dell'intera regione. I Balcani occidentali sono, infatti, caratterizzata da una elevata sismicità che nel corso dei secoli si è manifestata con numerosi terremoti, anche di forte intensità, come quello disastroso di magnitudo Mw 6.9 che ebbe luogo il 15 aprile 1979 con epicentro nel mare Adriatico, a pochi chilometri dal litorale.

La elaborazione di linee guida e protocolli operativi volti ad indicare le azioni da compiere al fine di registrare la vulnerabilità (primaria e indotta) dell'area e dei manufatti in essa contenuti, riconoscere gli elementi di maggiore rischio, definire i primi immediati interventi d'emergenza (puntellamenti, smontaggi parziali di elementi o parti a rischio, riporti o eliminazioni strategiche di terreni, allestimento di coperture temporanee ecc.) e, infine, suggerire criteri per orientare le operazioni sistematiche di restauro e valorizzazione (Marino, 2013) appare, ormai, un'attività improrogabile per garantire un futuro al sito e una sua sicura frequentazione (Cardaci et al., 2014).

Il Palazzo del Doge tra storiografia e nuovi studi

Tra le sopra citate emergenze architettoniche, si ergono, ancora ben distinguibili, le vestigia del 'Palazzo del Doge', così denominato in seguito ad una erronea traduzione dal serbo del nome originale, che letteralmente significa 'palazzo del principe'. Esso rappresenta una delle presenze di maggior pregio dell'antico borgo sia per gli aspetti costruttivo-decorativi sia per la ricca stratificazione, ancora leggibile negli alzati. Un 'monumento-documento' che testimonia, attraverso le sue fasi costruttive, i numerosi processi storici che hanno contraddistinto la vita e l'evoluzione dell'insediamento. Edificio adibito, in origine, a residenza di rappresentanza, fu con buona probabilità abitato da una famiglia politicamente ed economicamente di spicco in ambito cittadino. Durante l'egemonia veneta, in esso vennero realizzati - anche per testimoniare l'elevato *status* sociale dei proprietari - gli apparati decorativi in parte superstiti, tra cui spiccano le cornici marcapiano in pietra con motivo a torciglione ed elementi a punta di diamante e le mensole dagli ornamenti antropomorfi. Situato nella zona nord-ovest della città, il palazzo è costituito da sei vani tra loro collegati che digradano lungo il declivio della collina, da oriente verso occidente, fino ad uno stretto percorso pedonale attiguo alle mura veneziane.

L'edificio definito dal Bošković "*grand palais seigneurial (?) formé de deux parties rattachées l'une à l'autre*" (Bošković, 1962, p. 321) è contraddistinto da una notevole complessità stratigrafica, conseguenza di numerose fasi costruttive e di altrettanti restauri compiuti nel corso della seconda metà del XX secolo (sono stati identificati otto periodi di sviluppo, a partire dalle prime tracce insediative risalenti al XIII secolo). Lo studioso si soffermò estesamente sul palazzo e ne pubblicò diverse planimetrie, sezioni e fotografie che costituiscono oggi un *database* di grande utilità sullo stato dell'edificio nel periodo antecedente al sisma del 1979 e dei successivi interventi che hanno fortemente compromesso la leggibilità delle strutture. Per il 'Palazzo del Doge', in particolare, il grave evento tellurico ha causato il crollo delle strutture sommitali e, in particolare, la distruzione del terzo livello su tutti i fronti. Il confronto tra la condizione attuale e la documentazione del Bošković permette di chiarire quelle attività progettuali che, operate attraverso ampi ripristini e per mezzo di materiale da costruzione antico messo in opera ripetendo le tecniche costruttive originali, risulterebbero, altrimenti, pressoché indistinguibili se non per la diversa cromia delle malte (Gelichi, 2014). Un'altra testimonianza estremamente eloquente è offerta da alcune immagini storiche tra cui una veduta del 1860 del fotografo italo-albanese Pijetro Marubi, in cui il palazzo appare ancora in buono stato di conservazione.

In seguito, l'edificio è stato oggetto di una indagine preliminare, condotta nel corso della prima missione archeologica dell'Università Ca' Foscari di Venezia nella città montenegrina (Gelichi, 2006), poi proseguita durante le campagne 2007-2012, che ha permesso di acquisire nuovi significativi dati sul suo intricato processo edificatorio. Tuttavia, la ridotta estensione dei muri perimetrali e l'assenza delle coperture, dei soffitti e delle scale

pagina a fronte

Fig.1c

L'evoluzione insediativa in base alle ipotesi dell'architetto serbo Durde Bošković

pagina a fronte

Fig.2a

Rilievo
fotografico

interne, ha reso complessa la comprensione e la ricostruzione delle relative sequenze costruttive del manufatto. Non poche incertezze permangono in relazione all'esatta disposizione planimetrica e alle funzioni d'uso di alcuni ambienti, specialmente per i periodi più antichi, poiché alcune loro parti, anche ampie, sono andate perdute o sono state sostituite da murature relative ad epoche successive (Cadamuro et al., 2014).

Più recentemente, anche in vista di una possibile candidatura del sito alla Lista del Patrimonio Mondiale dell'Unesco (dal luglio 2010, Antivari è nella *tentative list* nazionale), su richiesta dell'Università Ca' Foscari di Venezia e in accordo con la Municipalità di Bar, gli autori del presente lavoro hanno condotto un'estensiva attività di rilevamento, studio e analisi sull'intera cittadella¹. Lo stato generale e gli interventi di rifacimento-reintegrazione operati nel tempo su un sito di particolare ricchezza ed interesse dal punto di vista archeologico, architettonico, culturale e perché no sociale ma fortemente esposto alle calamità naturali, ha indotto ad avviare una serie di riflessioni. L'intento era quello di migliorare la conoscenza della città: un processo preliminare e indispensabile per la formulazione di un piano di gestione da cui dedurre le azioni necessarie per garantirne una rispettosa fruizione, fornire delle prime indicazioni metodologiche per garantire la messa in sicurezza degli edifici e suggerire criteri per guidare le attività da progettare e mettere in opera in vista della sua conservazione, manutenzione e gestione complessiva.

In tale ottica, sono stati previsti degli interventi di presidio reversibili e di conservazione delle strutture murarie tramite attività riconoscibili e coerenti con la natura e la logica storico-archeologica della costruzione muraria. Sono, inoltre, state localizzate le aree per le quali risulta necessario l'approfondimento dello studio per mezzo di avvio di nuove campagne di scavo archeologico, nelle quali realizzare delle protezioni di tipo attivo con strutture temporanee di copertura.

Gli studi si sono, poi, soffermati su alcune opere maggiormente significative, tra cui, appunto, il cosiddetto 'Palazzo del Doge', al fine di approfondire la lettura delle vicende architettoniche complesse che hanno interessato tale manufatto e proporre soluzioni progettuali alternative alle attività fino ad allora messe in atto. Ciò, peraltro, in aderenza con l'orientamento assunto dall'amministrazione locale che, costretta dalla carenza dei fondi a disposizione ma non senza consapevoli apporti di pensiero, sembrerebbe considerare la possibilità di optare verso attività di consolidamento e restauro conservativo e non più di reintegrazione.

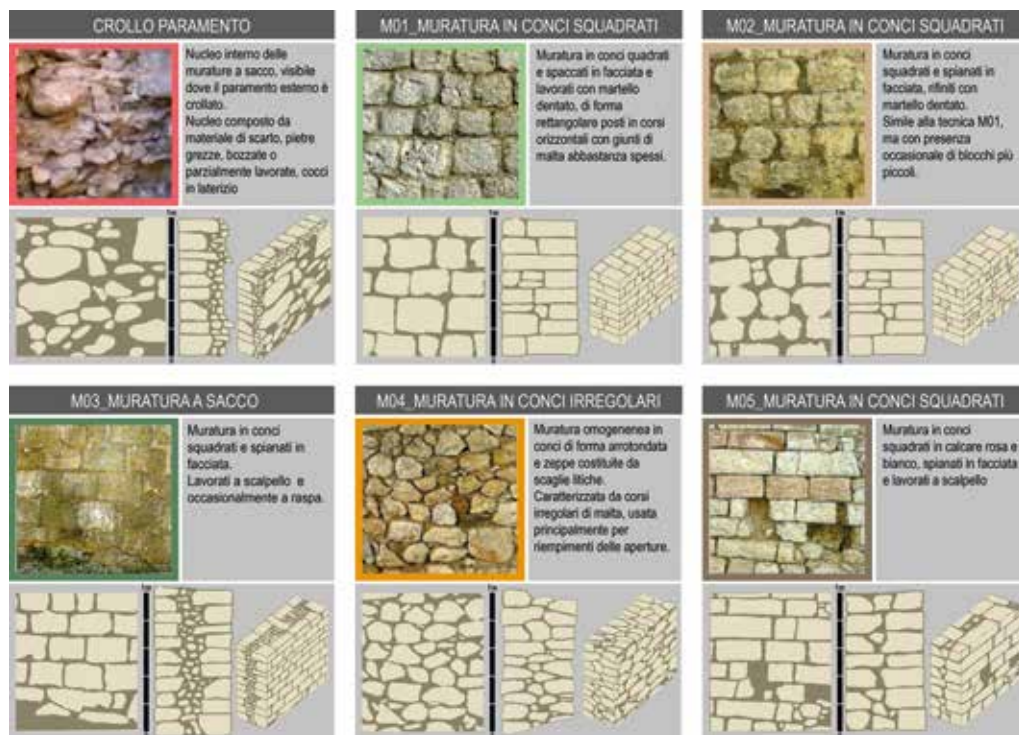
Rilievo, osservazione archeologica e strutturale

La consapevolezza della storia costruttiva di un bene da conservare ha una grande importanza per la piena comprensione del suo sistema resistente. L'analisi strutturale e il progetto degli interventi per contrastarne il progressivo degrado e gli effetti di un possibile sisma è una componente sostanziale del progetto di restauro, ancor più se la costruzione si propone in forma di rovina.

¹ Le campagne di studi, indagini e rilevamenti hanno avuto luogo rispettivamente nel marzo 2012 e settembre 2013. Sebbene l'attività scientifica sia stata condotta da un ampio gruppo di ricerca, sinergicamente coordinato da Alessio Cardaci e Antonella Versaci, che hanno condiviso obiettivi, metodologie e risultati delle indagini, la responsabilità redazionale del presente lavoro risulta così suddivisa: Antonella Versaci - paragrafi 2, 4 e conclusione, Alessio Cardaci introduzione e paragrafo 3. Le immagini sono state realizzate con il contributo di Luca Renato Fauzia.



La comprensione delle numerose valenze di cui il 'Palazzo del Doge' è portatore (documentarie, materiche, storico-costruttive, simboliche, emozionali, affettive, ecc.) ha richiesto un approccio complesso e variegato che ha tratto sicuro beneficio dall'apporto interdisciplinare. Esso ha preso le mosse dallo studio delle fonti documentarie, archivistiche e storico-artistiche, dalle verifiche e 'collaudi' dei rilievi di altra epoca, dallo studio delle tecniche costruttive storiche, dalla rilettura delle analisi stratigrafiche eseguite in passato sulle murature e dalle indagini archeologiche, per poi continuare con nuovi ed accurati rilievi e indagini dell'esistente (fig.2a). Un'estensione del concetto di 'rilevamento' (Docci et al., 2009), non limitato al solo studio geometrico e storico-critico del bene culturale ma, piuttosto, strumento di lettura dei mutamenti avvenuti nel tempo, anche quelli di



natura meccanica, per chiarire le vicissitudini costruttive dell'edificio, distinguere le manomissioni, comprendere le origini e le cause dei dissesti. L'osservazione attenta della composizione degli apparecchi murari, degli ammorsamenti e delle connessioni, degli accostamenti tra murature edificate in epoche differenti, degli elementi decorativi e della varietà di lavorazione dei conci lapidei ha dato l'avvio al lavoro. Oltre ad evidenziare le principali fasi di sviluppo del palazzo, individuate sulla base della variazione dei tipi costruttivi e dell'utilizzo degli ambienti (Cadamuro, 2014), esso ha costituito l'elemento fondante per la formulazione di alcune ipotesi sul comportamento statico e dinamico dell'edificio. Ogni muratura, infatti, ha una diversa resistenza e la risposta elasto-plastica della costruzione è influenzata dal modo in cui le tessiture in pietra e mattoni sono disposte e tra loro legate. La semplice individuazione dei rapporti tra le diverse unità non è in grado di fornire le indicazioni necessarie al calcolo strutturale che, infatti, non può prescindere dalla misurazione accurata e dalla conoscenza delle caratteristiche meccaniche e fisico-chimiche dei materiali. Non essendo stato possibile eseguire delle prove *in situ* per la caratterizzazione meccanica delle murature (ben sei tipologie differenti), l'identificazione delle caratteristiche meccaniche è stata ottenuta per analogia con murature simili, tenendo conto, per quanto possibile, anche dei fenomeni di degrado. Oltre alla conoscenza delle vicende costruttive del caso in esame appare fondamentale avere un'approfondita consapevolezza delle peculiarità costruttive dei manufatti nell'area e nei diversi periodi storici,

in modo tale da poter fare ricorso a caratteristiche desumibili dalla ‘regola dell’arte’. Speciale attenzione è stata riservata alla valutazione della qualità muraria, includendo le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti oltre che le modalità di assemblaggio; ovvero la presenza di diatoni di collegamento tra i paramenti murari, la forma, la tipologia e la dimensione degli elementi, il riconoscimento di una disposizione regolare e pressoché orizzontale dei corsi (o, in alternativa, la presenza di listature a passo regolare), la buona tessitura, ottenuta tramite l’ingranamento degli elementi (numero ed estensione dei contatti, presenza di scaglie) e il regolare sfalsamento dei giunti, la natura delle malte ed il loro stato di conservazione. Le indagini sono state mirate, anche attraverso la costruzione di un abaco delle murature prevalenti, alla prefigurazione di un intervento di tipo conservativo. L’abaco è stato redatto integrando gli schemi di caratterizzazione muraria anche con il rilievo della tessitura in prospetto, sezione e assonometria (fig.2b), evidenziando caratteristiche, dimensioni e materiale sia dei blocchi che dei giunti e proponendo una valutazione conclusiva che giungesse a prefigurare, sulla scorta dei dati rilevati, il comportamento della muratura presa in esame in caso di azioni sismiche ed esprimendo un giudizio su tre livelli: buona, media e bassa qualità (Giuffrè, 1991; Borri et al., 2011).

I rilievi metrici sono stati eseguiti con l’ausilio di tecnologie integrate *laser scanning* e fotogrammetriche digitali (figg. 2c e 2d), viste non quale fine della ricerca ma quali strumenti utili per ottenere una documentazione ‘di base’ dalla precisione millimetrica; ovvero, atti a garantire una affidabile corrispondenza metrica fra l’oggetto di studio e la sua rappresentazione grafica, la cui correttezza e il suo carico di significati saranno comunque sempre vincolati e sottomessi alla capacità e all’esperienza degli studiosi nel leggere il “libro delle antiche architetture” (Giuffrè, 1988; 2010).



pagina a fronte

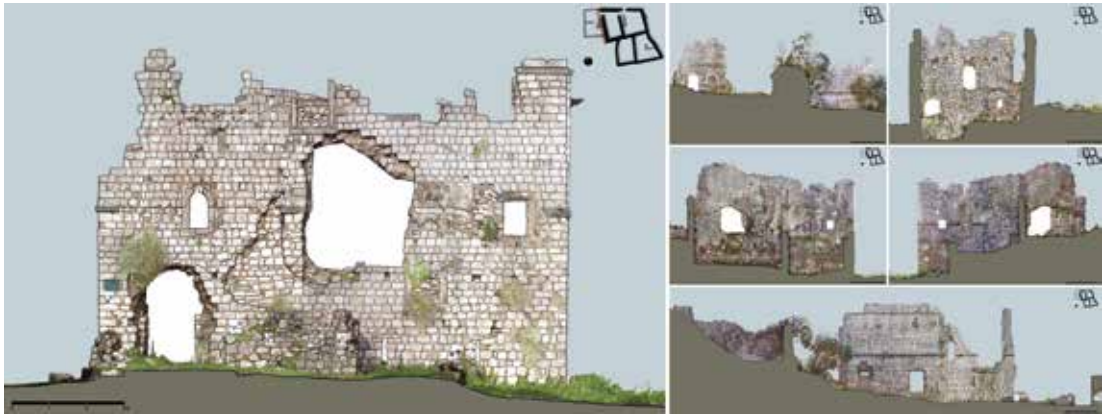
Fig.2b

Schedature delle murature in base alla natura, alla lavorazione e alle caratteristiche cromatiche dei materiali

Fig.2c

Il Palazzo del Doge: immagini panoramiche da rilievo 3D laser scanning





Le acquisizioni sono state pensate sia per lo studio della tipologia e delle fasi storiche sia come sostegno alla lettura del degrado dei diversi materiali impiegati nella costruzione. Il rilievo è stato, inoltre inteso, non solo come elemento 'svelatore' delle componenti fisico-formali della struttura ma anche quale strumento di programmazione per ogni tipo di intervento progettuale. Infine, è stato considerato quale agevole supporto alla costruzione di un modello matematico di calcolo rispondente alla realtà storico-costruttiva del palazzo; attività doverosa per tutte le fasi di analisi della vulnerabilità sismica delle costruzioni (Bertocci, 2013). Invero, in assenza di una chiara consapevolezza della fabbrica "è pressoché inutile utilizzare modelli di calcolo sofisticati in quanto i dati provenienti dall'analisi non corrisponderanno alla consistenza costruttiva del monumento e, quindi, le risultanze dei calcoli non saranno attinenti alla sua realtà meccanica" (Galli, 2015, p. 3).

Il 'Palazzo del Doge', un'architettura non particolarmente complessa ma con molte irregolarità, ha infatti richiesto la completezza e il dettaglio delle informazioni, sia in pianta sia in alzato, che i più recenti *massive data acquisition systems* (MDAS) possono potenzialmente garantire (fig.2e e 2f). Ciò purché gli esiti di tali metodologie siano considerati quali parti integranti di un processo di conoscenza e comprensione molto più multiforme e diversificato e che, soprattutto, si tenga conto delle loro effettive potenzialità mai sostitutive di un ben saldo contatto fisico con la realtà (Puche, 2015, p. 204). Indubbiamente, grazie alla loro rapidità di esecuzione e versatilità esse possono con profitto inserirsi in processi dinamici di comparazione di rilevazioni eseguite in epoche successive, al fine di ricostruire tramite opportune verifiche il regesto degli interventi e dei mutamenti che si sono susseguiti nel tempo sulla fabbrica studiata (Marino, 2003). Nel caso in oggetto, la produzione di un modello tridimensionale e di proiezioni ortografiche (con l'indicazione delle deviazioni fuori piano al fine del controllo dello 'spanciamento' e dell'inclinazione degli elevati) di ogni paramento murario ha, quindi, rappresentato la base metrica sia per una mappatura degli elementi resistenti e la successiva suddivisione in aree

pagina a fronte

Fig.2d

Le fasi di acquisizione metrico-materica con tecnologia 3D laser scanning, elaborazione dei dati di scansione e costruzione della nuvola di punti

Fig.2e

Planimetria ottenuta dalla sovrapposizione tra la restituzione al tratto della nuvola di punti e l'immagine della proiezione ortografica

Fig.2f

Sezione-prospetto dell'edificio sia come semplice restituzione al tratto sia dalla sovrapposizione con l'immagine fotografica rettificata

Fig.2g
Mappatura degli elementi resistenti in aree omogenee per caratteristiche fisiche e meccaniche, esempio sul prospetto principale.

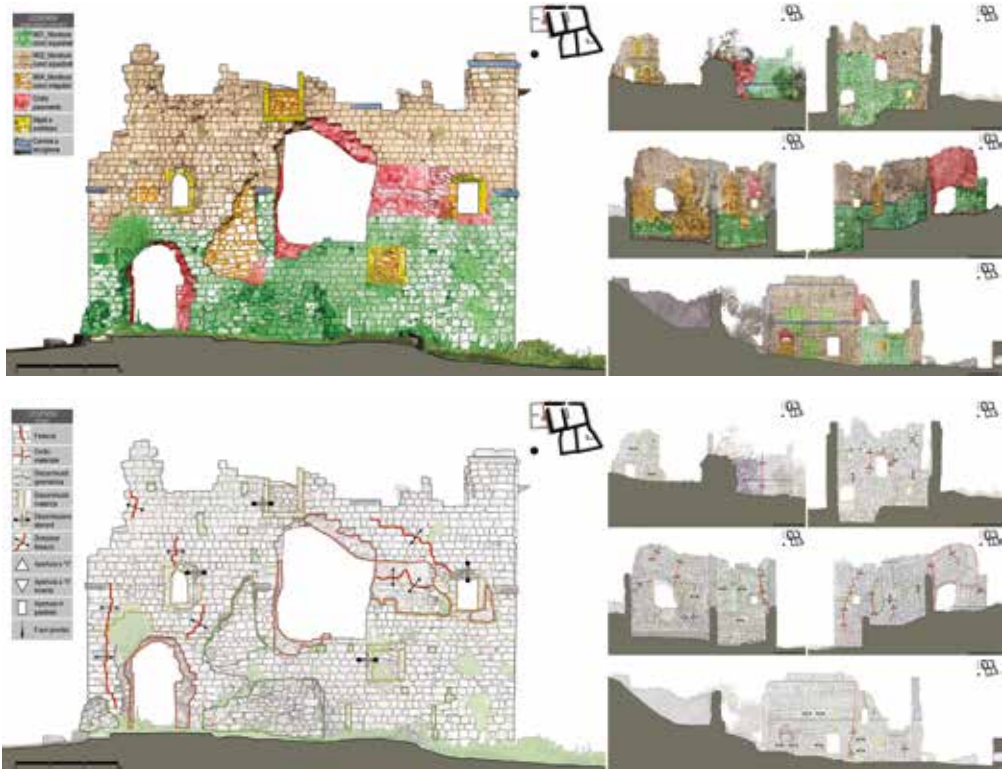
Fig.2h
Planimetria ottenuta dalla sovrapposizione tra la restituzione al tratto della nuvola di punti e l'immagine della proiezione ortografica

omogenee aventi le stesse caratteristiche fisiche e meccaniche (fig.2g), sia per la restituzione grafica del quadro fessurativo (fig.2h). Gli elementi resistenti sono stati individuati sulle proiezioni ortografiche in base alla natura, alla lavorazione, alla dimensione, alla disposizione e alle caratteristiche cromatiche dei materiali e perimetrati in regioni uniformi a cui sono stati attribuiti dei valori medi di resistenza e deformabilità.

La mappatura delle lesioni ha permesso una pre-diagnosi dei dissesti, consentendo lo sviluppo di ipotesi sui sistemi cinematici esistenti ed eventuali spostamenti relativi in atto. Una prima sommaria valutazione è stata, in effetti, condotta *in situ* attraverso l'individuazione e l'ordinata analisi degli elementi di particolare gravità o pericolo, provvedendo alla predisposizione di apposite schede di rilevamento e di registrazione dello stato di fatto del palazzo: una anamnesi completa, assortita di eidotipi, immagini fotografiche, note e osservazioni.

La successiva trascrizione grafica in scala ha facilitato l'interpretazione dello stato di danno e le sue possibili cause, evidenziando l'andamento generale delle lesioni, le deformazioni murarie e le eventuali inflessioni dei paramenti, le dimensioni e la direzione di apertura dei cigli.

La corretta interpretazione delle lacerazioni è stata, comunque, possibile in virtù della comparazione con l'analisi stratigrafica e l'analisi materica. Le lesioni si manifestano, difatti, con più evidenza in prossimità delle variazioni dei materiali e/o delle unità stratigrafiche, raramente all'interno



di aree omogenee. È apparso, dunque, importante identificare le incoerenze - poiché sono un fattore aggiuntivo di fragilità, determinando un percorso preferenziale per l'attivazione di meccanismi di collasso - e classificarle in base alla discontinuità materica (uso di materiali o di tecniche costruttive differenti, mal aggrappate o non messe ad arte) e alla discontinuità geometrica (presenza di canne fumarie, aperture, riempimenti).

La rappresentazione del dissesto su un supporto grafico tridimensionale ha, infine, agevolato la descrizione dei cinematismi grazie all'individuazione del verso di apertura dei cigli e della direzione delle fratture che, letti contestualmente nell'intero volume, hanno consentito di localizzare i centri di rotazione dei blocchi di muratura e l'evoluzione del conseguente collasso (fig.2i).

Molte delle lesioni presenti sul 'Palazzo del Doge' possono essere ricondotte a discontinuità dovute al suo processo evolutivo accentuate, in seguito, dal susseguirsi di eventi calamitosi naturali e/o dall'abbandono. Il manufatto presenta diffuse decoesioni e caduta di materiale dai paramenti lapidei che determinano condizioni di debolezza localizzate, che potrebbero accentuarsi in seguito a nuovi eventi tellurici o con il proseguire dello stato di abbandono, e che agevolano l'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno dell'elemento murario con conseguente incremento dei fenomeni di disgregazione e caduta degli elementi lapidei, nonché di colonizzazione vegetale.

Si riscontrano, inoltre, fisiologiche discontinuità costruttive in corrispondenza degli elementi architettonici di delimitazione delle aperture o di decorazione quali stipiti, architravi, cornici modanate. Tali fenomeni, nonostante siano costruttivamente naturali, rappresentano dei fattori di criticità localizzata relativa alla possibilità di disammorsamento dell'elemento costruttivo.

Le costruzioni storiche in muratura sono generalmente organizzate in sistemi, più o meno complessi, di pareti verticali e orizzontamenti lignei; le pareti sono associabili ad elementi significativamente resistenti a compressione mentre gli orizzontamenti lavorano a trazione. La risposta sismica di una struttura in muratura è data dall'armonico equilibrio di queste componenti e dalla capacità del sistema di trasferire le azioni tra le sue parti (Cardani et al., 2014). Qui, viene però a mancare la funzione del tetto e dei solai nel redistribuire le forze sollecitanti, determinando così una grave condizione di instabilità e la necessità di un urgente intervento.

Presupposti metodologici e ipotesi progettuali per il restauro

Il destino del 'Palazzo del Doge' e della città intera si inserisce a pieno titolo nel lungo dibattito culturale incentrato sulle modalità progettuali da porre in essere sui manufatti architettonici allo stato di rudere, in cui sovente si rintraccia "anziché un limite con il carico di memorie e di particolari problemi conservativi, un'occasione per immaginare un nuovo progetto: il rudere è visto come un inizio, anziché un termine da accettare nella sua immutabilità" (Varagnoli, 2005, p. 57).

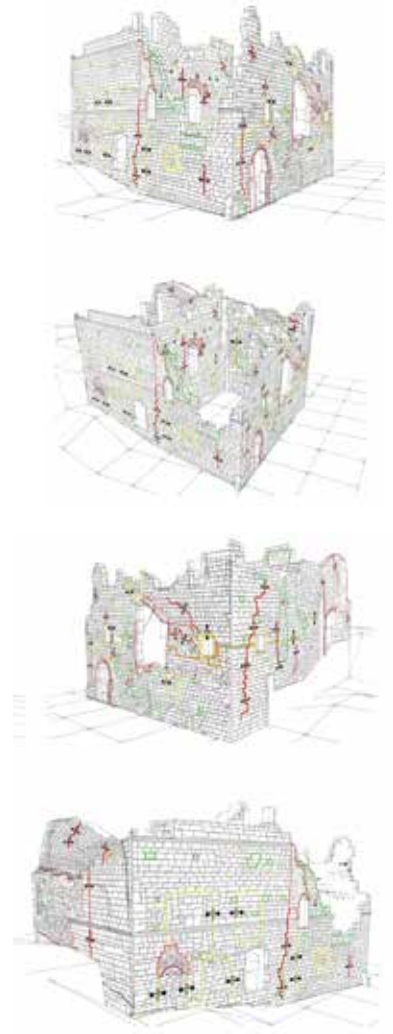


Fig.2i
Sezione-prospetto dell'edificio sia come semplice restituzione al tratto sia dalla sovrapposizione con l'immagine fotografica rettificata

Estremamente diversificati sono gli approcci metodologici oggi seguiti, che vanno dagli interventi di pura conservazione e rudereizzazione totale, agli interventi di ricostruzione variamente declinati nella versione teorico-didattico offerta dalla sempre più utilizzata 'virtualità', mediati da esperienze prodotte nella sfera dell'arte contemporanea oppure ancora tradotti nella *restituzione ad integrum*.

Una soluzione di compromesso viene talvolta trovata nella progettazione di elementi architettonici finalizzati alla visita dei luoghi, attraverso la realizzazione dei percorsi di visita e di strutture di attraversamento leggere e rimovibili atte a non alterare (o quanto meno limitatamente) la percezione dello spazio dell'antico. Il problema si sposta, dunque, nel rapporto tra conservazione degli edifici storici e composizione architettonica, seppur, probabilmente, esso debba ormai giungere ad una risoluzione che possa invece situarsi in una visione più ampia all'interno della quale appare opportuno lasciare maggior spazio alla componente di analisi scientifica stratigrafica dedotta dalle discipline archeologiche e alla conoscenza materico-costruttiva del linguaggio dell'architettura storica.

Troppo spesso, però, le attività piuttosto che indirizzarsi verso interventi volti alla 'legittima' conservazione e valorizzazione di manufatti storici ridotti allo stato di rudere, come del resto la stessa definizione di 'restauro archeologico' segnala (Marino, 2003, p. 176), sono state dominate da una volontà di reinterpretazione dell'antico non sempre basata su una precisa conoscenza filologica, d'altronde molto difficile da acquisire. In effetti, si è assistito e si assiste tuttora, ad una forte tendenza alla ricostruzione delle rovine prettamente legata a ragioni (anche non troppo celate) di pura propaganda politica o per finalità turistiche 'di valorizzazione del territorio', espressa attraverso linguaggi progettuali 'imitatori' dei preesistenti o anche, al contrario, tramite lessici e materiali diversi dai precedenti ma tuttavolta disarmonici e altrettanto inaccettabili.

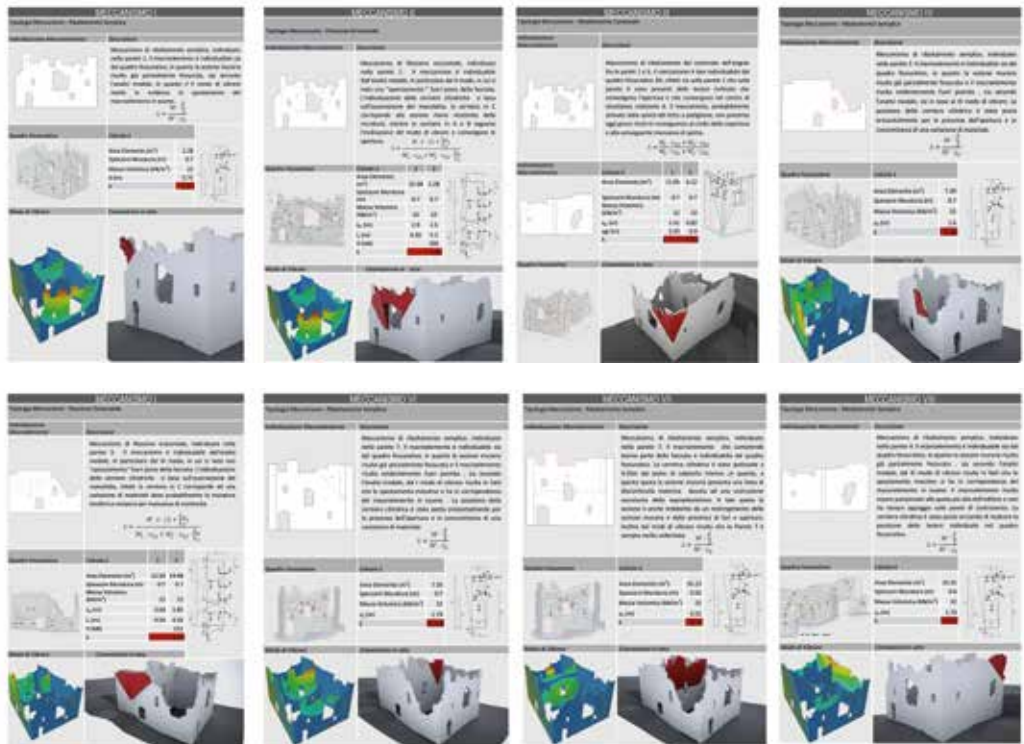
D'altro canto, non appare condivisibile il principio diffuso che l'azione conservativa si possa limitare tecnicamente al solo consolidamento e alla conservazione dello stato di fatto; riprendendo la lezione di Cesare Brandi, esigere di "bloccare il rudere allo *statu quo* è un'operazione praticamente impossibile" (Urbani, 1988, p. 60) quanto propugnare la "immodificabilità del suo aspetto" (Cordaro, 1994, pp. XXIX-XXX). Ad un primo 'intervento diretto' di consolidamento dei materiali deve far seguito un intervento 'indiretto' relativo all'ambiente del rudere, considerando finanche azioni in parte trasformative, finalizzate alla sua conservazione (Gizzi, 2006). La condizione di 'emergenza' riconosciuta al rischio sismico, il concetto di 'dissesto' chiaramente evocatore di uno stato di pericolo rende la 'sicurezza' un valore imperativo che governa l'intervento, inducendo a credere in una visione del restauro limitato al semplice consolidamento. Eppure, alla fase diagnostica, di fondamentale importanza soprattutto nel campo del restauro archeologico al fine di determinare i rischi presenti e quelli futuri, dovrà fare seguito un progetto caratterizzato da azioni conservative imperniate sui criteri del minimo intervento, della non-invasività e della rever-

sibilità e volte a rallentare i processi di decadimento materico e strutturale. Sarà altresì necessario ipotizzare attività indirizzate al raggiungimento della migliore valorizzazione dell'opera, nel rispetto del contesto in cui ricade, in un'ottica di globale godimento di tali beni. Il fine ultimo sarà quello di "tutelare una possibilità del comprendere" ribaltando pregiudizi che vorrebbero (erroneamente) assegnare al restauro il ruolo di risultato finale di un processo di conoscenza finito e concluso (Torsello, 1997, p. 196) e di salvaguardare così il potenziale di informazioni che il palazzo potrà offrire in futuro tramite la sua conservazione "in originale" (Marino, 2002, p. 26). Un approfondito studio strutturale condotto con il metodo di analisi dinamico modale, in relazione alla risposta sismica globale, ha messo in evidenza una forte criticità delle parti 'alte' delle strutture murarie mentre l'analisi statica in campo elastico lineare, considerando i possibili meccanismi locali di collasso a motivo delle caratteristiche costruttive ed evolutive della fabbrica, ha evidenziato che le murature, nonostante lo stato di degrado, non presentano situazioni di criticità se soggette a sole azioni per carichi verticali (fig.3a). Tenendo conto dell'insieme degli studi sul manufatto e su tali presupposti sono stati, quindi, ipotizzati in prima istanza interventi volti a far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza rispetto alle azioni sismiche, in termini assolutamente conservativi dell'antica materia superstita. Operazioni moderate di consolidamento o, meglio di 'restauro statico', proposte sotto forma di schede di interventi specifici per ogni macro-elemento, e orientate tramite azioni puntuali sulle fondazioni, sugli alzati e di contrasto ai fenomeni di infiltrazione e percolamento delle acque meteoriche (Fiorani, 2004; Giuriani, 2012) (fig.3b). Prima di intraprendere ogni attività, l'edificio, necessita di essere innanzitutto sottoposto ad una scrupolosa pulizia degli ambienti, al fine di rimuovere i più recenti strati di crollo ed eliminare la presenza di rovi, sterpaglie e piante infestanti. Questi ultimi, insieme alla lunga esposizione agli agenti atmosferici, hanno determinato situazioni estese di sconnessione delle masse murarie e di degrado delle malte; si rende, pertanto, utile il diserbato con irrorazione di composti chimici ad azione biocida e rimozione manuale e la disinfezione dei muri attraverso la eliminazione delle colonie biologiche vive, poco aderenti al substrato. Nelle zone circostanti al palazzo si provvederà ad eliminare la copiosa vegetazione, rimuovendo i conci staccati dalle strutture murarie o erratici e alla sistemazione di un tessuto non tessuto con soprastante strato di ghiaia, allo scopo di impedire la ricrescita della flora, scoraggiare la frequentazione da parte delle greggi e permettere una migliore integrazione del palazzo nel suo ambiente. Gli interventi sulle fondazioni, operati per mezzo di iniezioni di malta, sono finalizzati a ripristinare la resistenza del terreno alla base del fabbricato in parte compromesso durante gli scavi delle precedenti indagini archeologiche. La 'messa in luce' delle fondazioni con l'abbassamento del livello originario di calpestio ha accresciuto l'altezza relativa delle pareti e ridotto l'efficacia del vincolo ad incastro a terra. È stato così progettato il rinterro delle trincee non utili alla documentazione del palazzo e previste opere

di collegamento strutturale per migliorare le concatenazioni sia tra fondazione e terreno sia tra fondazione ed elevati.

Il progetto d'intervento sul tessuto murario, si propone di restituirlgli piena omogeneità, uniformità nella resistenza, continuità nella rigidezza, Esso prevede l'inserimento di 'integrazioni' in corrispondenza delle più importanti lacune, che rischiano di compromettere la stabilità globale. Nello specifico, si prevede l'utilizzo di mattoni d'argilla, che distinguendosi dalla muratura originale in pietra, dichiarino la loro contemporaneità. Le analisi materiche avevano del resto messo in evidenza come il laterizio non fosse un materiale del tutto estraneo al manufatto poiché impiegato, in alcune antiche integrazioni, per la realizzazione di voltine o architravi. Questi inserti garantiranno la stabilità statica della muratura, e ricostituiranno il comportamento monolitico delle pareti. Per migliorare il funzionamento statico della muratura nuova nei confronti di quella antica ed evitare separazioni tra i due diversi materiali, che per loro natura tendono a comportarsi in maniera leggermente differente, sarà possibile inserire delle armature orizzontali, realizzate in sottili barre di acciaio inox, nei giunti, ogni tre o quattro corsi, inghisate a loro volta nella muratura in pietra lungo i bordi dell'integrazione.

Al fine di ripristinare la capacità scatolare dell'edificio e consentirgli di funzionare strutturalmente come un unico organismo spaziale, si provvederà all'utilizzo di due tipologie di tirantature: barre in acciaio disposte verticalmente su entrambi i lati della muratura, collegate puntualmente alla pa-



rete lungo l'altezza e messe in leggera tensione e diaframmi 'a diamante' (fig.3c) (Jurina, 2012). Soluzioni che non nascondano o limitino la lettura dell'esistente ed evidenzino, senza celarla, la vulnerabilità del rudere. Sono stati dunque previsti degli interventi di protezione delle creste murarie, ricoprendole con un sottile strato di malta fibrorinforzata (2-3cm), armata con una fine reticella inox. La malta fibrorinforzata avrà una duplice funzione: la protezione dalle infiltrazioni d'acqua nella muratura e la redistribuzione dei carichi applicati dagli interventi di consolidamento.

La scelta progettuale di eseguire con rigore metodologico un progetto di 'pura conservazione' basato sul presupposto etico di massimizzazione della permanenza limitandosi ad intervenire sui fenomeni di degrado e dissesto, senza operare in alcun modo azioni di selezione ma al contrario rispettando ogni stratificazione storica, ha infine imposto delle soluzioni - non invasive e rimovibili - che non alterassero in modo significativo l'identità del palazzo e quindi anche il comportamento strutturale generale. Ispirandosi alle recenti risoluzioni della Soprintendenza Archeologia della Puglia che ha scelto le installazioni in rete metallica leggera e trasparente realizzate dall'artista Edoardo Tresoldi per rileggere e interpretare i volumi, un tempo occupati dall'antica basilica paleocristiana nel parco archeologico di Siponto (Manfredonia), si propone una soluzione simile o comunque altrettanto effimera ma altamente evocativa, che possa garantire la riconfigurazione spaziale dei luoghi senza cedere il passo alla creazione di un 'falso storico'.

pagina a fronte

Fig.3a
Analisi cinematica lineare e determinazione dei meccanismi di collasso

Fig.3b
Schede di intervento specifiche per ogni superficie muraria



Conclusioni

Antivari rappresenta un caso emblematico in funzione della sua complessità e della molteplicità dei fattori in gioco. La sua importanza non risiede tanto nell'unicità del sito e della sua storia (comunque non trascurabili), quanto nello stato in cui il luogo si trova. Miracolosamente sopravvissuto alle ingiurie del tempo e alla incuria degli uomini, l'antico borgo corre, però, il rischio di essere travolto da una frenesia di 'intervento' che poco spazio lascia alla riflessione e che può produrre errori a cui non si potrà più porre rimedio. Piuttosto che ricostruire una città 'in stile medievale' seguendo le logiche finora impiegate o cedere il passo all'immobilismo, rischiando che il fascino del rudere di matrice ruskiniana prevalga, appare necessario perseguire nuovi studi e progettualità che permettano alle comunità locali (ma non solo) di riappropriarsi della memoria di tali spazi urbani, innescando nuove riflessioni sulle doverose azioni di rigenerazione. In tal senso, le rovine dei suoi palazzi possono essere considerate degli "oggetti privilegiati proprio in virtù del loro stato di conservazione, tanto compromesso a volte da farne testimonianze allo stato puro di culture materiali e costruttive non altrimenti indagabili" (Serafini, 2005, p. 80). Nello specifico, l'esperienza condotta sul 'Palazzo del Doge' si è voluta esemplare di un approccio metodologico che vede nella conservazione del messaggio di 'mancanza' di un manufatto, ormai privato della sua *integritas*, un'alternativa possibile rispetto alle numerose azioni di ripristino con reintegrazioni à l'*identique*, che snaturano la vera essenza di tale luogo (Manieri Elia, 2003).

È così che, quella 'conservazione della conoscenza' che secondo Tiziano Mannoni rappresenta l'obiettivo principale della ricerca archeologica diventa anche l'obiettivo del restauro architettonico e di tutte le altre azioni ed ambiti ad esso collegati. Ciò in una visione della conservazione che non si pone l'obiettivo di fermare lo scorrere del tempo ma che invece intende limitare le trasformazioni, senza vincolarle a considerazioni di natura soggettiva e/o estetica (Bellini, 1986).

Fig.3c
Tavola riassuntiva
degli interventi
sulla struttura
tramite
rappresentazione
grafica
tridimensionale



Bibliografia di riferimento

- Bagato C., Baudo F., Fresia S. & Grandi E. 2006, *The fortifications of Bar. Archaeological evidence from Gate 112*, in *The Archaeology of an abandoned town. The 2005 Project in Stari Bar*, Gelichi S. (a cura di), All'Insegna del Giglio, Firenze, pp. 33-54.
- Bellini A. (a cura di) 1986, *Tecniche della conservazione*, Milano, Franco Angeli.
- Bertocci S. 2013, *A survey database for the control of the seismic vulnerability: Acciano in the earthquake area of Abruzzo (Italy)*, in *Reuso: Actas del congreso internacional sobre documentación, conservación y reutilización del patrimonio arquitectónico*, Alonso-Muñoyero S. M., Márquez de la Plata A. R., Cruz Franco P. A. (a cura di), c20 Servicios Editoriales, Madrid, pp. 37-46.
- Borri A., De Maria A., Donà C., Gangi G. 2011, *Comportamento meccanico delle murature storiche*, in *Manuale delle Murature Storiche - Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, Donà C., De Maria A. (a cura di), vol. I, Dei, Roma, pp. 89-113.
- Bošković D. 1962, *Stari Bar*, Savezni Institut za Zastitu Spomenika Kulture, Beograd.
- Cadamuro S. 2014, *Antivari veneziana: il c.d. "Palazzo del doge". La sequenza archeologica*, in *Storie di una città. Stari Bar tra antichità ed epoca moderna attraverso le ricerche archeologiche*, Gelichi S., Zagarčani M. (a cura di), All'Insegna del Giglio, Firenze, pp. 107-117.
- Cadamuro S., Leardi S. 2014, *Sequenze a confronto*, in *Storie di una città. Stari Bar tra antichità ed epoca moderna attraverso le ricerche archeologiche*, Gelichi S. & Zagarčani M. (a cura di), All'Insegna del Giglio, Firenze, pp. 118-120.
- Cardaci A., Versaci A., Indelicato D., Fauzia L. R. & Speranza C. 2014, *Heritage at risk: investigation and vulnerabilities management for the safeguarding of an old fortified town*, in *Heritage 2014 – Proceedings of the 4th International Conference on Heritage and Sustainable Development*. Guimarães, Portugal, 22-25 July 2014, Green Lines Institute for Sustainable Development, Porto, vol. 2, pp. 869-880.
- Cardani G., Binda L., Giami P., Belluco P. 2014, *Proposta di una metodologia di approccio speditiva per la salvaguardia degli edifici in aggregato appartenenti ai centri storici in zona sismica*, in *Reuso: La cultura del restauro e della valorizzazione. Temi e problemi per un percorso internazionale di conoscenza*, Bertocci S., Van Riel S. (a cura di), Altralinea, Firenze, pp. 51-58.
- Cordaro M. 1994, *Introduzione in Il restauro. Teoria e pratica 1939-1986*, Brandi C., Cordaro M. (a cura di), Editori Riuniti, Roma, pp. XXIX-XXX.
- Docci M., Maestri D. 2009, *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, Roma-Bari.
- Fiorani D. 2004, *Interventi sulle strutture in elevato, in Atlante del Restauro*, Carbonara G. (a cura di), UTET, Torino.
- Galli C. 2015, *Miglioramento sismico e ragioni del rilievo critico*, «Disegnarecon», vol. 8, n. 14, pp. 1-11. <<http://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/issue/view/08.14.2015>>.
- Gelichi S. 2006, *Stari Bar. The archaeological evidence and the settlement during the ages*, in *The Archaeology of an abandoned town. The 2005 Project in Stari Bar*, Gelichi S. (a cura di), All'Insegna del Giglio, Firenze, pp. 19-32.
- Gelichi S. 2008, *The 2006-07 Archaeological Project in Stari Bar: a Preliminary Report*, in *A town through the ages. The 2006-2007 Archaeological Project in Stari Bar*, Gelichi S. (a cura di), All'Insegna del Giglio, Firenze, pp. 9-14.
- Gelichi S. 2014, *Antivari nella storia: riflessioni dopo dieci anni di ricerche a Stari Bar*, in *Storie di una città. Stari Bar tra antichità ed epoca moderna attraverso le ricerche archeologiche*, Gelichi S., Zagarčani M. (a cura di), All'Insegna del Giglio, Firenze, pp. 7-26.
- Giuffrè A., Grimaldi A. 1985 (a cura di), *Studi italiani sulla meccanica delle murature*, in *Atti del Convegno Stato dell'arte in Italia sulla meccanica delle murature*, Roma, pp. 151-175.
- Giuffrè A. 1988, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica, Roma.
- Giuffrè A. 1991, *Lettura sulla Meccanica delle Murature Storiche*, Kappa, Roma.
- Giuffrè A. 2010, *Leggendo il libro delle antiche architetture. Aspetti statici del restauro saggi 1985-1997*, Carocci C., Tocci C. (a cura di), Gangemi, Roma.
- Giuriani E. 2012, *Consolidamento degli edifici storici: restauro e recupero*, Utet, Milano.
- Gizzi S. 2006, *Il rudere tra conservazione e reintegrazione*, da Alois Riegl a Cesare Brandi, in *La teoria del restauro nel Novecento da Riegl a Brandi. Atti del Convegno Internazionale (Viterbo, 12-15 novembre 2003)*, Andaloro M. (a cura di), Nardini, Firenze, pp. 59-70.
- Jurina L. 2012, *Tecniche di consolidamento dei monumenti: una panoramica attuale*, in *IF-CRASC'12: Atti del convegno*, Augenti N., Sassu M. (a cura di), AIF, Napoli.
- Manieri Elia M. 2006, *Il plurivalente senso del rudere*, in *Il rudere tra conservazione e reintegrazione*, Billeci B., Gizzi S., Scudino D. (a cura di), Gangemi, Roma, pp. 155-160.
- Marino L. 2002, *Restauro di manufatti architettonici allo stato di Rudere. Corso di perfezionamento anno accademico 2001-2002*, Alinea, Firenze.
- Marino L. 2003, *Dizionario di restauro archeologico*, Alinea, Firenze.
- Marino L. 2013, *Il rischio nelle aree archeologiche*, Alinea, Firenze.
- Puche J. M. 2015, *Al di là della morte del disegno archeologico. I Massive Data Acquisition Systems (MDAS) in archeologia*, «Archeologia e Calcolatori», n. 26, pp. 189-208.
- Serafini L. 2005, *La progettazione per gli edifici allo stato di rudere tra realizzazioni e questioni teoriche*. In *Conservare il passato. Metodi ed esperienze di protezione e restauro nei siti archeologici*, Varagnoli C. (a cura di), Gangemi Editore, Roma, pp. 79-96.
- Torsello B. P. 1997, *Conservare e comprendere, in Il progetto del passato. Memoria, conservazione, restauro, architettura*, Pedretti B. (a cura di), Bruno Mondadori, Milano, pp. 179-200.
- Urbani G. 1988, *Il problema del rudere nella Teoria del restauro*, in *Per Cesare Brandi, Atti del seminario 30 maggio-1 giugno 1984*, Roma, pp. 59-65.
- Varagnoli C. 2005, *Ruderi e restauro: una sperimentazione in Abruzzo*, in *Conservare il passato. Metodi ed esperienze di protezione e restauro nei siti archeologici*, Varagnoli C. (a cura di), Gangemi, Roma, pp. 53-78.

Measure and material of the 18th- 20th century masonry techniques. Archaeological analysis of the University building in Cagliari (Italy)¹

Caterina Giannattasio
Silvana Maria Grillo
Maria Serena Pirisino

DICAAR | Department
of Civil Environmental Engineering
and Architecture
University of Cagliari

opposite page

Fig.1
Cagliari, the Castello
district, aerial view from
the west, orthophoto 2008,
scale 1:2000 (Courtesy of
Regione Autonoma della
Sardegna)

¹ The *Introduction*, *Archaeometric analysis* and the *Conclusion* were written by all the authors; *The architecture*, *The methodology* and *Results-Chronology* were written by C. Giannattasio; *Results-Material* by S.M. Grillo, *Results-Measure* and *masonry techniques* by M.S. Pirisino. The iconographic apparatus was edited by C. Giannattasio; the restitution of the drawings was done by M.S. Pirisino.

² This work stems from a convention signed in 2011 between the DICAAR - Department of Civil, Environmental Engineering and Architecture of the University of Cagliari and the Rectorate of the same university, whose object was the "Scientific advice for the restoration of the prospectuses of the Rectorate building of the University of Cagliari". The work was carried out under the direction of Caterina Giannattasio, a multidisciplinary team of researchers of the aforementioned department. The investigation *in situ* during the building site was carried out by the writers. In particular, Maria Serena Pirisino carried out the activities during the PhD program in Civil Engineering and Architecture of the University of Cagliari, XXIX cycle, in the academic year 2013/2014, with the support of a scholarship financed with the resources allocated by INPS - Management of Public Employees, as part of the initiatives of *Homo Sapiens Sapiens*.

Abstract

The University building represents a valid benchmark of the 18th century civil architecture in Cagliari. It consists of two separate architectures, initially seat of the Rectorate and of the Tridentine seminary, which over time have taken on a homogeneous character.

The research, facilitated by the realization of a recent restoration project, was aimed to examine the masonry techniques that characterize the building, following an interdisciplinary approach by means of archaeological analyses.

The investigation consisted of two main phases, indirect and direct, carried out in parallel. Specifically, it has been based on a thorough survey of the masonries and on mineralogical and petrographic characterization of the natural and artificial stone materials. The data obtained directly and through experiments were compared with the information found in the archival sources related to the construction phases.

In the context of reference, the contribution is significant to facilitate the recognition, the dating, and the preservation of coeval architectures that, unlike the one examined, are not philologically dated.

Introduction

The University building in Cagliari (fig.1-2), built during the second half of the 18th century, represents an excellent chronological benchmark. Actually it is precisely dated, thanks to a series of studies that have already been carried out - including someone very recent (Giannattasio et al., 2015; Schirru, 2010) - based on the consultation of historical documentation, both written and iconographic (fig.3).

The recent restoration project (2013)² provided the removal of the plaster and the construction of a new one in some parts of the building. It allowed to investigate masonries directly and to carry out archaeometric analysis. The understanding of the construction process and of the building techniques was facilitated by the critical reading of historical documents related to the construction phase of the 18th to 19th century (fig.4), which put in evidence the differences between the initial architectural drawings and the building effectively realised.







Specifically, the research has been carried out integrating historical-archaeometrical and scientific methodologies: on the one side, the building has been explored by an architectural point of view, using an approach based on the chrono-typological analysis of masonries, providing their structural aspects and the executive modalities for their setup. Precisely metric and photographic surveys, supported by drawings highlighting the constructive peculiarities were applied (fig.5). On the other side, they have been studied by means of mineralogical-petrographic and geochemical investigation for the characterization of stony elements, plasters and mortars.

Mineralogical and petrographic characterization has been conducted through optical microscopy of standard thin sections and X-ray diffraction (fig.6), while chemical analysis of the binder have been done by X-ray fluorescence in order to define the nature of the mortar (hydraulic or lime mortars). Finally, the data from the direct analysis were compared with the historical ones, obtained through the examination of the archival and historical iconographic sources.

The research aimed at the definition of chrono-typologies for the masonries, with the adoption of new protocols and multidisciplinary diagnostic techniques. This purpose is significant in the Sardinian context, where studies about the masonry techniques are yet poor (Giannattasio, 2008). Without a framework of systematic support, our studies are focused mainly on philologically dated architectures, which allow to identify the masonry construction peculiarities related to a specific moment in history (Giannattasio, 2009).

The architecture

The University building of Cagliari is currently seat of the Rectorate and of the University library. It was built during the second half of the 18th century and represents one of the greatest monuments, for size and architectural meanings, of Castello (Kirova, 1985), the oldest district of Cagliari (fig.1-2). This monument derives from the union of two different buildings (fig.4) The first one, placed on the North side, was built since 1765 as Rectorate. The second one, situated on the South side, was erected in 1771, originally as seat of the Tridentine seminary and currently as seat of the University library, exhibition spaces and administrative offices. It is the result of one of the most significant action of the architectural campaigns in Sardinia (Schirru, 2010), established by the Savoy crown, after the constitution of the Kingdom of Sardinia in the 1720. Actually, the reform of the University of Cagliari achieved the foundation of the new institutional seat; at the same time, the academic renewal and the nationwide program of modernization of the seminars requested a suitable location in Cagliari (Cabras, 1966; Cavallari Murat, 1966; Pescarmona, 1984; Naitza, 1992; Schirru, 2005-2011). So, Saverio Belgrano of Famolasco, military engineer, drew up an architectural drawing for the new University in 1764, and two years later, situated next to it, he designed the Seminary (Cavallari Murat, 1961). In-



Fig.2
The University building seen from different points of view of the historical centre

spired by models of Piemontese architecture, with some constructive variation, it greatly influenced the entire local public and private building production, implementing a renewal of architectural and urban culture.

The façades show a different pattern in relation to their location (fig.4): the East one is characterized by architectural elements of historical and artistic meaning, which are reduced to a simple system of pilasters, closed arches and string courses in correspondence with the West front and become almost non-existent in the façades of the short sides.

The initial phase did not neglect the effect that the new building would have had in the urban historical landscape. Indeed, the aim was not only focused on the architectural details, but to create new points overlooking the city, in line with the trends of those years, and playing with scenic effects, as in many examples of Piedmont architecture. Finally the scenic space for the University building was obtained through the creation of a system given by the perspective sequence atrium-courtyard-portico, achieved in the middle of the building, and for the Tridentine seminary through the roof terrace on the second level. The effect of transparency and continuity between the Castello district and the rest of the city was quickly denied, due to structural problems –that will be later explained– which imposed the closing of the arches.

The construction site of the two buildings were problematic and long, as it is evidenced by several documents written by chief engineers, surveyors and construction managers, who came in succession during the building phases. The long duration and the inexperience of chief engineers about the traditional local material caused from the beginning the formation of numerous cracks on the walls, on the vaults and arches of the upper floors gallery of the two buildings.

The building yard was completed within the second decade of the 20th century, while the two buildings were joint in 1955 - when the Tridentine seminary was acquired by the University - hiding the original constructive dif-

ferences between them. Despite the many interventions, the design of the architectural complex remained essentially unchanged from the time of its foundation, retaining its spatial organization, and the building still now maintains its formal and material peculiarities. These data emerged in the recent restoration works, during which an intensive interdisciplinary investigation was carried out.

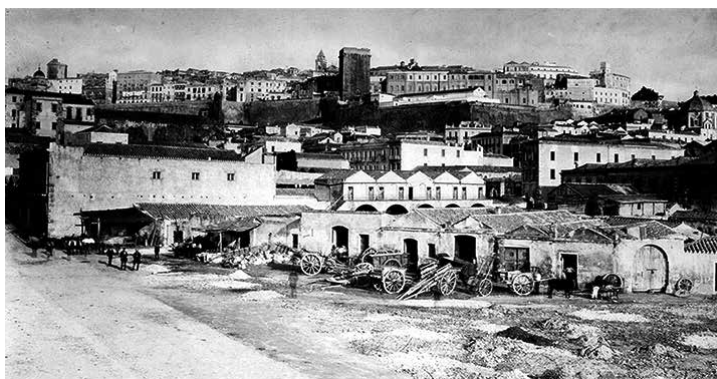
Methodology

The protocol of investigation consisted of two main phases: one indirect and the other direct, carried out in parallel. In detail, the indirect phase was based on:

1. the consultation of bibliographic and archival sources, published and unpublished, kept in the State Archives of Cagliari and Turin, in the University of Cagliari Archive and in the Archive of the Superintendent BAPSAE (Architectural, Landscape, Historical Artistic and Ethno-anthropological Assets) for the county of Cagliari and Oristano;
2. the transcription of the historical documents considered significant for the reconstruction of the history of the site, in particular instructions of the designers, bill of quantities and contracts;

Fig.3

The University building in some historical views of Cagliari: a. engraving of 1832, by G. Cominotti and E. Marchesi (University of Cagliari, Piloni Collection); b. photo taken in 1854 by the French photographer Edouard Delessert, which shows that the Eastern wing of the Tridentine seminary is still incomplete (Sardinian Digital Library); c. image of the late 19th century (Historical Archives of Cagliari, Section IX, Collection and Album, photo n. 498)



3. the analysis of the architectural drawings, of views and of historical iconographic sources (fig.3), essential to the definition of the limits *ante quem* and *post quem*, in the absence of absolute dates;
4. the elaboration of chronological synthesis schemes, both in plan and in elevation, for the external façade (fig.4), which facilitated the knowledge of the several phases of construction;
5. the comparison of the data reported in the archival sources, called “Instructions” of the 18th to the 19th century building yard, with those that emerged directly.

In the direct phase, the procedures conducted were:

1. the updating and revising the 1990’s architectural survey, integrated by the drawing of the vaults system in plan (fig.4);
2. the survey and graphics from scratch of the Western courtyard of the building;
3. the image rectification of all the façades, in order to include in the architectural survey the mapping of materials;
4. the image rectification of the Eastern front in the portion immediately above the base and of the Southern part of the Western front, during the phase of removal of plaster referred to the recent restoration project (fig.5);
5. the detailed graphic restitution of the masonry techniques (fig.5);
6. the identification of parts of the masonry not compromised by later interventions back in the first construction phase of the structure and the subsequent selection of masonry samples (fig.5);
7. the analysis of the selected masonry, by means of the study of the techniques, the archaeological survey, the measure and the material of the natural stone elements, bricks and joints, regarding the East façade, as well as the Western front of the former Tridentine seminary;
8. further investigations on the thicknesses of the stony elements for cladding by way of the use of Georadar;
9. the macroscopic analysis and removal of micro-samples, in agreement with the document Nor.Ma.L. 3/80, currently UNI 8458 (fig.5);
10. the mapping of different masonry techniques, in relation to the type of texture, of material and the possible presence of cladding layers (fig.5);
11. the mineralogical-petrographic analysis of samples by optical microscopy and X-ray diffraction (fig.6).

Results

Chronology

The research, as we said before, was carried out through the consultation of bibliographic and archival sources, the examination of the more significant documents, the architectural drawings, views and historical iconographic sources (fig.3). It allowed the elaboration of the synthesis of chronological phases (fig.4), which facilitated the knowledge of the several construction phases.

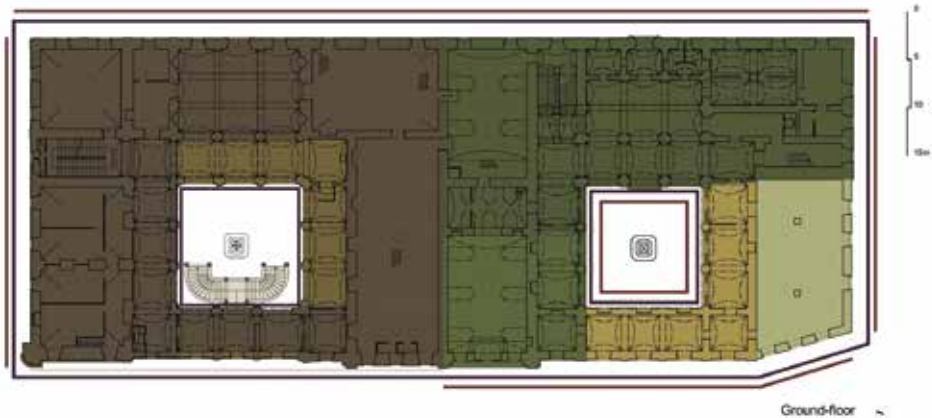
next page

Fig.4

Synthesis of chronological phases of the ground-floor and of the external façades. In the legend, with reference to each chronological stage, the different symbols show the source through which the relative dates have been deduced. If they are associated not to a precise date, but to a time frame, these symbols are two, and refer to the start and to the end dates. In plan, the interventions of restoration work concerning the façades have been identified with the lines around the building. Also masonry samples, analysed in depth in fig.n.5, have been highlighted with squared frames

Fig.5

Masonry samples concerning the main chronological phases. Each sequence includes: a) the image rectification; b) the scheme of the masonry technique and the cladding typology (MO1, MO2, MO3, MO4, MO5); c) the archaeological survey; d) a detailed survey of the sample (only for MSO3 and MSO4). Mo and Pl abbreviations indicate the sampling points of mortars and plasters which have been the subject of laboratory analysis shown in fig.n. 6



Ground-floor



The East façade



The North façade



The South façade



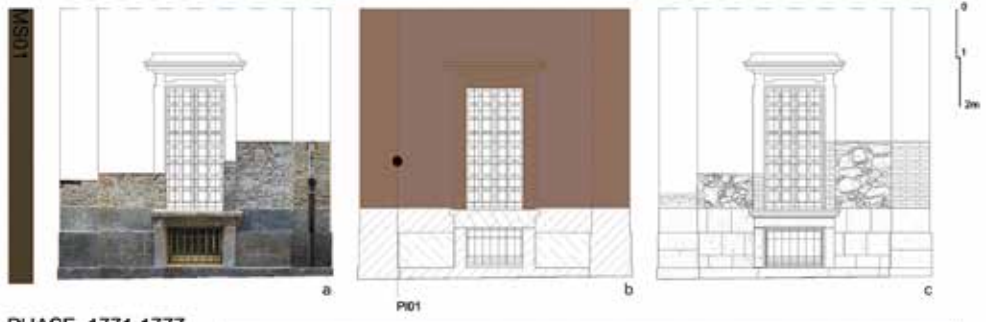
The West façade

■ 1765-1769	■ 1780	■ End of 19th century	■ 1960-1965
■ 1771-1777	■ 1781-1832	■ End of 19th century-1921	● 1977
■ 1777-1832	■ 1854-1865	■ 1928	— 2014

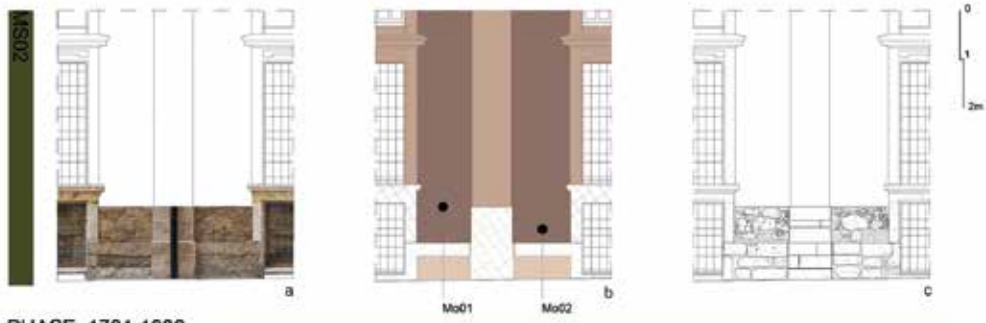
SOURCE: ● ARCHIVAL DOCUMENTS ● ICONOGRAPHIC SOURCES ● INTERPRETATION BY THE AUTHORS

MSM MASONRY SAMPLES

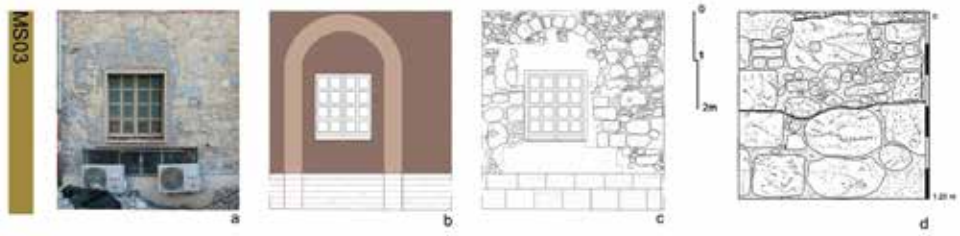
PHASE 1765-1769



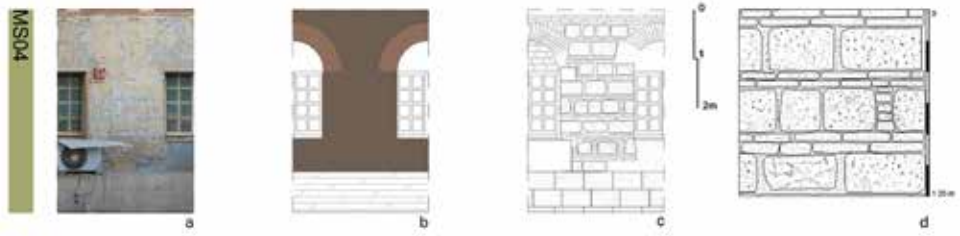
PHASE 1771-1777



PHASE 1781-1832



PHASE End of the 19th century-1921



- | | | | |
|--|---|--|--|
| <p>— SQUARED STONE MASONRY</p> <p>M01 - PIETRA FORTE</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Plastered b. In view <p>M02 - PIETRA CANTONE</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Plastered b. Cladding of Pietra Forte c. Cladding of Travertino | <p>— ROUGH STONE MASONRY</p> <p>M03 - LIMESTONE</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Plastered b. Cladding of Pietra Forte c. Cladding of Volcanic Rock d. Cladding of Rhyolithe e. Cladding of Travertino | <p>— REGULAR BRICKWORK</p> <p>M04 - BRICKS</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Plastered b. Cladding of Volcanic Rock | <p>— EDGED MASONRY</p> <p>M05 - PIETRA CANTONE AND BRICKS</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Plastered b. Cladding of Travertino |
|--|---|--|--|

In particular, we can identify:

- a. 1765-1769 (North, West part - with the exception of the top floor, East and ground floor and first floor of the South portion of the University building): the period starts with the beginning of the construction phase in 1764 and it ends with the inauguration of the building in 1769. Both dates have been deduced by archival sources;
- b. 1771-1777 (East part and the ground floor of the North portion of the seminary): the dates have been confirmed by the historical documents;
- c. 1777-1832 (South wing, the gallery of the East wing and the closing of the arches of the University on the West side): the year 1777 refers to a calculation of spending and completion drawn up, part of archival sources analysed, while 1832 is the date of an engraving in which the building appears to be complete (fig.3a);
- d. 1780 (West part of the North wing of the seminary, or the Tridentine chapel and the upper floors to it): the date has been indicated by a document signed by the dean of the seminary;
- e. 1781-1832 (South and West wings overlooking the courtyard of the seminary): the first date is the result of an interpretation that starts from the reading of several archival sources from 1777 to 1780, where the priority was to build a chapel and the upper floors to house the seminarians; therefore, the construction of this part should be ascribed to immediately after 1780. The date of 1832 derives once again by the historical view cited in point c;
- f. 1854-1865 (top floor of the prospectus on the West façade of the University building): this part is not yet present in a historical photo of 1854 (fig.3b) but it is visible in 1870 (fig.3c) and is also confirmed by a document of 1865;
- g. late 19th century (the top two floors of the Southern wing of the courtyard of the seminary): the date has been attested by a historical photo;
- h. late 19th century-1921 (South-Western wing of the seminary): the date is inferred from the fact that the portion in question is not visible in the previously mentioned photo of the late 19th century, but it appears in an aerial shot made by a blimp in 1921;
- i. 1928 (based on the West façade and staircase in the courtyard of the University): the date has been deduced by historical documents kept in the University of Cagliari Archive;
- j. 1960-1965 (the last floor of the University building): as consequence of the acquisition of the seminary by the University (1955), there were several changes an addition to house the University library, all the documents are in the Archive of the Superintendent BAPSAE for the counties of Cagliari and Oristano;
- k. 1977 (external façades): the interventions of restoration work, provided documentary evidence, consist in the remake of all historical plasters, the replacement of window frames, the addition of a slab of travertine cladding in the base of the Southern façade and the Western façade of the seminary, as well as the inclusion of shutters in the West side;

- l. 2014 (external façades): it represents the last restoration work, which provided for the removal of the plaster and the construction of a new one in some parts of the building.

Material

In the building of the University, the material used, both in form of rough stone or squared ashlar for building masonries and making mortar and plasters, are those from the historic urban quarries. The area where the city of Cagliari stands includes a series of hills consisting mainly of carbonate rocks belonging to the Oligo-Miocene period known locally as *pietra forte* and *pietra cantone* (Grillo, 2009 a).

The *pietra forte* is an organogenic limestone from a very compact cliff, generally white, and it is the most prized lithotype. It has been used mostly for unplastered works, due to its excellent properties that make it particularly resistant to several forms of degradation. The *pietra cantone*, yellow-mustard-cream coloured, on average cemented, slightly resistant to the action of the agents responsible for chemical-physical degradation, was designed almost exclusively for the execution of plastered walls; its easy workability has made it suitable also for the execution of ornamental apparatuses.

The *pietra cantone* has been used for the construction of the masonries and mortars. The *pietra forte*, instead, used only for elements in view, was extracted from a popular site of Cagliari, *Monte Mixi*, known in the 18th century for the extraction of a particularly white material and with very high mechanical properties. Moreover, the building insisted on a *pietra forte* outcropping, so the stone was also recovered *in situ*, and, as described in the archival sources, the excavated material was intended mainly for the execution of the foundational works and rough stone masonry, used for the construction of both buildings. The presence of bricks is also significant, in colours from yellow to cream and light red. They are utilized, both in the University and in the seminary, especially in the construction the vaults. Vulcanites, known in the literature as *trachiti auctorum*, also belonging to the Sardinian lithology (Grillo, 2009b), came from mining sites of volcanic areas of the island. In particular, the two used in the architectural complex are: 1) the trachi-andesites, extracted in the quarries of Serrenti between the end of the 19th and the first half of the 20th century, light grey in colour, widely employed in the architecture of the period of Cagliari (Grillo, 2009a); 2) the rhyolite, with a porphyric structure and well-welded tuff texture, yellow in colour, coming from some sites that are now abandoned, Asuni and the the San Pietro island.

Finally, the travertine, a no-local material, has been used as cladding in some parts of the base of the West and the South side of the seminary palace. Furthermore, the study was supported by mineralogical and petrographic investigations on natural and on artificial stone, in order to characterize the original materials and to highlight the differences with respect to those used in the later stages. With regard to natural stones, having been already widely studied, their characterization was carried out during in-

spectations only by way of a detailed analysis. Instead, for brick joints and plaster mortars, a strategic sampling was performed. The micro-samples were subject to:

1. the macroscopic characterization *in situ* and the stereoscopic microscope to define the structure, the degree of cohesion, the porosity, the morphology, the type of fracture;
2. the study of the mineralogical and petrographic thin sections of standard optical microscopy in transmitted light;
3. the analysis in X-ray diffractometry of minced samples in an agate mortar, to define the mineralogical composition and the presence of optically unidentifiable minerals. In order to check whether the samples were actually the original ones, we defined the nature of the components of the aggregate/binder; then we compared them with the formulations of the different mixtures reported regularly in the archival sources.

At present, the investigations carried out on the Eastern façade of the two buildings, in particular the masonry samples MSO1 and MSO2 (fig.5), confirmed the existence of at least two historical mortars and others attributable to different phases of the construction.

The analysis of samples of historical mortars (MOO1 and MOO2) are mostly representative of the 18th century phase of the seminary. In particular, the MOO1 sample (fig.6) is characterized by a binder of lime and a quartz-feldspathic and bioclastic aggregate, with morphological and dimensional characteristics compatible with the sand coming from the town beach. It represents a historical mortar described in the archival sources.

Sample MOO2 (fig.6) was collected in the inner part of the masonry. Generally, without a very cohesive cream colour, it is characterized by an aggregate almost absent of fragments of carbonate and a binder of lime from micritic to microsparitic, with numerous appearances of unburned, lime inclusions and shrinkage cracks. Also this category corresponds to the description that is given in the historical documents.

With reference to the plasters, in the East side of the building we can see a succession of plasterwork performed during different interventions.

The innermost layer, corresponding to sample PLO1 (fig.6), is difficult to attribute to a precise moment, but it could be related with the phases of the restoration in 1977. This layer is dark grey, very compact and with a high degree of cohesion with the masonry built with the bricks. Macroscopically, it has the appearance of a cement mortar and its analysis by optical microscopy in part confirms what was observed previously. In fact, it highlights the presence of a micritic carbonate binder, but with areas characterized by minerals that do not have the same morphology and the calcite colours of interference. The aggregate is quartz-feldspar with lithic fragments of a different nature but mainly granite, with an average particle size, with bimodal granulometric distribution. The presence of shrinkage cracks or unburned was not observed.

Measure and masonry techniques

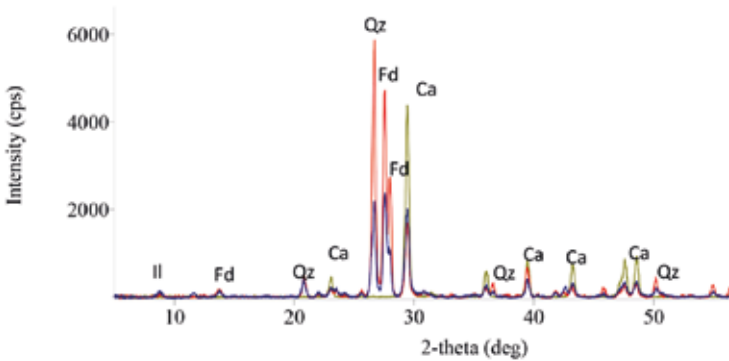
After the definition of the chronological synthesis, several masonry techniques, concerning different chronological phases, have been identified thanks to the removal of plaster from masonries during the last restoration project (fig.4).

The mapping of the different masonry techniques, referred to the ground floor of the Eastern façade of the entire complex and to the base of the Western façade of the seminary, was performed, as previously mentioned, through the analysis of some sections of masonry. They were investigated with the support of drawings at 1:10 scale, through which the constructive peculiarities and the materials in relation to the time of construction were highlighted.

The wall thickness of the investigated structures is generally 1.10 m, but nowadays there is no information about the methods of construction of the section, which could be inferred from archival sources. The absence of this *datum*, certainly significant for chrono-typological purposes, will be further pursued in a later stage by the support of non-destructive geophysical and ultrasonic diagnostic texts.

The thicknesses of the claddings referring to the several masonries were estimated by the surveys with Georadar, giving rise to different measurements depending on the nature of the materials, corresponding to about 50 cm for those made in *pietra forte*, ranging between 20-30 cm for those in volcanic rock and between 4-5 cm for the rhyolites.

Fig.6
Mineralogical and petrographic analysis of mortars (Mo01, Mo02) and plasters (Pl01), carried out by means of thin sections of standard optical microscopy in transmitted light, and by X-ray diffractometry



Qz | Quartz
Fd | Feldspar (Albite-Orthoclase)
Ca | Calcite
Il | Illite



Despite the damage caused by the many changes made over the centuries, it was possible to identify the significant features of the masonry (fig.5).

In summary, these were classified by five types, where the most common is constituted by rough stone masonry, both in *pietra forte* and *cantone*. In this regard, we identified *cantieri*, that is horizontal levels usually realized every 3-5 rows of stones. This technique can not be verified on the East side, due to the scarce height of the part without plaster. Direct information on horizontal alignments can be noticed in the Western façade of the seminary, marked by rough stone masonry punctuated by arches, also *pietra cantone*. The height of the *cantiere*, approximately 55-60 cm, is regulated by that of two squared ashlar used for the adjacent pilasters. In general, measurements of the stony elements, both squared and just roughed, were taken considering the maximum, minimum and prevailing dimensions. With regard to the vertical and joints and horizontal layers, the most common dimensions has been reported. The types detected are the following.

The masonry MO1 is squared and realised in *pietra forte*; it is both plastered (MO1a) and in natural stone (MO1b).

The MO1a is used for the portal of the University building and for the base of the Eastern façade of the former seminary. The stony elements, characterized this masonry, have a maximum height of 30 cm, a minimum of 20 cm and 27 cm prevalently; a maximum width of 70 cm, a minimum of 27 cm and 50 cm prevalently. The vertical joints are equal to 1.5 cm and horizontal layers to about 1 cm.

The MO1b is located in correspondence of the cantonal placed in the South-East corner of the former Tridentine seminary and in some parts of the basement of the same building on the Eastern front. These stony elements, well-worked, are positioned respecting the offset of the vertical joints. They have a maximum height of 40 cm, a minimum of 15 cm and 25-26 cm prevalently; a maximum width of 90 cm, a minimum of 20 cm and 50 cm prevalently. The vertical joints are equal to 1-1.5 cm and the layers are quite low (0.5-1 cm thick).

The masonry MO2 is built in squared stones of *pietra cantone*. It is located in correspondence of pilasters, arches, architraves and jambs of openings, as well as in the window frames on the side of the seminary on the East façade.

The dimensions of the ashlar change in function of the constructive elements they belong to. In the pilasters, they are arranged in horizontal rows and stacked alternately long ways and short ways, to observe the offset of the vertical joints, with a reduced layer of mortar. They have a maximum height of 34 cm, a minimum of 21 cm and 29-30 cm prevalently; a maximum width of 65 cm, a minimum of 30 cm and 56-58 cm prevalently.

The vertical joints have a thickness of 1-1.5 cm and the horizontal ones equal to 0.5-1 cm. The segments which form the arches have a maximum height of 25 cm, a minimum of 19 cm, 22 cm prevalently; a maximum width of 40 cm, a minimum of 19 cm, and 20-22 cm prevalently. The joints

are equal to 1-1.5 cm. In the openings of the doors and windows are the segments of a maximum height of 45 cm, a minimum of 21 cm and 29-30 cm prevalently; the maximum width is 48 cm, the minimum of 27 cm and the prevalent of 31 cm; the joints are equal to 1 cm.

This masonry is often plastered (MO2a), but in correspondence of the basement there is a cladding of different stone materials: on the East side, in the pilasters, it is in *pietra forte* (MO2b), while the façade on the West shows travertine slabs (MO2c).

The masonry MO3 is a rough stone masonry built with limestone (*pietra forte* and *pietra cantone*), of different shapes and sizes. The stony elements are characterized by: a maximum height of 52 cm, a minimum of 19 cm and 25 cm prevalently; a maximum width of 65 cm, a minimum of 22 cm and 48-49 cm prevalently. The vertical joints are 2 cm while horizontal joints amount to 1-2 cm. To fill the interstitial voids, wedges of brick and of stone have been used.

This masonry technique is mainly plastered (MO3a). On the Eastern façade of the seminary, in correspondence of the base and window frames on the ground floor, it is covered with *pietra forte* (MO3b), while on the same façade of the University building, there is a volcanic rock cladding (MO3c) and rhyolite stones (MO3d). On the West side, the base of the former Tridentine seminary is marked by a travertine cladding (MO3e).

The masonry technique MO4 is a regular brickwork, with a size of 5-6 x 25-26 x 14 cm. It is a type used for the pilasters and window frames of the University building, with vertical joints of 0.5-1 cm and horizontal joints of 1-1.5 cm. The pilasters are made with the above mentioned masonry and are plastered (MO4a), while the basement has a volcanic rock cladding (MO4b).

Finally, the masonry MO5 is an edged masonry. It is located along the Western façade of the former Tridentine seminary, corresponding to the last wing built. It is made through the interposition of a row of regular ashlar in *pietra cantone* with two rows of bricks, size 5-6 x 25-35 x 12-14 cm. The stony elements have a maximum height of 37 cm, 20 cm minimum and 25 cm prevalently; a maximum width of 52 cm, 20 cm minimum and 46 cm prevalently. The vertical joints are 2 cm thick and horizontal layers are of 1-2 cm. This brickwork is plastered (MO5a), except at the bottom, where it is covered with slabs of travertine (MO5b), recently done.

Archaeometric analysis

The archaeometric analysis, described in the protocol of the investigation, concerned the most significant masonry samples (figg.4-5), selected following a critical route. The investigation of the masonry samples allowed to underline the historical moments not compromised by later interventions to the phase of the foundation of the two buildings, and also to highlight the differences between the several phases of construction.

Four chronological phases can be summarised (fig.5):

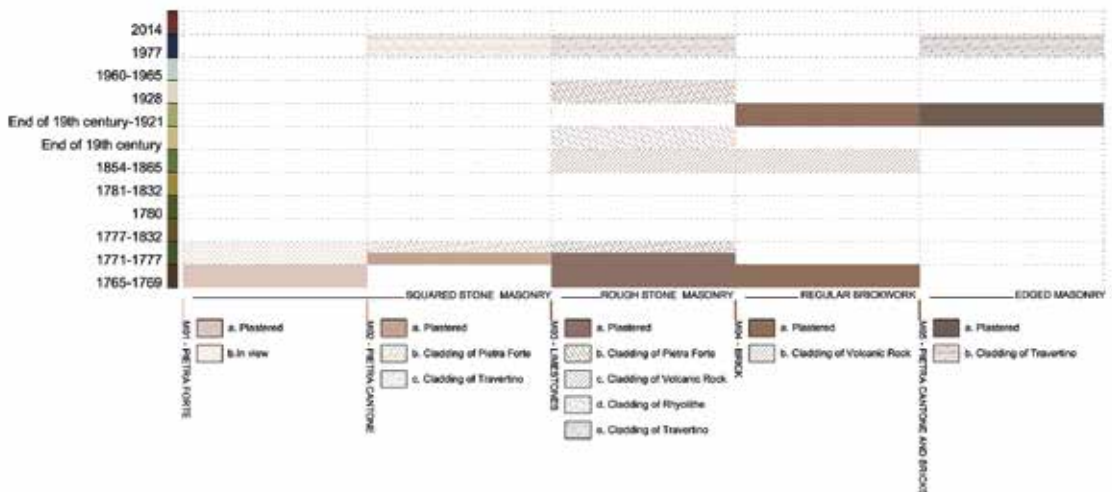
Phase 1 (1765-1769): the sample MS01 regards the construction phase and it

Fig.7
Diagram of synthesis of the relationship between the chronological phases and the different masonry techniques and claddings present in the monument. We can observe that: the squared masonry, both in *pietra forte* (MO1) and in *pietra cantone* (MO2), has been used from 1771 to 1777, the masonry MO2 also refers to the time between 1781 and 1832; the rough masonry (MO3) has been used in the period between 1765 and 1832; the bricks masonry technique (MO4) has been used at first time in the period between 1765 and 1769 and after in the late 19th and the early 20th centuries; the edged masonry (MO5) refers to the late 19th and the early 20th centuries.

is significant as a type of masonry that distinguishes the University building and in detail the pilasters, the basement, window frames and spandrels; Phase 2 (1771-1777): the sample MSO2 corresponds to a section of the masonry of the seminary and summarizes the techniques used for the basement, the pilasters, the masonry, the windows frames; Phase 3 (1781-1832): the sample MSO3 can be associated, for a clear continuity of the style, with the adjacent walls, corresponding to the part dated 1780, and refers to the section of the masonry of the Western façade of the seminary, a system characterized by arches framed by the pilasters; Phase 4 (End of 19th century): the sample MSO4 is dated to the end of the 19th century and illustrates the characteristics of the edged masonry on the Western façade of the South wing of the seminary. The research findings, related to chronological phases (fig.04), allowed the identification of invariants related to the different historical moments 18th-20th century (fig.7). Synthetically, the rough masonry (MO3) was used continuously in the period between 1765 and 1832. The squared masonry MO1 was constantly used from 1771 to 1777. The same can be said for squared masonry MO2 also utilised to build the equipment characterized by the arches system that marks the West front of the seminary, employed from 1771 to 1832. The use of bricks (MO4) is referable both to the period between 1765 and 1769, and the late 19th-early 20th centuries. The edged masonry (MO5) refers to the late 19th and the early 20th centuries.

Conclusions

In conclusion, this research exposes the constructive peculiarities in Cagliari concerning the period between the second half of the 18th and the beginning of the 20th century, linking the different project choices, deriving by the Piedmontese culture. Besides, the methodology used represents a reliable tool for the chronological definition of ancient buildings, as well as for improving their conservation management, especially for the



'minor' architectures, whose cultural meaning is often unrecognized. This identification, as we know, is very important nowadays, due to the enlargement of the 'monument' notion, that includes both instances of historical-architectural significance, and traditional urban fabric.

In the future, the purpose is to make a comparison between the mensio-chronological data of the masonries emerged from this research and those concerning other 18th century buildings philologically dated. We will explore, not only the Cagliari habit, but also other Sardinian areas, characterized by the same lithological and constructive characteristics. With respect to the bricks, we intend to make a comparison with dated architectures present in Sardinia and Piedmont simultaneously.

References

Cabras M. 1966, *Le opere del De Vicenti e dei primi ingegneri militari piemontesi in Sardegna nel periodo 1720-1745*, in *Proceedings of XIII Congresso di Storia dell'Architettura*, Cagliari, April, 6-12, 1963, Vol.1 part 3, Centro studi per la storia dell'architettura, Roma, pp. 291-331.

Cavallari Murat A. 1960, *Giuseppe Viana, architetto sabaudo in Sardegna*, in *Atti e rassegna tecnica della società degli ingegneri e degli architetti in Torino*, 12, pp. 1-23.

Cavallari Murat A. 1961, *Saverio Belgrano di Famolasco, ingegnere sabaudo quale architetto in Sardegna*, in *Atti e rassegna tecnica della società degli ingegneri e degli architetti in Torino*, 2, pp. 29-49.

Cavallari Murat A. 1966, *L'architettura del Settecento in Sardegna*, in *Proceedings of XIII Congresso di Storia dell'Architettura*, Cagliari, April, 6-12, 1963, Vol.1 part 3, Centro studi per la storia dell'architettura, Roma, pp.279-290.

Giannattasio C., Grillo S.M., Pirisino M.S. 2015, *The Rectorate building of the University of Cagliari (18th-20th century): archaeometric analysis of masonries, «Arkos», fifth series (9-10)*, pp. 30-52.

Giannattasio C. 2009, *La conoscenza e la datazione dell'edilizia tradizionale*, in *Manuali del recupero dei centri storici della Sardegna. Atlante delle culture costruttive della Sardegna, Approfondimenti vol. 0.2.*, Ed. G.G. Ortu, A. Sanna, Dei, Roma, pp. 57-100.

Giannattasio C. 2008, *Lo stato dell'arte sullo studio delle tecniche costruttive in Sardegna*, in *Lo studio delle tecniche costruttive storiche: stato dell'arte e prospettive di ricerca*, Ed. V. Pracchi, Nodolibri, Como, pp. 53-57.

Grillo S.M. 2009a, *Le pietre usate nel costruito storico*, in C. Giannattasio, P. Scarpellini: in C. Giannattasio, P. Scarpellini, *Proposte per Stampace. Idee per un piano di conservazione del quartiere storico cagliaritano*, Ed. Gangemi Editore, Roma, pp. 79-84.

Grillo S.M. 2009b, *Manuali del Recupero dei centri storici della Sardegna. Note geologiche, petrografiche e storiche*, in *Il manuale tematico della pietra*. Ed. U. Sanna, C. Atzeni, DEI, Roma, pp.1-22.

Kirova T. (ed) 1985, *Cagliari. Quartieri storici, Castello*, Silvana Editore.

Naitza S. 1992, *Dai modelli rococò dei progettisti sabaudi alle "licenze" delle maestranze locali*, in Id., *Architettura*

dal tardo '600 al classicismo purista, Ilisso, Nuoro, pp.79-175.

Pescarmona D. 1984, *Nuovi contributi alla conoscenza dell'attività degli ingegneri militari piemontesi in Sardegna nel secolo 18°*, in *Bollettino d'arte del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali*, 28, pp. 71-90.

Schirru M. 2005, *Proporzioni e significati semantici nella composizione architettonica barocca piemontese del settecento in Sardegna*, in *Quaderni d'architettura*, University of Cagliari, Department of Architecture, pp.131-161.

Schirru M. 2010, *L'Università degli Studi di Cagliari e il complesso architettonico del Balice*, «Annali di storia delle università italiane», CLUEB, pp. 371- 405.

Schirru M. 2011, *Carlo Giuseppe Maino da Ronco, direttore di fabbriche nella Sardegna del Settecento*, «Artisti dei laghi Rivista scientifica internazionale dell'Associazione per la Protezione del Patrimonio Artistico e Storico della Valle Intelvi», I-2011, pp. 688-735.

Michele Coppola

Dipartimento di Architettura (DIDA)
Università degli Studi di Firenze

pagina a fronte

Fig.15

Tratto ovest della cinta muraria. La caduta di blocchi del paramento nelle parti inferiori espone il nucleo in ciottoli e conglomerato, la cui erosione rischia di creare i presupposti per collassi molto consistenti

¹ L'abitato è citato in un documento del 911 d. C. del *Codex Diplomaticus Cavensis* (Morcaldi, 1873, p. 162).

² “[...] *Ea tempestate supradictus Boiano catapanus cum jam dudum Trojam in capite Apulie construxisset, Draconariam quoque et Florentinum ac Civitatem et reliqua municipia, quae vulgo Capitinata dicuntur, edificavit; et ex circumpositis terris habitalores convocans deinceps habitari constituit. Sane sciendum quoniam corrupta vulgaritate Capitinata vocatur, cum pro certo ab officio catapani qui eam fecit Capitanata debeat appellari. [...]*” *Chronica Monasterii Casinensis* (Wattenbach, 1846, II, 51, p. 643).

³ In quest’occasione Fiorentino fu elevata a sede vescovile insieme a Dragonara. (Martin, 1991, pp. 156-163).

⁴ Documenti dell’archivio di S. Sofia di Benevento parlano di un *vicecomes*, lasciando intendere indirettamente la presenza di un conte normanno in città a quella data (Martin, 1991, p. 181).

⁵ Agli inizi del XII secolo rientrava nei numerosi feudi in possesso dei conti di Loritello (Cuozzo, 2002, p. 56).

Abstract

The archaeological site of Fiorentino is located on a hill on the edge of the Tavoliere plain. Inhabited since ancient times, reactivated in the 11th century by the Byzantine government, the settlement reached its greatest expansion in the Norman and Swabian age. It was the site of one of the *Domus Solaciorum* of Frederick II of Swabia who died there in 1250. The Italian-French archaeological campaigns (1982-1994) uncovered dwellings, cisterns, churches, the cathedral, the main castle fortified area, moats, walls. The investigations were accompanied by widespread conservation interventions, often incomplete and inadequate though. Today the site is abandoned and the rare valorization activities undertaken fail to strengthen the contact with the local people. A research carried out by the University of Florence (DIDA) monitored for years the conservation conditions of many structures. The most critical aspects concern the poor quality walls, especially if unprotected, that are in continuous degeneration. The architectural structures on the hillside are increasingly at risk of instability. Constant care and maintenance would be needed, that can fit into broader programs of enhancement of the complex. Punctual and occasional interventions in the long run are ineffective and wasteful.

L'eredità di una collina. Insediamenti, declino, scoperte.

Il sito di Fiorentino occupa l'estremità occidentale di un'altura (205 m s.l.m.) ai margini del Tavoliere, nel territorio di Torremaggiore (FG) (fig.1). A partire dal X secolo¹ è documentata l'esistenza di un abitato che consolidò il suo ruolo strategico un secolo più tardi, rientrando nel programma di fortificazione dei confini settentrionali pugliesi del Catapano Basilio Bojoannes insieme ad altri centri come Civitate, Dragonara, Troia, Montecorvino, Tertiveri, Melfi.² L'impianto urbano della città fu caratterizzato da elementi tipici delle fondazioni bizantine: la cinta muraria, l'asse viario centrale, la cattedrale, il palazzo per i funzionari imperiali.³ Con l'arrivo dei normanni Fiorentino, sede di un conte nel 1076⁴, fu spesso al centro di scontri e sottomessa dai conti di Civitate e Monte S. Angelo per poi finire nei possedimenti dei conti di Loritello⁵. Il suo sviluppo culminò tra XII e XIII secolo, specialmente quando divenne sede





Fig.1
Vedute della collina di Fiorentino. La torre orientale a distanza. Avvicinandosi ai piedi dell'altura sono ben visibili tratti della cinta muraria in quota

⁶ L'episodio è indicato nei cosiddetti Diurnali di Matteo Spinelli, la cui attendibilità è oggi notoriamente messa in discussione. Se ne riporta il passo: "Alli 26 (di ottobre 1255) allo chiano de Canosa vennero li forasciti ad unire tutte le gente de arme de lo Papa, et se partero per la via di Capitanata et disfecero Fiorentino, Dragonara, et uccisero tutti i Saracini, che se nce trovaro; et dettero dui assauti a Nocera, et no la potero pigliare, et se ne uscirono da Apruzzo". Matteo Spinelli, *Diurnali* (Del Re, G., 1868, p. 638).

⁷ Negli elenchi di tassazione del XIV secolo Fiorentino compare solo per un numero esiguo di famiglie. (Vendola, 1939, p. 145)

⁸ "[...] Ritornando da Luceria e da quella scendendo e caminando otto miglia per la Campagna verso la Borea ritrovasi Ferunzola Castello, dal Razzano Farentinum detto, e da Biondo nel settimo libro dell'histoire, Ferensuola. Non vi si ritrova quivi segno d'antichità, onde da tutti i scrittori è tenuto esser nuovo Castello. Et è mal habitato anzi è mezo rovinato. Quivi morì, o vero fu morto, Federico gran persecutore della Chiesa Romana [...]" (Alberti, 1551, p. 208).

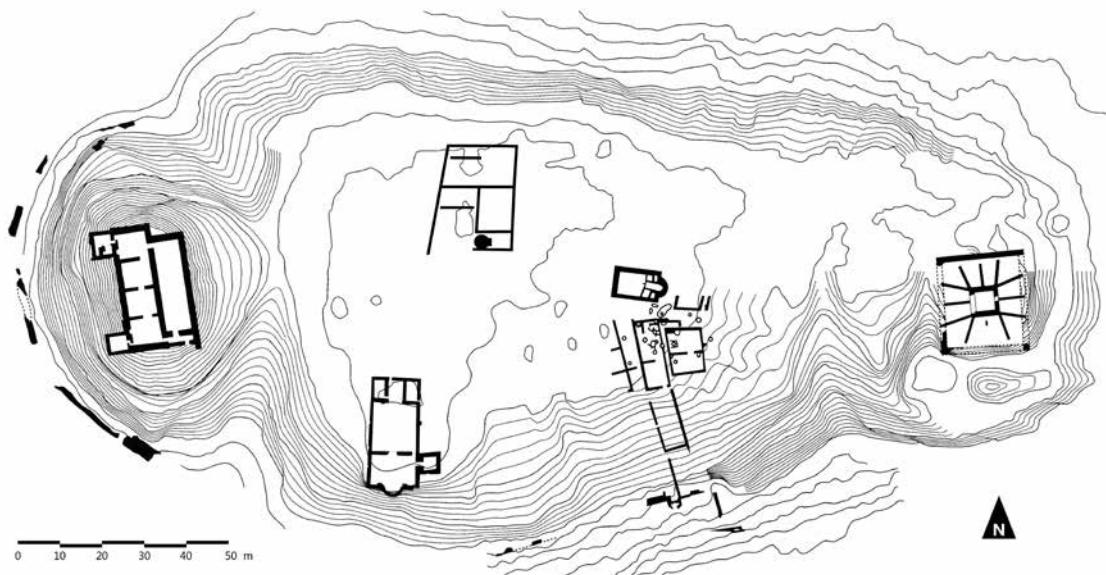
⁹ Nel 1844 Alphonse Huillard-Bréholles pubblica un disegno di V. Baltard di una veduta di Fiorentino con la cattedrale conservata in tutta la sua altezza, priva delle coperture (Huillard-Bréholles, 1844, tav. XXI).

¹⁰ Vi ha lavorato un'equipe italo-francese, coordinata dall'Università di Bari e dall'École Française di Roma.

di una delle *Domus Solaciorum* di Federico II di Svevia che qui morì nel 1250. Sembra che la città sia stata distrutta nel 1255 insieme a Dragonara da truppe di papa Alessandro IV, durante i contrasti con Manfredi e che i suoi profughi abbiano trovato rifugio presso l'abate di Torremaggiore⁶. Riorganizzata sotto il controllo angioino, nel XIV secolo cominciò il suo lento declino⁷ e già alla fine del '400 Leandro Alberti definiva il sito "mal habitato anzi è mezo rovinato"⁸. La suddivisione della sua diocesi tra quella di Lucera e quella nascente di San Severo ne segnò in qualche modo, nel XVI secolo, il definitivo abbandono. Testimonianze di viaggiatori attestano la presenza di ruderi di una certa consistenza tra XVIII e XIX secolo⁹, che sono stati lentamente oblitterati lasciando l'altura disabitata e a pascolo. La sommità della collina è stata interessata da una serie di campagne archeologiche italo-francesi (1982-1994)¹⁰ che hanno messo in luce abitazioni, fosse granaie, cisterne, chiese, la cattedrale, la zona castrale ovest con la *Domus* federiciana, fossati, mura. Le indagini sono state affiancate da interventi conservativi diffusi, per lo più di protezione delle creste e di stilatura dei giunti. Altri saggi di scavo sono stati effettuati nel 2006 dalla Soprintendenza ai Beni Archeologici della Puglia, con una serie di approfondimenti sulla torre orientale, sulla cattedrale e su un edificio dell'area urbana e con nuovi interventi conservativi (fig.2). Nel 2007 è stato istituito il Parco Archeologico di Fiorentino.

Un caso da manuale: ricerca ed abbandono

Fiorentino rappresenta un caso emblematico di conservazione dei siti archeologici in Italia. Offre un vasto repertorio di processi degenerativi connessi alla natura dei manufatti, alla zona climatica e alle dinamiche di abbandono post-scavo. È indubbio che le indagini abbiano rinforzato il ruolo della città medievale di Fiorentino nell'identità storica locale e aggiunto nuovi importanti tasselli alle conoscenze sulla Capitanata medievale. È altrettanto evidente che le vicende di queste indagini rientrano in una prassi ancora piuttosto diffusa in Italia in cui l'indagine archeologica, scarsamente affiancata da approcci conservativi adeguati, non sia quasi mai seguita da sostanziali azioni di protezione calibrate e controllate nel tempo. Le conseguenze non sono altro che i sintomi più comuni dell'abbandono. L'improvvisa esposizione di resti architettonici vulnerabili a nuove condizioni ambientali ha segnato l'avvio



di una nuova fase di distruzione di cui è possibile constatare le evoluzioni ad ogni sopralluogo.

Condizioni di conservazione attuali. Lo studio dei fenomeni degenerativi

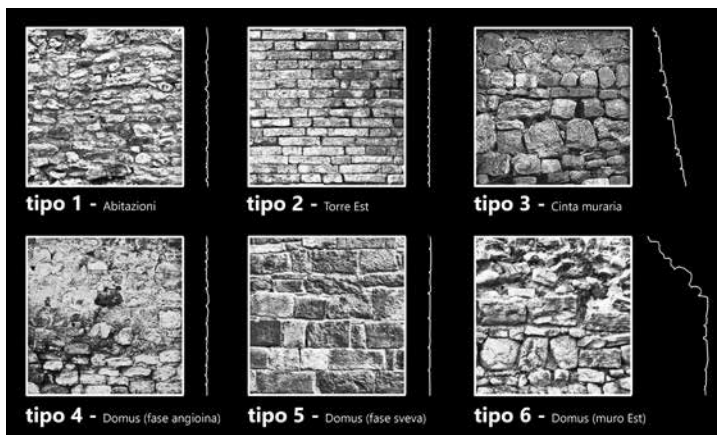
Una ricerca avviata da alcuni anni, oggi confluita nelle attività del LARC (Laboratorio Architettura Restauro e Conservazione), attraverso un lavoro di indagine ed analisi punta a delineare le problematiche conservative principali del sito. Il primo passo è l'individuazione sistematica dei fenomeni degenerativi, il loro grado di intensità e la loro distribuzione in funzione delle classi di manufatti. A questo si affianca una valutazione nel tempo dei processi di deperimento delle architetture. L'obiettivo essenziale è l'individuazione dei principali fattori di rischio dell'area archeologica in modo da costituire uno strumento utile a una più efficace programmazione di azioni conservative mirate. Tra gli strumenti e i metodi impiegati ci siamo avvalsi del rilievo strumentale e digitale, del monitoraggio dinamico¹¹ e di misurazioni, necessari alla valutazione dei fenomeni. In alcuni casi sono stati presi in esame manufatti o parti di essi, in altri casi l'attenzione si è rivolta a fenomeni specifici e alla loro diffusione. I manufatti architettonici oggetto della ricerca sono quasi esclusivamente strutture murarie e piani pavimentali.¹² I materiali più diffusi sono la pietra calcarea (blocchi regolari, conci, pietrame, ciottoli) proveniente da formazioni superficiali locali e i laterizi. La tecnica muraria prevalente è quella a due paramenti e riempimento interno. Le problematiche conservative sono riconducibili a pochi insiemi. In primo luogo si assiste al **disfacimento del tessuto murario**, di paramenti, di creste non protette, di strutture dalla geometria irregolare. Le cause dell'allentamento delle malte e della perdita degli elementi sono di natura climatica, accentuate dall'attacco della vegetazione. L'esposizione agli agenti atmosferici è un nodo cruciale; la collina di

Fig.2
Pianta generale della collina e dei resti visibili fuori terra. (elaborazione da Calò Mariani 1998). A Ovest la zona castrale con la Domus federiciana, a est la torre orientale di ingresso, al centro i resti dell'abitato e la cattedrale con asse Nord-Sud, affacciata sulla strada principale dell'insediamento

¹¹ Dal 1998 abbiamo avviato alcune forme di controllo dei fenomeni attraverso una serie di sopralluoghi regolari, repertori fotografici, misurazioni, mappature e rilievi dinamici. I risultati offrono un quadro piuttosto nitido delle emergenze conservative.

¹² Fiorentino è caratterizzata da un gran numero di strutture di servizio interraste (fosse, cisterne, silos, scavati nella roccia e parzialmente edificati) che fanno parte integrante del suo patrimonio architettonico. Tutte le strutture in questione sono state reinterrate dopo gli scavi e dunque, al momento, sono state escluse dalla ricerca.

Fig.3
Abaco dei
principali tipi
di apparecchi
murari
attualmente
visibili sui resti
architettonici



Fiorentino è quasi incessantemente esposta al vento da Ovest o da Nord, moderato, forte o a raffiche. L'azione meccanica del vento determina forte abrasione ed asporto di tutti i materiali incoerenti, in particolar modo malte degradate che tendono ad esporre gradualmente elementi della muratura sottostanti. A questo si aggiunge l'impatto delle forti escursioni termo-igrometriche stagionali e dei cicli secco-umido. Sebbene i nuclei murari costituiscono substrati ospitali, non si segnalano evidenze di piante superiori arbustive con apparati radicali a diretto contatto con le strutture, ma solo casi isolati di piante con fittone penetrato nel muro. L'attacco della vegetazione si limita a specie erbacee, perlopiù annuali. Questa scarsa diffusione della vegetazione sui manufatti potrebbe essere dovuta al vento e alla scarsità di acqua sull'altura che nel periodo estivo crea una profonda disidratazione dei suoli e dei depositi incoerenti. Meno diffuso è il **dissesto delle strutture murarie**, che si registra in due tipologie prevalenti: spinta laterale del terreno, scivolamento delle strutture lungo i versanti. Per sistematizzare i dati provenienti dai sopralluoghi, nel corso dell'indagine si è deciso di procedere a una distinzione tra **manufatti non protetti** che non hanno subito alcuna forma di intervento e **manufatti con interventi di restauro**, a cui è stato riservato un trattamento conservativo.

Manufatti non protetti. Evoluzione dei fenomeni

In questa categoria rientrano (monitorate e campionate) tutte le strutture lasciate all'azione degli agenti atmosferici nelle stesse condizioni del rinvenimento. Oltre alla distinzione della natura dei fenomeni, fulcro dell'indagine è la valutazione delle velocità con cui evolvono. Le conseguenze più drammatiche riguardano le strutture murarie prive di protezione delle creste di cui la zona castrale Ovest offre esempi significativi. Fortificata durante l'occupazione normanna¹³ assunse la forma attuale in epoca sveva senza subire modifiche sostanziali dopo le distruzioni del XIII secolo e le ricostruzioni angioine. La qualità muraria delle diverse fasi ha chiaramente influito sullo stato di conservazione, aggravando talvolta le patologie (fig.3).

La struttura di migliore tenuta è il muro Est, preesistente agli interventi federiciani. Piccoli blocchi regolarizzati in calcare compatto sono disposti in

¹³ Oltre alla costruzione di un castello, la fortificazione dell'area fu rinforzata accentuando la configurazione dello sperone come una motta, che fu separata dall'abitato tramite un fossato.

filari orizzontali su letti di malta di circa 1 cm circa di spessore, con un uso piuttosto ridotto di zeppe e scaglie lapidee, a formare i paramenti esterni di una notevole massa muraria (spessore di circa 2 m). Il nucleo è costituito da blocchi irregolari di calcare a frattura concoide e ciottoli (20-25 cm), spesso non gettati ma organizzati in livelli anche con porzioni di orizzontamento in *opus spicatum*. Alla elevata resistenza della roccia carbonatica di blocchi e ciottoli, si aggiunge quella della malta a legante carbonatico, aggregato siliceo-carbonatico, bianca, dura e tenace. La solidità dell'insieme è confermata dai resti di nucleo murario che, quasi del tutto privo del paramento esterno, si conserva in alcuni tratti per un'altezza superiore ai 3 m.

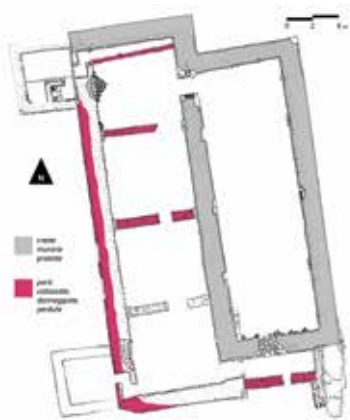
I muri di epoca sveva si distinguono per l'accuratezza di esecuzione dei paramenti. La scelta della pietra calcarea da affioramenti superficiali locali è evidente nell'altezza dei filari, diretta espressione degli spessori delle stratificazioni. La varietà di questi calcari si osserva nelle alterazioni cromatiche da ossidazione di minerali ferrosi, con ampie oscillazioni dal giallo al rosso più o meno intensi. I blocchi sono sagomati con una finitura della superficie esposta spesso eseguita a spina di pesce. Questo livello di definizione geometrica annulla l'uso di zeppe e riduce lo spessore dei letti di posa, eseguiti con malta di buona fattura, a legante carbonatico, tenace e compatta. A partire da questa fase compare l'impiego di laterizi per elementi specifici (rivestimento dei camini, stipiti). Meno accurata sembra la realizzazione del riempimento, costituito da un conglomerato di scarti, pietrame, ciottoli, scaglie e frammenti laterizi per lo più gettati in una malta carbonatica di scarsa qualità, mista a terra.

Gli interventi di prima età angioina sono quelli di minore qualità. I paramenti sono eseguiti con elementi sbazzati e ciottoli spaccati, disposti in filari ad andamento variabile, tendenzialmente orizzontale, discontinuo. La posa in opera è supportata da un abbondante uso di scaglie e zeppe di regolarizzazione e di consistenti letti di malta. Quest'ultima, facilmente tendente al degrado, ha colore chiaro nocciola, legante carbonatico e aggrega-

Fig.4

Muro divisorio in prossimità dell'ingresso della *Domus*, relativo a una fase di rielaborazione di epoca angioina. La sequenza mostra il rapido processo di disfacimento in assenza di accorgimenti conservativi. Attualmente la struttura è quasi del tutto scomparsa





¹⁴ Si conoscono i caratteri planimetrici del piano terra soltanto delle abitazioni affacciate sulla strada principale. Generalmente sono costituite da un ambiente sul fronte stradale e di un altro aperto su un orto retrostante, esteso fino alla cinta muraria. Sulla destra del percorso principale è stata portata alla luce una piccola chiesa ad aula monoabsidata, con asse Est-Ovest.

¹⁵ Le mura della città circondano il pianoro sommitale della collina su un livello altimetrico costante. In molti dei resti sono ben visibili impronte di elementi lignei orizzontali di rinforzo affogati nel conglomerato, che richiamano il sistema costruttivo romano dell'*opus gallicum*, molto impiegato e diffuso dai normanni. Queste barre dovevano costituire uno scheletro elastico che conferiva solidità dell'insieme nel suo sviluppo orizzontale. In questo modo si contrastavano proprio eventuali fratture della cinta muraria che poteva essere soggetta a scivolamenti o movimenti di assetamento lungo il pendio.

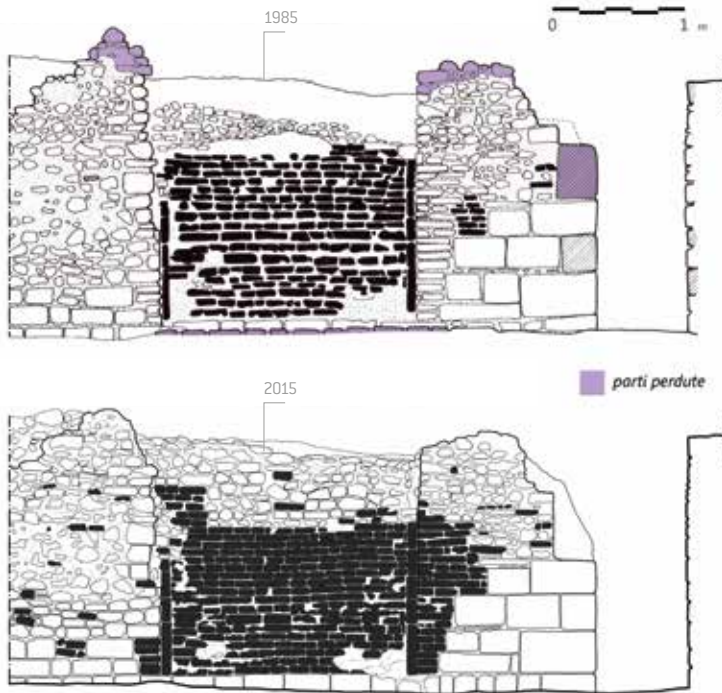
to sabbioso-calcareo, ma si presenta di porosità elevata e di scarsa tenacità. Emerge come queste realizzazioni fossero il risultato dell'urgenza della riparazione delle strutture sveve con interventi eseguiti rapidamente.

A questa diversificata vulnerabilità dovuta alla qualità muraria si è sovrapposta la non sistematica protezione delle creste, che ha accelerato processi di disfacimento del tessuto murario (figg. 4, 5, 6). Questo è particolarmente evidente nel muro ovest della *Domus* in cui la mancanza di protezione ha penalizzato il paramento esterno (di peggiore fattura) crollato integralmente, rispetto a quello interno (di epoca sveva in blocchi regolari) che si è conservato (fig.7).

Un caso significativo è rappresentato dalla cattedrale, affacciata sulla strada principale dell'abitato, a tre navate, con asse Nord-Sud. La consistenza e l'interesse dei resti non hanno avuto un corrispondente trattamento conservativo. La buona fattura delle malte è senza dubbio la principale responsabile delle discrete condizioni di buona parte delle strutture murarie, tutte prive di protezione. Si conservano ampie porzioni di pavimento in mattoni a spina di pesce disposti di piatto. A questi vanno aggiunte le recenti scoperte nella zona absidale su un livello interrato, di cui un corridoio centrale coperto da una volta a botte in tegole, presumibilmente di recupero. Le condizioni attuali di questi manufatti sono critiche. La protezione delle pavimentazioni in mattoni con teli in plastica e strato di argilla espansa, predisposta a fine anni '90, senza alcuna manutenzione e controllo, non è più in grado di svolgere la sua peraltro blanda funzione. Le superfici sono in buona parte esposte da anni e molti sono i laterizi distaccati e instabili, mentre gli strati inferiori sono esposti a erosione, con fenomeni di avanzata disgregazione. (figg.8, 9). Le condizioni peggiori sono quelle del passaggio voltato. Senza alcuna forma di protezione, i resti delle imposte della volta sono soggetti a infiltrazioni continue che compromettono il debole legante delle malte.

L'assenza di protezione riguarda molte superfici verticali, di manufatti e di fronti di scavo. Le dinamiche principali sono connesse alla percolazione delle acque meteoriche. Le superfici più colpite sono quelle con caratteristiche non omogenee (geometria, materiali, ecc) in cui si determina una risposta differenziata agli agenti esterni. Caso emblematico sono le lacune nel paramento murario, in cui l'accelerazione progressiva della perdita di elementi lapidei è seguita dall'erosione del nucleo. (fig.10) Sono numerose le strutture murarie scavate al di sotto del piano di calpestio originario. Queste operazioni se non affiancate da accorgimenti conservativi lasciano esposti forti sottosquadri all'azione dell'acqua. A Fiorentino molte delle fondazioni e dei nuclei di riempimento dei muri sono costruiti con ciottoli. La loro coesione è compromessa dall'esposizione agli agenti atmosferici e la perdita di malte e di elementi è continua (fig.11). Il fenomeno è molto più critico se le superfici verticali sono costituite da terreno incoerente (fronti di scavo, trincee, terreni di fondazione).

I fenomeni di dissesto colpiscono due tipologie di strutture molto diverse tra loro per massa: muri delle abitazioni¹⁴ e mura di cinta. Nel primo caso le sollecitazioni meccaniche sono spinte orizzontali del terreno sui muri perimetrali



pagina a fronte

Fig.5
Mappa degli interventi di protezione delle creste murarie della *Domus* eseguiti dopo gli scavi del 1988-89. La localizzazione delle murature in disfacimento conferma l'efficacia di un accorgimento protettivo molto semplice e diffuso come le copertine a bauletto, in corrispondenza delle quali non si registrano fenomeni in rapida evoluzione. (elaborazione da Calò Mariani, 1987, tav. II)

Fig.6
Camino Nord della *Domus* sveva. Confronto tra il prospetto di scavo del 1985 (elaborazione da Calò Mariani, 1987, tav. V) e il rilievo effettuato nell'ambito di questa ricerca. È evidente la perdita di parti, dovuta a una non accurata protezione dalle infiltrazioni di acque meteoriche

Fig.7
Rilievo fotogrammetrico del paramento esterno del muro Ovest. Sono evidenziate le parti ricostruite dopo i crolli del 2006, scarsamente connotate nel contesto degli apparecchi murari svevi (blocchi regolari) e angioini (elementi sbazzati e ciottolame)

di edifici scavati solo all'interno. Queste hanno portato a forti deformazioni e in alcuni casi al collasso delle strutture (fig.12). Diverso è il caso dei tratti di cinta muraria (fig.13), instabili a causa della loro posizione sul pendio della collina.¹⁵ La massa di queste strutture non determina deformazioni, quanto piuttosto fenomeni di scivolamento o ribaltamento (fig.14). Questi eventi sono attivati dal dilavamento del terreno e dalla perdita di materiale delle parti inferiori (fig.15). I crolli istantanei e i danni dovuti al dissesto, oltre a rappresentare un serio problema di perdita, espongono le architetture al rischio di interventi di ricostruzione non sempre di successo. A Fiorentino, dopo una serie di crolli, sono state eseguite ricostruzioni di parti della *Domus* e delle abitazioni. Queste aggiunte, da una parte sollevano perplessità sulla scelta di leganti cementizi, dall'altra creano un problema di linguaggio. Le stratigrafie murarie (con i segni evidenti di demolizioni e rifacimenti connessi alle vicende storiche del sito) sono un aspetto molto significativo del patrimonio architettonico di Fiorentino. La ricostruzione ha utilizzato materiale di recupero (blocchi



Fig.8

Rilievo 3D per campioni dell'area della cattedrale. Il campione C2 documenta le condizioni della pavimentazione in mattoni cotti. Dal 2006 il lato sinistro è adiacente al corridoio voltato centrale tramite un dislivello di circa 120 cm, privo di protezioni e stabilizzazione. Segni di cedimento sono evidenti nello smottamento di materiale incoerente, senza dubbio destinato a un rapido incremento

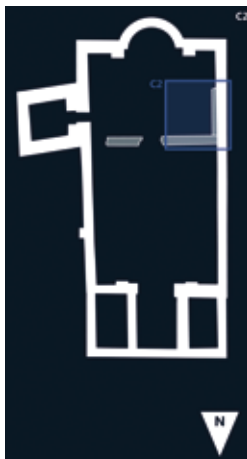


Fig.9

Resti del corridoio sotterraneo voltato della cattedrale. A 10 anni dallo scavo la struttura è in condizioni drammatiche per via della completa assenza di accorgimenti conservativi adeguati. Il risultato è un rapido disfacimento del tessuto murario con perdita continua di elementi



pagina a fronte

Fig.10

Lacuna nel paramento di un muro della Domus. Il mancato trattamento del danno, successivo alla protezione con copertina di malta superiore, ha accelerato fenomeni erosivi e di distacco di elementi in un intervallo di tempo piuttosto ristretto



Fig.11

Fondazioni in ciottoli delle strutture sveve della Domus. Lo scavo al di sotto del calpestio ha innescato, con la creazione di un sottosquadro, pericolosi e rapidi fenomeni di erosione

Fig.12

Muro di una delle abitazioni. La deformazione mediana dovuta alla spinta del terreno circostante ha portato, dopo anni al crollo del muro. La ricostruzione del 2008 ha modificato i connotati della struttura, non tanto per la ricucitura mimetica del tessuto murario, quanto per l'aggiunta di una risega inferiore



regolari di epoca sveva) per l'evidente facilità di assemblaggio. Si è pertanto verificata un'alterazione mimetica delle stratigrafie che intralcia la lettura e la documentazione futura delle sequenze costruttive. (figg. 7, 12)

Manufatti con interventi di restauro. Efficacia dei sistemi di protezione

Sembra evidente che alcune operazioni conservative (protezioni delle creste e stilature dei giunti) siano state eseguite durante gli scavi. Questi accorgimenti appaiono bruscamente interrotti pur in concomitanza con l'avanzamento delle indagini archeologiche. Si tratta di un meccanismo piuttosto consueto nei cantieri di scavo italiani che, per mancanza di fondi, per sopraggiunti imprevisti con modifiche dei piani di spesa, tende inevitabilmente a gerarchizzare le azioni di conservazione. Si creano così processi selettivi in cui da una parte prevale il fattore cronologico (si interviene indistintamente su ciò che progressivamente emerge dallo scavo), dall'altra può prevalere un fattore di identificazione delle urgenze (stato di conservazione critico, valore documentario, ecc), tendenzialmente relativo. Alcuni interventi, dopo circa 20 anni, sono ancora efficaci; altri sono in grado di affrontare solo periodi limitati. Tra i sistemi di protezione più efficaci impiegati a Fiorentino ci sono le consuete copertine a bauletto. La loro validità è confermata, anche dopo anni, dalle buone condizioni delle murature su cui sono state correttamente eseguite. Tuttavia la mancanza di alcuni accorgimenti (pulitura del supporto, verifica dell'ade-

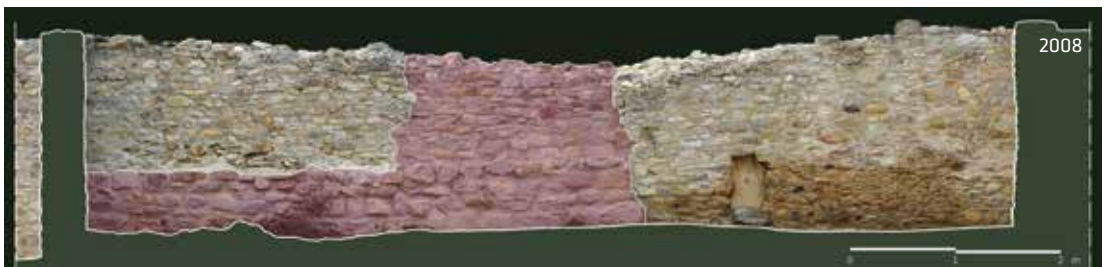




Fig.13
 Tratto ovest della
 cinta muraria.
 La posizione sul
 pendio evidenzia
 il rischio di
 instabilità
 accentuato
 dal continuo
 dilavamento del
 terreno

renza, eliminazione di qualunque fessura di passaggio all'acqua) e la mancanza di controlli ciclici, innescano processi degenerativi in modo quasi sistematico. Il caso più comune è il distacco di elementi del paramento al di sotto della copertina integra. (fig.16)

Anche la stilatura dei giunti, un altro classico sistema di protezione delle murature, è stata ampiamente utilizzata a Fiorentino. Le superfici trattate con maggior cura hanno ancora un'ottima tenuta e non mostrano il minimo segno di deperimento. In particolare questo è osservabile per gli apparecchi murari più regolari, dai giunti sottili. (fig.17) All'aumentare dell'irregolarità dei conci e di conseguenza dello spessore dei giunti, le stilature sono tenute a migliori prestazioni di aderenza e tenacità. In diversi casi questo può indurre all'indebolimento in punti critici. Più in generale a Fiorentino il problema di questo tipo di accorgimento protettivo è connesso con l'interruzione dei trattamenti. Molti di questi interventi, avviati in corso di scavo, non sono stati portati avanti in campagne successive. È molto comune osservare superfici murarie in cui la sigillatura dei giunti si interrompe nelle parti inferiori al di sotto di un certo livello, corrispondente all'attacco a terra in un determinato momento dello scavo. Questa apparentemente innocua mancanza influisce in modo marcato sulla percolazione delle acque, rendendola estremamente differenziata. Le superfici trattate (e dunque impermeabili) convogliano l'acqua di ruscellamento sulle parti di muratura inferiori, non trattate, che sono dunque soggette a un'erosione molto più accentuata (figg. 11, 15, 18). Lo stesso tipo di risposta differenziata, in termini di permeabilità all'acqua, si osserva in tutti i casi di interventi parziali, non conclusi. Le superfici protette si rivelano dannose per quelle adiacenti prive di trattamento. Un esempio sono i mu-



Fig.14
Scivolamento di un tratto di mura ovest attivato dal sisma di S. Giuliano di Puglia del 2002



Fig.16
Creste murarie di un edificio dell'abitato. L'esposizione agli agenti atmosferici aggredisce la fattura mediocre delle strutture anche in presenza di blandi sistemi protettivi come una non omogenea chiusura degli spazi tra elementi lapidei (in basso). Le stesse copertine di malta, se non correttamente eseguite o se prive di verifiche cicliche, non sempre sono in grado di impedire lo smembramento del tessuto murario sottostante (in alto)

ri privi di fondazioni per i quali, allo scavo sotto calpestio non ha fatto seguito una protezione del terreno di appoggio. È appena il caso di fare cenno alle recenti (2006-2008) ingenue spalmate di malta su depositi incoerenti e battuti, nel tentativo di arginare dilavamento ed erosione. L'inutilità di questi interventi è percepibile a pochissimi anni di distanza. L'incompatibilità (igrometrica, meccanica) tra il guscio di malta e il sedime sottostante, porta in tempi rapidi a fessurazioni e disgregazione dello strato "protettivo" con flussi di acqua forzati ed erosioni concentrate (fig.19).



¹⁶ Verosimilmente mai sepolta dai crolli, è l'edificio simbolo dell'intero sito, a cui si deve il toponimo indicato sulle cartografie I.G.M. di "Torre Fiorentina".

¹⁷ Una soluzione analoga si trova nella torre di Civitate (San Paolo di Civitate, FG), anch'essa riconducibile al periodo normanno-svevo. È l'unico edificio fuori terra attualmente visibile sul sito della città medievale costruita dal Bojoannes sul sito di *Teanum Apulum*.

Ultima tipologia di intervento è costituita dall'integrazione dei volumi. A Fiorentino è stata utilizzata con funzioni di risarcimento di lacune, di regolarizzazione di profili e consolidamento di parti instabili. Le lacune murarie sono state integrate talvolta con brevi tessiture murarie a vista, ma prevalentemente con gettate di materiale, successivamente intonacato (fig.20). Un consistente uso di integrazioni si osserva nella torre orientale di ingresso alla città, a pianta quadrata (circa 6,5 m di lato), probabile rielaborazione sveva di una precedente fortificazione¹⁶ (fig.21). La struttura è in muratura a due paramenti di mattoni e riempimento in conglomerato. Se ne conserva un solo piano fuori terra, coperto con volta a crociera in blocchi sagomati di tufo calcareo su mensole angolari in calcare. Il corpo della torre poggia su un basamento in pietrame tramite un piano in lastre calcaree.¹⁷ Gli scavi hanno restituito una piattaforma tronco-piramidale a scarpa (20 x 22,5 m), addossata alla torre tramite muri radiali e un fossato che la separava dall'abitato e dal sobborgo esterno alle mura. Le condizioni di conservazione dell'edificio, fino all'inizio degli scavi (1982), erano piuttosto critiche. La volta a crociera era parzialmente crollata, le strutture murarie avevano numerose lacune che rischiavano di innescare crolli definitivi. Con l'intervento effettuato in occasione delle campagne archeologiche, sono state ricostruite in mattoni le parti mancanti della volta con una sorta di cuci-e-scuci, mentre le strutture murarie verticali sono state integrate e regolarizzate con un conglomerato in ciottoli. Questo linguaggio, apprezzabile in termini di riconoscibilità dalla tessitura muraria originale in laterizi, aveva il compito di conferire unità e leggibilità al volume della torre (fig.22). La parete rivolta verso l'abitato non è stata tuttavia integrata, ma si è pensato comunque di inserire una catena all'imposta della volta su quel lato. A



distanza di anni tuttavia, i cedimenti di alcune di queste integrazioni in ciottoli rivelano scarsa resistenza, tenuta e aderenza (fig.23).

Conclusioni

Le vicende del sito archeologico di Fiorentino negli ultimi 30 anni hanno portato alla conoscenza di un patrimonio che prima degli scavi era limitata alle fonti storiche. Il forte valore storico e culturale tuttavia ha costituito un legame con la società locale ancora piuttosto debole. La conservazione dei resti e la loro valorizzazione sono un processo alla base di una più nitida identificazione, che tuttavia non ha la costante attenzione necessaria. La forte esposizione unita alla vulnerabilità di molte strutture determina una rapida evoluzione dei fenomeni che ha già indotto perdite consistenti e drammatici rimedi di ricostruzione. I fattori di rischio maggiori si riscontrano per le strutture lungo il pendio, caratterizzate da preoccupante instabilità. A parità di condizioni ambientali, le parti più a rischio sono tutte le strutture non protette di scarsa qualità muraria (murature vernacolari private, apparecchi in pietrame sbozzato con malte deboli), i lacerti di pavimentazioni lasciati al loro destino e, naturalmente, tutti i materiali incoerenti (naturali a sostegno di strutture murarie o risparmiati da saggi di scavo, artificiali come battuti e preparazioni) che subiscono quotidiane perdite.

Sarebbe auspicabile un'azione organica diffusa, che includa interventi sui manufatti e azioni parallele di sensibilizzazione. Oltre agli interventi conservativi sui materiali, dalla pulitura al consolidamento andrebbe garantita in modo sistematico la tenuta all'acqua dei muri, con protezioni delle creste e di tutte le parti esposte. Sarebbe auspicabile un forte controllo della visibilità degli interventi di integrazione, con soluzioni di lettura guidata anche delle

pagina a fronte

Fig.17

Ingresso principale della sala Est della *Domus*

Fig.18

Stilature dei giunti su una muratura di epoca sveva. Si osserva, oltre alla lavorazione della superficie a spina di pesce, l'interruzione del trattamento dei giunti a seguito del proseguimento degli scavi



Fig.19

Spalmate di malta su depositi incoerenti nell'area della cattedrale. La totale inefficacia di questi trattamenti è confermata dal loro deterioramento avvenuto in pochi anni

Fig.20

Lacuna nel paramento murario della torre orientale. Si è optato per un riempimento gettato e intonacato. Sono ancora assenti forme di protezione del saggio di scavo a ridosso della torre



pagina seguente

Fig.21

La torre orientale, simbolo del sito archeologico, vista da Ovest, dal pianoro dell'abitato





Fig.22
Integrazioni murarie nella torre Est. L'uso dei laterizi è stato limitato solo alla risarcitura della volta a crociera (in alto a sinistra). Per le murature la scelta è stata quella di limitarsi a suggerire dei profili, senza completare elementi architettonici come ad esempio l'imposta della



Fig.23
Alcune integrazioni dei profili della torre Est con evidenti fessurazioni dovute alla scarsa solidarietà con l'originale e alla limitata resistenza meccanica



stratificazioni murarie. In molti casi è necessario un intervento di de-restauro, con l'eliminazione di spalmature inutili e la predisposizione di soluzioni alternative; le superfici pavimentate e i materiali incoerenti a forte rischio di perdita per erosione possono trovare una via di salvaguardia solo attraverso lo studio di protezioni adeguate, anche nella forma di coperture. La gestione delle acque necessita di un piano sistematico che ne valuti e ne identifichi le dinamiche principali. Adeguate sistemi di raccolta e smaltimento potrebbero interessare gli edifici principali, specialmente quelli a una quota inferiore al calpestio (abitazioni) e quelli posti a ridosso del pendio come la Cattedrale. Deve essere garantito il controllo delle acque superficiali sulle singole superfici esposte degli edifici e sull'insieme complessivo. Le acque di infiltrazione nei muri contro terra devono essere ugualmente tenute sotto controllo con adeguati sistemi di isolamento. Le strutture esposte sui pendii necessitano di protezione dal vento con opportune soluzioni per la dispersione o la deviazione dei flussi ma anche con interventi per l'eliminazione di geometrie a forte rischio (integrazioni con sagome aerodinamiche). Sono altrettanto necessarie, per la cattedrale e per i tratti di cinta muraria, verifiche di stabilità del terreno preliminari a eventuali soluzioni di consolidamento localizzato dei suoli lungo il pendio. È necessario un piano di manutenzione che includa la verifica della tenuta delle protezioni ma anche e soprattutto il controllo della vegetazione sia sui ruderi che su tutta la superficie.

Determinante è l'avvio di un ampio programma di valorizzazione. Fiorentino si presenta oggi come un sito in abbandono e incustodito. Se si escludono visite guidate su appuntamento e rarissimi eventi di rievocazioni culturali, la frequentazione del sito è incontrollata e solo da pochi anni un cancello blocca l'accesso delle automobili ai resti archeologici. È necessario predisporre un percorso di visita adeguato che consenta la fruizione di tutti gli edifici significativi, con adeguati accorgimenti per la sicurezza in termini, ad esempio, di distanza da strutture a rischio (collasso o perdita di elementi) o di dislivelli pericolosi (saggi di scavo non protetti). Potrebbe essere pensata la presenza di punti di sosta ombreggiati che consentano una agevole visita del complesso anche nei periodi estivi. Dovrebbe essere predisposto un adeguato sistema di comunicazione e didattica in situ che oltre al completamento della pannellistica possa offrire modalità alternative di lettura e comprensione

delle strutture (applicazioni, virtual tours, ricostruzioni). La musealizzazione fissa e accessibile dei reperti in paese potrebbe essere un primo passo per rinforzare l'interesse per il sito, con modalità di accesso interattivo ai dati e livelli differenziati di approfondimento. Le visite scolastiche non riescono ad attivare una sensibilizzazione adeguata all'enormità del problema conservativo. Programmi specifici di approfondimento forse potrebbero essere l'inizio di una direzione più chiara, insieme ad iniziative di forte impatto (rappresentazioni, eventi culturali di richiamo). Solo un'attenzione politica lungimirante potrebbe guardare a programmi di attivazione delle relazioni indispensabili tra gli abitati contemporanei e l'abitato medievale abbandonato. Molte delle nuove generazioni sono estranee alla portata storica di questa antica città medievale per il territorio da cui esse stesse hanno avuto origine.

Fa riflettere l'utilizzo del termine "recupero" in una pubblicazione (Calò Mariani, 1998) quasi ignaro di quell'acceso dibattito che ha animato il mondo del restauro architettonico. Senza la pretesa di indicare direzioni ripiegandosi sul lessico, ci sembra opportuno che il concetto e il termine di "conservazione" possano a buon diritto prendere pieno campo nei riguardi di architetture monumentali, o di quel poco che ne rimane, di indiscusso valore per la storia medievale di questa parte di Italia.

Bibliografia di riferimento

Alberti, L. 1551, *Descrittione di tutta Italia di f. Leandro Alberti bolognese, nella quale si contiene il sito di essa, l'origine, et le signorie delle città, et delle castella, co i nomi antichi, & moderni, i costumi de popoli, le conditioni de paesi. Et piu gli huomini famosi che l'hanno illustrata, i monti, i laghi, i fiumi, le fontane, i bagni, le minere, con tutte l'opre marauigliose in lei dalla natura prodotte*, Venezia, Pietro de i Nicolini da Sabbio.

Alvisi, G. 1970, *La viabilità romana della Daunia*, Tipografia del Sud, Bari.

Calò Mariani, M. S. (ed.) 1985, *Federico II e Fiorentino. Atti del primo convegno di studi medievali della Capitanata. Torremaggiore, 23-24 giugno 1984*, Galatina.

Calò Mariani, M. S. (ed.) 1987, *Fiorentino. Campagne di scavo 1984-1985*, Galatina.

Calò Mariani, M. S. (ed.) 1998, *Capitanata Medievale*, Claudio Grenzi editore, Foggia.

Calò Mariani, M. S. (ed.) 1998, *Il recupero di una città Medievale. Fiorentino*, Bari.

Corsi, P. 1995, *Città e villaggi nella Puglia del Medioevo*. II, Bari.

Cuozzo, E., 2002, 'Note per una storia della contea normanno-sveva di Loritello' in De Benedittis, G. *La contea Normanna di Loritello*, Campobasso, pp. 53-70.

Del Re, G. 1868, 'I Diurnali di Matteo Spinelli di Giovinazzo (1247-1268), pubblicati dappresso il Codice della Biblioteca imperiale di Francia' in *Cronisti e scrittori sincroni della dominazione normanna nel Regno di Puglia e Sicilia: Svevi, Stamperia dell'Iride*, Napoli.

De Troia, G. 1994, *Foggia e la Capitanata nel Quaternus excadenciarum di Federico II° di Svevia*, Foggia.

Di Perna G. 2002, *La conquista normanna della Capitanata. Dalla rivolta di Melo alla Battaglia di Civitate (1005-1053)*, Foggia.

Haseloff, A. 1992, *Architettura sveva nell'Italia Meridionale*, Bari.

Huillard-Bréholles, A. 1833, *Recherches sur les monuments et l'histoire des Normands et de la maison de Souabe dans l'Italie méridionale*, Paris.

Leistikow, D. 1989, *Castelli e palazzi nella Capitanata del XIII secolo*, Foggia.

Marino, L. 2009, *Materiali per un atlante delle patologie presenti nelle aree archeologiche e negli edifici ridotti allo stato di rudere*, Firenze.

Morcaldi, M., Schiani, M., De Stefano, S. (ed.), 1873, *Codex diplomaticus Cavensis (CdC)*, vol. I, Napoli. pp. 162-163.

Martin J. M., Noyé G. 1991, 'Fiorentino. L'apporto della documentazione scritta medievale' in *La Capitanata nella storia del Mezzogiorno medievale*, Bari. pp. 161-186.

Martin, J. M., Noyé, G. 1991, *La Capitanata nella storia del Mezzogiorno medievale*. Bari.

Pasquandrea, M. R. 1986, 'Fiorentino: una città bizantina di Frontiera (XI-XIV sec.)' in *Profili della Daunia antica. Foggia, 30 maggio 1986*, Foggia.

Vendola, D. 1939, *Rationes Decimarum Italiae nei secoli XIII e XIV. Apulia-Lucania-Calabria*, Città del Vaticano.

Wattenbach, W. 1846, *Leonis Marsicani et Petri Diaconi Chronica Monasterii Casinensis* - M. G. H., Hannover.

Villa Adriana, esperienze di rilievo digitale ed analisi per il restauro e la musealizzazione dell'Edificio dei Pilastri Dorici

Stefano Bertocci
Giovanni Minutoli

*Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze*

Abstract

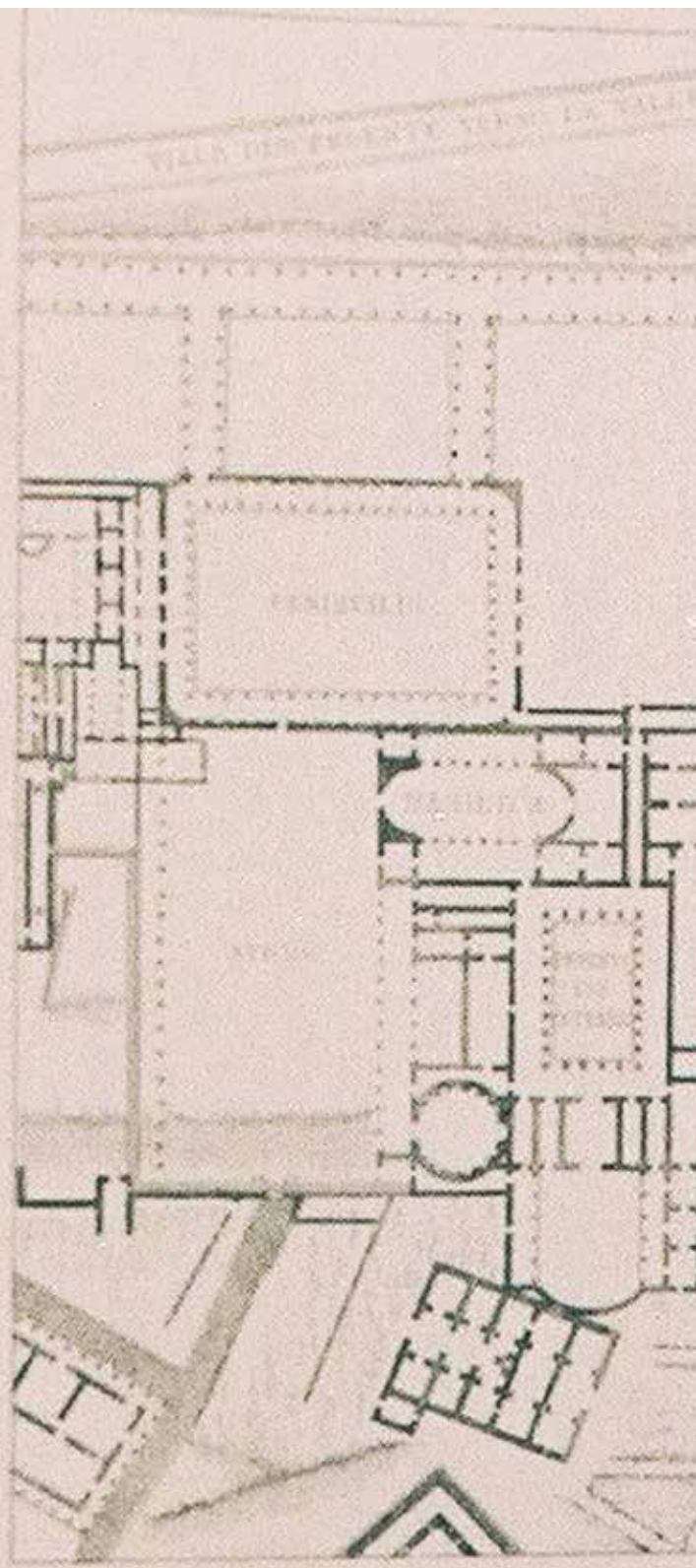
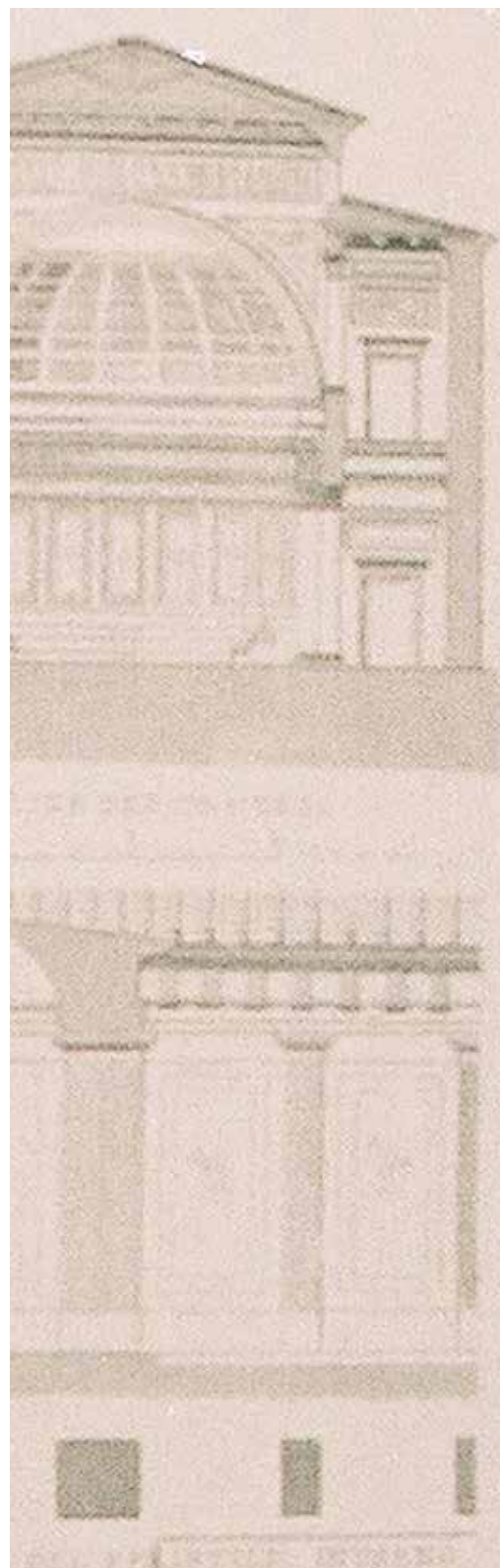
To speak about restoration and enhancement of the great archaeological sites such as Pompei, Herculaneum, Agrigento, and Villa Adriana in Tivoli, just to name a few, means to raise questions regarding protection and safeguarding that often are not easily reconcilable with the use of the sites by tourists and scholars. We have previously proposed a first step regarding a surveying project, using 3D laser scanner digital technologies, for the realization of plans, sections, and reliable models to architectural scale and detail, to constitute the fundamental knowledge, base for any exercise of critical and interpretive activities related to training and the development of conservation and restoration activities.

The construction of Villa Adriana began from around 117 A.D. by the homonymous emperor, as his residence outside Rome. It occupies an area of 120 hectares on the Tiburtini Mountains south east of Tivoli. In the nineteenth century, when the first restoration work began, the Kingdom of Italy partly purchased the Villa; the works had infiltrated almost all components of the villa buildings. In the central area of Hadrian's palace there is the so-called Hall of Doric pillars, which probably welcomed those who were waiting to be admitted to the emperor's presence. The conservation project of building structures was driven by the business practices and with the idea of protecting and safeguarding the artifact without providing for the reconstruction of the pillar system and / or the perimeter walls. The structural analysis of the system has highlighted the structural inadequacy of the peristyle portion rebuilt in 1956. The idea of this first experimental project is to present to visitors a knowledge and learning process, with multiple levels of historical and scientific study, based not only on exposure to passive objects or drawings, but on technological devices, touch screens, and projections, that allow the users of the spaces of the villa to travel back in time to the Hadrian period.

Premessa

Il grandioso complesso adrianeo alle pendici di Tivoli è stato inserito dal 1999 nella lista dei siti tutelati dall'UNESCO con una motivazione che ne tratteggia molto bene gli aspetti principali: "Villa Adriana è un complesso eccezionale di edifici classici creati nel 2° secolo d.C. dall'imperatore ro-





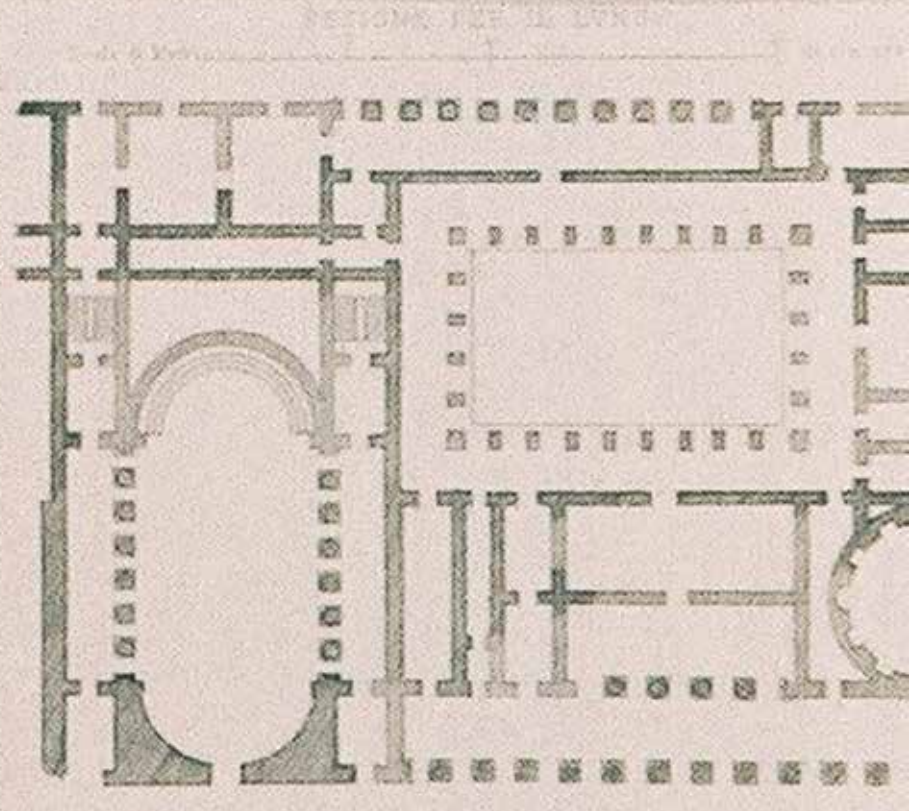
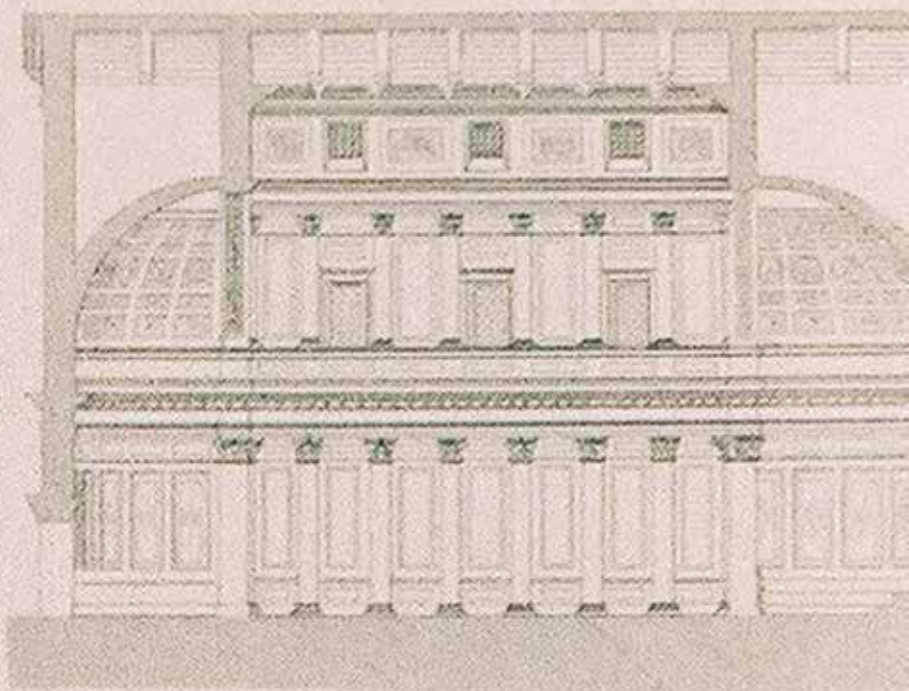
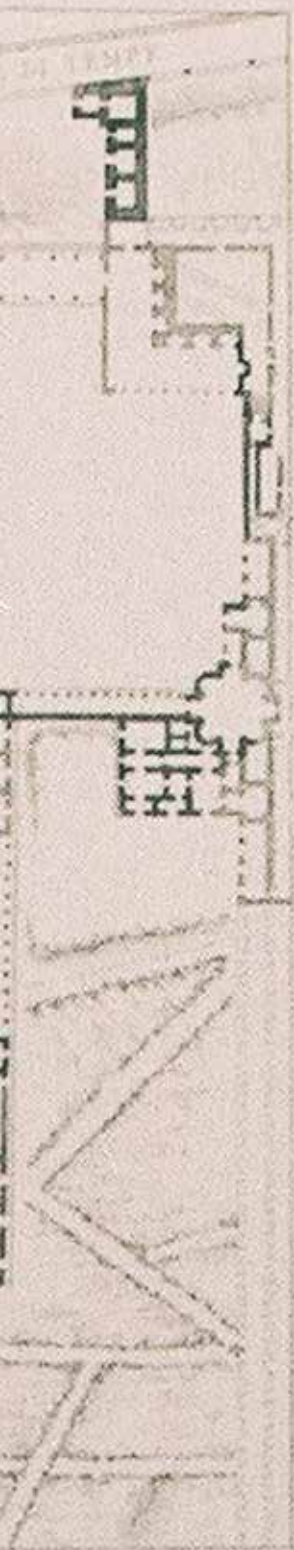


Fig.1
Planimetria
generale di
Villa Adriana
con indicazione
dello stato di
avanzamento dei
rilievi realizzati
con tecnologia
laser scanner 3D

mano Adriano. Esso combina i migliori elementi del patrimonio architettonico d'Egitto, Grecia e Roma, sotto forma di una città ideale". Sono state certamente individuate le due principali fasi della realizzazione del grande complesso attraverso bolli o marchi di fabbrica, presenti per la maggior parte sui laterizi delle strutture visibili, tuttavia ad oggi il sito risulta non completamente indagato e valutato nella sua effettiva estensione. Una delle fasi principali comprende la realizzazione della maggior parte degli edifici; questa si sviluppa sulle strutture di una preesistente villa risalente all'età repubblicana, prende avvio a partire dal 118 d.C. e doveva essere terminata nel 125 d. C. al termine del primo viaggio di Adriano nel suo impero. Questa comprende il cosiddetto Palazzo Imperiale, la Biblioteca Greca la Biblioteca Latina e la Terrazza Superiore delle Biblioteche, il Teatro Marittimo, la Sala dei Filosofi, gli Hospitalia, il Pecile e le Cento Camerelle, le Terme con Eliocamino, lo Stadio, le Piccole Terme e le Grandi Terme. La seconda fase invece si conclude alla morte dell'imperatore nel 138 d. C. e comprende il complesso della Piazza d'Oro, il Ninfeo Fede, il Palazzo d'Inverno, il Ninfeo - Stadio, il Canopo, il Padiglione e la Terrazza di Tempe, l'Edificio a Pilatri Dorici, Roccabruna, l'Accademia, l'Odeon, la Palestra e il Teatro Greco (Adembri, 2000; Adembri, Cinque, 2006; Aurigemma, 1969; Macdonald, Pinto, 1995). La villa rimase in uso anche dopo la morte di Adriano poiché in diverse strutture, fra quelle sopra citate, appaiono varie fasi edilizie che confermano questa ipotesi. Successivamente all'abbandono dell'area i resti dei numerosi edifici divennero fino al tardo medioevo cava di materiali edilizi e di elementi architettonici. Solo in epoca rinascimentale artisti e architetti riscoprirono i resti di quella che fu la villa di Adriano e cominciarono a frequentarla per studiarne gli affascinanti resti. È alla metà del cinquecento che l'architetto napoletano Pirro Ligorio, su incarico dal cardinale Ippolito II d'Este, intraprese una serie di sondaggi nel territorio di Tivoli alla ricerca di reperti antichi. Dalle indagini emersero numerose sculture e arredi marmorei in parte riutilizzati per decorare la splendida villa d'Este a Tivoli. Proprio l'apprezzamento nei confronti dei capolavori di scultura rinvenuti e delle raffinate decorazioni dei frammenti architettonici comportò la dispersione di vari pezzi prima negli antiquari e poi in diversi musei italiani ed europei. Durante il XVII secolo i Barberini e i Doria Pamphilj intrapresero numerosi scavi e nel secolo successivo si ebbero le più importanti scoperte come i due centauri e il mosaico dell'accademia. Fu solo con l'unità d'Italia che si portarono avanti ricerche sistematiche poiché nel 1870 lo stato italiano acquisì buona parte dell'area della antica villa.

Il progetto di rilievo digitale di Villa Adriana a Tivoli

Le applicazioni ed i risultati scientifici maturati in anni di esperienze condotte dal Laboratorio Congiunto *LandscapeSurvey& Design* dell'Università di Firenze e dal Laboratorio di Rilievo LRA del Dipartimento di Architettura della stessa università, anche in siti del Patrimonio UNESCO quali, oltre a diversi monumenti del centro storico di Firenze, Petra in Giordania, Masada in Israele, l'isola di Kizhi in Russia e alcune grandi fortezze spagno-



le in centro America, hanno consentito di mettere a sistema le più avanzate tecnologie digitali nel settore del rilievo per la documentazione digitale del patrimonio architettonico ed archeologico (Bertocci, Parrinello, 2015). Il progetto relativo al rilievo digitale di Villa Adriana a Tivoli è stato condotto coordinato dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, con la partecipazione del Dipartimento di Ingegneria civile ed architettura dell'Università di Pavia e del Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna. Il progetto si è sviluppato, sotto la sorveglianza Dott.ssa Benedetta Adembri della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio, dal 2012 al 2016 con campagne di rilevamento digitale che si sono sviluppate attraverso workshop sul sito svolti sia a fini didattici che di ricerca (Adembri, Bertocci, Bua, Di Tondo, Fantini, Parrinello, Picchio, 2013). Le campagne hanno interessato delle aree nelle quali gli studenti delle Università hanno sperimentato assieme a docenti e ricercatori, le tecnologie di rilievo digitale applicate al rilevamento archeologico. Il corpus dei materiali prodotti da queste attività, utile banca dati per l'analisi delle strutture in elevato, è stato organizzato secondo una struttura corrispondente alle singole attività condotte¹.

Le campagne di rilevamento, svolte con gruppi di ricercatori e studenti delle tre università coinvolte nel progetto, hanno riguardato alcune sperimentazioni condotte sulla base di una documentazione laser scanner 3D;

¹ I rilievi eseguiti sono relativi alle aree evidenziate nella planimetria della fig. 1. Il gruppo del Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, ha studiato l'area di Palazzo e le Terme con Eliocamino, producendo: rilievo laser scanner del complesso, rilievo fotogrammetrico dei paramenti murari, piante e sezioni alla scala architettonica, modelli 3D (zona Pilastrici, esedra della fontana, Biblioteca e Basilichetta). Il gruppo del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Architettura dell'Università di Pavia ha studiato la zona degli Hospitalia, l'area delle biblioteche ed il Plutonio, producendo: rilievo laser scanner, rilievo fotogrammetrico dei paramenti murari, piante e sezioni alla scala architettonica. Il gruppo del Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna ha studiato la zona del Teatro Marittimo, il Serapeo e parte della vasca del Canopo, le Piccole Terme e la Piazza d'Oro producendo: rilievo laser scanner, piante e sezioni alla scala architettonica ed alcuni modelli 3D.

queste costituiscono una base attendibile, passibile di essere convertita in vari elaborati, per la documentazione del sito dalla scala territoriale, relativa alla composizione dei manufatti nel sistema parco, alla scala del più specifico dettaglio architettonico. È stata condotta anche una campagna di rilievi topografici di supporto alle applicazioni fotogrammetriche e laser scanner che hanno portato alla realizzazione di modelli 3D di alcune parti del complesso. I dati delle nuvole di punti, ad elevata affidabilità metrica, provenienti dalla elaborazione delle scansioni laser, faranno parte del database di documentazione insieme alle riprese fotografiche e video. Il progetto prevede inoltre una fase di post produzione dei dati, costituita da ulteriori elaborazioni 2D e 3D delle nuvole di punti realizzate, della documentazione diretta, e dei disegni e delle foto, al fine di costruire un affidabile apparato critico documentario costituito da disegni vettoriali (piante, sezioni e prospetti), rendering 3D e dettagli in 2D e 3D di particolari architettonici di interesse (Adembri, Bertocci, Bua, Di Tondo, Fantini, Parrinello, Picchio, 2013; Adembri, Di Tondo, Fantini, 2010; Adembri, Di Tondo, Fantini, 2011). La banca dati della documentazione digitale deve inoltre costituire un contenitore “aperto e flessibile” pensato per accogliere la copiosa mole di studi e ricerche che, nel corso degli anni, sono stati svolti sulla Villa attraverso un’implementazione dei dati costante nel tempo. La mappa generale del sito, prodotta dalla elaborazione dei dati di rilievo, dovrà costituire la base cartografica appropriata per il data base generale, una piattaforma interattiva in grado di raccogliere i risultati delle diverse ricerche, funzionale ai possibili impieghi da parte della comunità scientifica e dell’attività preposte alla gestione del sito archeologico (Management Plan). La realizzazione di questa piattaforma interattiva, basata sull’imprescindibile banca dati delle misure (mappe ed elaborazioni affidabili dello stato dei luoghi), prevede una coerente attività di documentazione del sito, da effettuare mediante l’ausilio dei contemporanei sistemi di rilevamento 3D (laser scanner 3D, *drone mapping*, fotogrammetria *closerange*) e di diagnostica non distruttiva. Per questa ragione la piattaforma in corso di realizzazione dovrà essere concepita come uno strumento in grado di favorire non solo l’integrazione di dati provenienti da diverse sorgenti, ma anche la gestione di questi in relazione ai tempi e alle diverse scale di dettaglio. Gli sviluppi del progetto dovranno prevedere la messa a punto di una “mappa intelligente”, prodotta seguendo sperimentati criteri metodologici, che permetterebbe di mettere a disposizione degli studiosi le informazioni raccolte ed i vari studi che, con il tempo, dovrebbe configurarsi come il contenitore ufficiale della grande mole di studi e di ricerche che nel corso degli anni sono stati svolti sulla Villa Adriana e che troverebbero una sede appropriata ed una migliore struttura logica, anche rispetto ai possibili utilizzi contemporanei. I dati sino ad oggi prodotti costituiranno in futuro, se adeguatamente conservati e se copriranno l’intero complesso, la base documentaria per la conservazione del sito e potranno venire facilmente sfruttati anche per una migliore fruizione museale, pensando alle possibilità di simulazione, anche a scopi didattici, di eventuali ricostruzio-

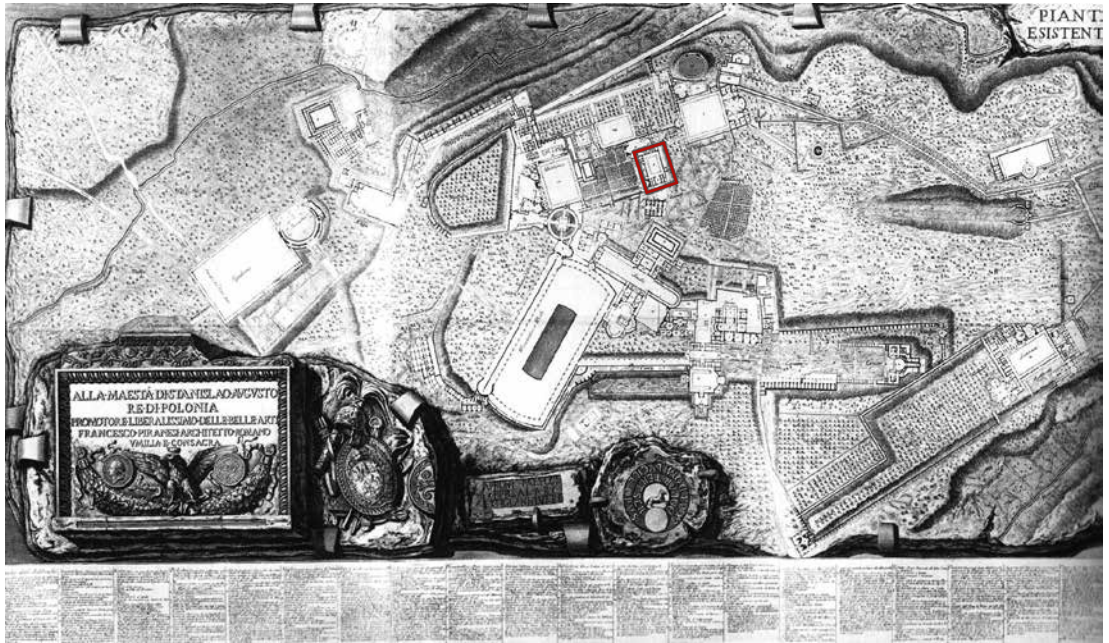


Fig.2
G. B. Piranesi, Pianta
Fabbriche esistenti nella
Villa Adriana 1781, in
rosso Edificio dei Pilastri
Dorici

ni virtuali o proposte di interventi di restauro e valorizzazione. Lo sviluppo del progetto prevede anche attività didattiche che si svolgeranno nel quadro di seminari accademici dando la possibilità a studenti, dottorandi e specialisti, provenienti non solo dall'Italia, di partecipare attivamente a tali attività, che saranno guidate da studiosi e professori esperti nel settore della documentazione digitale del patrimonio con la finalità di acquisire ulteriori conoscenze sulle più recenti metodologie di acquisizione dei dati di siti di interesse architettonico ed archeologico. La costruzione di un progetto così concepito permetterebbe di rendere fruibili le informazioni a vari livelli di utenza e a scale diverse, disponibili sia a tecnici esperti ed amministratori che ad un pubblico più ampio con uscite che potrebbero valorizzare percorsi tematici anche a fini turistici. La sistematizzazione delle informazione e la messa in valore dei dati, creando strutture cognitive che siano in grado di elaborare e rappresentare la complessità reale del sito, oltre a costituire la base documentaria fondativa del piano di conservazione, permetterebbero di elaborare sperimentazioni e previsioni di sviluppo congrue con il Management Plan del sito (Bertocci, Parrinello, 2015; Bertocci, Parrinello, Vital, 2014; Guidi, Remondino, Russo, Menna, Rizzi, Ercoli, 2009).

La concezione del rilievo digitale come una banca dati fruibile ed aggiornabile (e non come un elaborato compiuto e finito in un determinato momento storico) costituita da elaborati multi-scala è da anni oggetto di ricerca da parte del Laboratorio Congiunto *LandscapeSurvey and Design* ed è stata applicata, tramite ricerche e convenzioni per la fornitura di servizi, a varie realtà sia siti archeologici che urbane di interesse storico sia italiane



che estere. Fra queste si ricordano i principali progetti condotti quali il Piano del centro storico di Montepulciano (SI), il Piano di ricostruzione post sisma del comune di Acciano (AQ), il rilievo di parti del centro storico di Taranto e del quartiere di Salah al Din Street a Gerusalemme Est, il rilievo di Carsulae (TN), di Masada (Israele), l'analisi del paesaggio dell'Isola di Kizhi, museo nazionale dell'architettura in legno (Russia).

pagina a fronte

Fig.3
Edificio dei Pilastr Dorici
a. disegno storico
b. ipotesi ricostruttiva
c|d|e|f. foto storiche
g|h. stato attuale

L'analisi dell'edificio dei Pilastr Dorici

Il restauro e la valorizzazione delle grandi aree archeologiche quali, Pompei, Ercolano, Agrigento, e villa Adriana a Tivoli, solo per citarne alcune, pongono quesiti di tutela e salvaguardia che spesso mal si accordano con la fruizione dei luoghi da parte di turisti e studiosi. La televisione ci ha ormai abituato a vedere le città con gli occhi degli antichi senza la necessità di aver eseguito studi preliminari adeguati per la comprensione dei luoghi e senza essersi documentati prima. Questo processo di comunicazione del patrimonio culturale archeologico non trova un effettivo riscontro sul campo, infatti spesso le aree archeologiche sono fruite senza un vero percorso e senza avere una adeguata cartellonistica. I processi di ricostruzioni e anastilosi che, nei decenni passati, hanno permesso di comprendere come si presentavano gli antichi edifici prima di divenire ruderi, oggi non sono più ammessi né valutabili e le tecnologie digitali, attraverso l'ausilio della realtà virtuale, potrebbero aiutarci nella comprensione delle città antiche. Molti limiti tecnici di questi "nuovi modi" di comunicare sono stati ormai superati, la proiezione di immagini olografiche o tridimensionali in esterno sono possibili grazie all'utilizzo di proiettori ad alta definizione e pellicole, per le proiezioni, con elevate caratteristiche di riflettanza quindi idonee agli esterni.

Queste tecnologie hanno radicalmente aggiornato il modo in cui i musei si presentano al pubblico e come questi si relazionano allo spazio museale; i musei sono tornati ad essere luoghi di crescita culturale funzionali alla formazione come quando sono stati "inventati". È indispensabile che

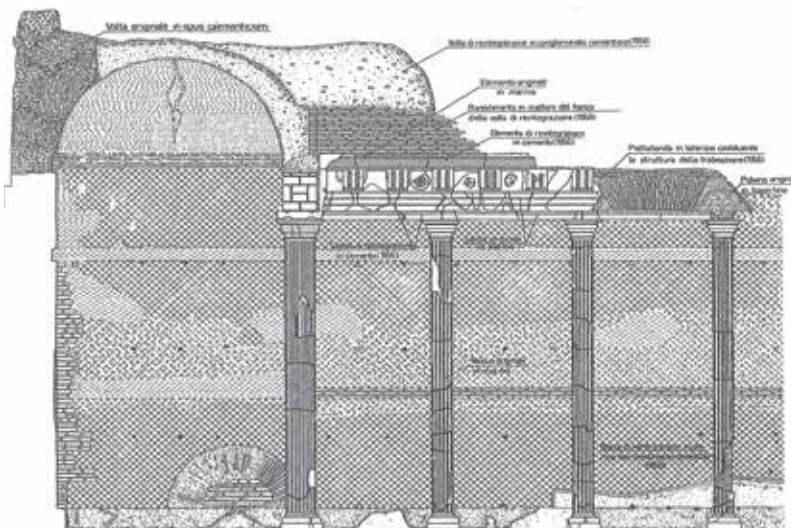
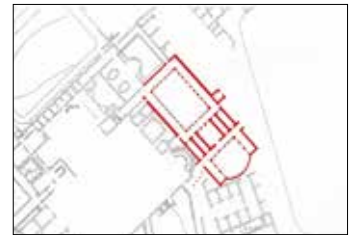


Fig.4
Analisi dell'anastilosi di una porzione dell'edificio. (Gizzi, 1999)

pagina a fronte

Fig. 5
Edificio dei Pilastri
Dorici:
a. planimetria
con riferimenti
fotografici
b|m. fotografie
n. planimetria

aree e parchi archeologici facciano lo stesso percorso di crescita ed ammodernamento in modo da fornire ai visitatori non solo delle “sensazioni” ma anche una formazione dando un valore aggiunto all’esperienza di visita.

Altro tema importante è quello delle coperture delle aree archeologiche, *l’ara pacisAugustae*, la villa del Casale in Sicilia sono state occasioni di dialogo, incontri e scontri che al di là delle semplici valutazioni estetiche hanno permesso di approfondire alcune tematiche di metodo ma anche di prassi per la salvaguardia del patrimonio storico artistico italiano. La scelta di affrontare uno studio che valutasse le problematiche proprie della teoria e della pratica del restauro integrando gli aspetti museali nasce dall’esigenza di intervenire nelle aree archeologiche con progetti multidisciplinari che salvaguardino il patrimonio e ne incentivino la fruizione diventando motori di rinascita culturale ed economica. Il restauro archeologico, come tutte le discipline legate al restauro, prevedono un approccio multidisciplinare che riesca a far dialogare architetti, archeologi e storici dell’arte, rendendo il frutto dei loro lavori chiaro e comprensibile ai visitatori siano essi studiosi o turisti creando dei livelli di lettura per *step* di approfondimento che accontentino tutte le tipologie di fruitori.

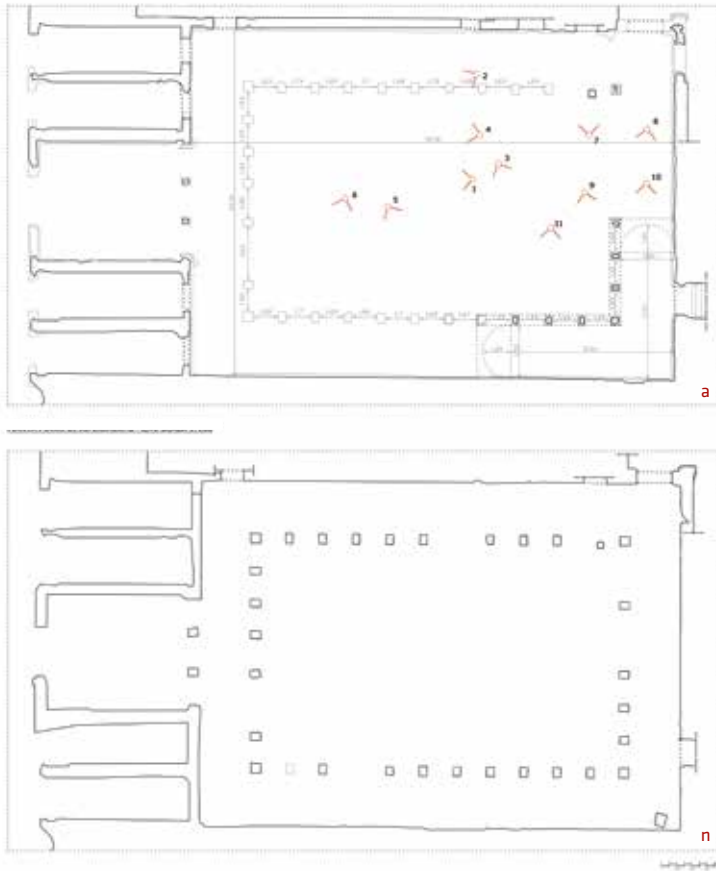
Nell’Ottocento villa Adriana fu in parte acquistata dal Regno d’Italia che vi iniziò i primi lavori di restauro; questi interessarono quasi tutti gli edifici componenti la villa. La maggior parte degli interventi ottocenteschi miravano al consolidamento delle strutture murarie con la creazione di contrafforti e/o puntellamenti in laterizi; inoltre nel canopo sono state reintegrate le volte del criptoportico sotto il vestibolo delle terme. Nelle Piccole Terme, tra il 1850 e il 1900, si realizzano catene in ferro disposte a croce e nella zona di risarcitura, in prossimità del capo chiave, si realizza un intonaco che simula, attraverso una “graffiatura”, un’opera reticolata originaria. La documentazione relativa ai restauri dell’ottocento ci permette di comprendere lo stato di degrado in cui versavano le strutture della villa.

Nella prima metà del Novecento vari edifici sono stati interessati da interventi di anastilosi, tra questi: il Canopo dove vengono ricostruite le arcate “siriache”; la Piazza d’oro dove si rialzano le colonne integrando le parti mancanti dei fusti con elementi in cemento; similmente accade nell’Edificio con tre esedre e nel Teatro Marittimo dove, inoltre, viene ricostruita una delle volte (Gizzi, 1999, pp. 1-76).

Nella seconda metà del Novecento tutta l’area archeologica è interessata da molteplici interventi di restauro, consolidamento e anastilosi: nella Piazza d’oro si rimontano gli elementi della trabeazione e si ricostruiscono le arcate in laterizi nel lato meridionale; nel Pecile viene ripristinato il fondo della vasca; nelle grandi terme vengono rialzate alcune colonne in marmo di Carrara e tre colonne in cipollino, con relativo riposizionamento di uno dei capitelli ionici e reintegrazione, in cemento, di un altro capitello. In seguito agli interventi di consolidamento vengono eliminati vari speroni di sostegno ottocenteschi².

Da un’analisi generale dello stato di conservazione dei restauri antichi si può dire che gli interventi reintegrativi fatti con i laterizi non presentano

² La maggior parte di questi sistemi di consolidamento “alle grandi masse murarie” in Villa Adriana è stata demolita con l’avvento della “filosofia” delle inserzioni occulte di materiali ferrosi od acciaioli. Scrive a tal proposito, Mario Lollo Ghetti: «All’epoca del governo pontificio nel XIX secolo, esaurita la fase della semplice ricerca di materiali pregiati o dello studio antiquariato, l’allora Camerlengato mise in opera degli interventi conservativi, principalmente grandi speroni murari, tesi ad evitare il dissesto statico ed il conseguente tracollo di alcuni principali edifici della Villa. Speroni o riprese murarie che benché dannose per la comprensione dell’organismo architettonico nei suoi valori competitivi, hanno indubbiamente assolto il loro compito e costituiscono, oggi, una preziosa documentazione di un modo di concepire l’intervento di conservazione che noi intendiamo fermamente preservare, a documentazione dell’evoluzione e del progredire della scienza, assolutamente non esatta del restauro» Lollo Ghetti, 1990, pp. 4-5 del dattiloscritto.



problemi, mentre gli inserimenti di elementi in ferro (nelle colonne, nei pilastri) e le catene, stanno causando diversi problemi dovuti all'ossidazione del ferro esposto agli agenti atmosferici. Anche gli elementi ricostruiti con l'ausilio di conglomerato cementizio presentano i primi sintomi di incoerenza, scagliandosi e polverizzandosi.

Nella zona centrale del Palazzo di Adriano si trova la cosiddetta Sala dei pilastri dorici; questa, che probabilmente accoglieva coloro che erano in attesa di essere ammessi alla presenza dell'imperatore, fungeva da recinto per le cerimonie. La sala era seguita da un ambiente, diviso in cinque passaggi da alti muri, che immette in una sala coperta a volta e cinta da colonne la cui parete terminale era conformata a esedra. Non è ancora stato chiarito se il vano sia un cortile, con un peristilio voltato a botte che corre lungo le pareti, o se si tratti di un vasto ambiente coperto. Sostegni delle volta a botte erano i pilastri marmorei scanalati, ancora in parte sul posto, al di sopra di questi correva una trabeazione dorica, da cui l'appellativo con cui la sala è conosciuta, realizzata con piattabanda di mattoni rivestite di marmo. Durante gli scavi della parte centrale del vano è stata rinvenuta una pavimentazione con lastre di bardiglio disposte in diagonale mentre sotto la parte voltata perimetrale sono state ritrovate le tracce di un pavimento in *opus sectile*.



Nel 1956 sotto la direzione dell'architetto Italo Gismondi venne realizzata l'anastilosi dell'angolo est della Sala. Salvatore Aurigemma riferisce che "sono stati ricomposti, ad uno degli angoli del quadriportico, con i molti frammenti già prima superstiti, e con altri recuperati più recentemente mediante scavi nei pressi immediati della sala, sei pilastri, e cioè un pilastro angolare a pianta quadrata, e cinque rettangolari, con la faccia breve rivolta al centro del quadriportico; e sui pulvini sovrapposti a capitelli è stata sostituita la trabeazione, a piattabanda in laterizio, ornate - talune - dagli elementi marmorei decorativi recuperati" (Aurigemma, 1961, pp. 145-147). Per la ricostruzione è stata impiegata un'anima di laterizi rivestiti di intonaco cementizio graffiato, servito a differenziare nettamente le parti aggiunte. Giuseppe Aureli, capomastro che condusse molti interventi all'interno della villa dalla metà degli anni Cinquanta sino alla metà del decennio successivo, riferisce che per la ricostruzione dei pilastri e della volta si utilizzò, come elemento di riferimento architettonico e proporzionale, il piccolo brano di innesto angolare di volte a botte superstite. Dalla fine degli anni cinquanta del Novecento si sono realizzati solo interventi di manutenzione che non hanno interessato le strutture (Aurigemma, 1969).

Il progetto di restauro

Il restauro degli edifici in stato di rudere (Giusberti, 1994; Masetti Bitelli, 1993; Marino, 2009) pone delle problematiche di intervento che non sono presenti nelle altre tipologie di restauro, in quanto spesso si è costretti a intervenire per salvaguardare il manufatto con azioni integrative che ri-

pagina a fronte

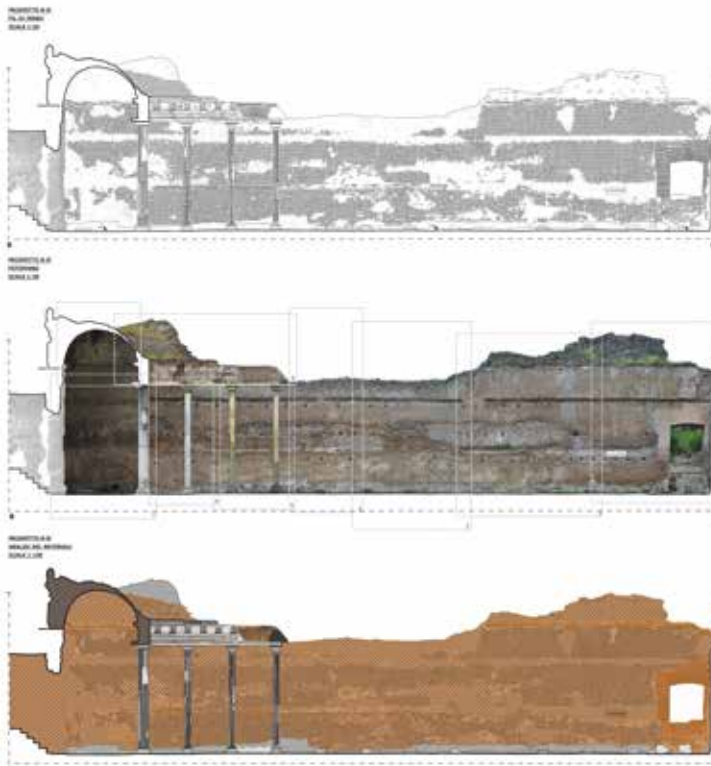
Fig.6

Particolari del complesso, con individuazione dei materiali e delle tecniche costruttive

Fig.7

Edificio dei Pilastri Dorici:

- rilievo
- fotopiano
- materico



sultano anche ri-compositive dell'immagine del monumento, realizzando di fatto interventi di anastilosi "involontari". Il progetto conservativo delle strutture murarie è stato guidato dalla prassi operativa e con l'idea di tutelare e salvaguardare il manufatto senza prevedere la ricostruzione del sistema di pilastri e/o delle murature perimetrali. La volta, parzialmente riedificata, e i pilastri iniziano a manifestare quelle forme di degrado tipiche delle ricostruzioni della metà del Novecento; i ferri utilizzati per gli interventi si ossidano e di conseguenza aumentando di sezione lesionano le murature aggravando il quadro fessurativo (Giuffrè, 1988; Giuffrè 1991).

A seguito di un attento rilievo laser scanner si è potuto comprendere le geometrie generali dell'edificio e le morfologie dei singoli elementi costruttivi che caratterizzano la sala dei pilastri dorici, ottenendo anche una tridimensionale dello stato dei luoghi al momento del rilievo. Sulla base di questa documentazione si è potuto realizzare la modellazione e la ricostruzione virtuale dei resti della sala e la stampa tridimensionale di alcune porzioni dell'edificio.

L'analisi dei dissesti, lesioni e deformazioni, non ha messo in evidenza particolari forme di dissesto delle murature perimetrali, mentre l'analisi dei degradi, eseguita dopo il rilievo materico realizzato attraverso procedimenti fotogrammetrici calibrati sulla base del rilievo laser scanner, ha evidenziato la necessità di interventi di consolidamento e protezione (Borri, De Maria, Donà, Gangi, 2011, pp. 89-113).

Questi potrebbero venire realizzati attraverso l'eliminazione della vegetazione infestante, la revisione e il rifacimento delle copertine archeologiche con guaina elastomerica e strato di sacrificio realizzato a base di argilla espansa impastata con legante acrilico, tipo Primal, su molte porzioni di muratura (Fiorani, 2014; Giusberti, 1994). Si dovrebbe inoltre prevedere la stuccatura delle parti erose e/o alveolizzate e la integrazione sottosquadro, raccordando le superfici circostanti secondo il profilo esistente e con livello di sottosquadro variabile tra tre e sei millimetri a seconda delle dimensioni delle integrazioni³. Le murature necessitano di iniezioni per la riadesioni dei rigonfiamenti e dei distacchi di porzioni della pietre e di parti laterizio mediante iniezione di malta tipo LedanTb o Leit previa sigillatura dei bordi perimetrali con malta di finitura fino al completo riempimento delle cavità retrostanti. Nel caso di porzioni rilevanti di materiali con rigonfiamenti e distacchi si procederà al distacco della porzione, pulitura delle superfici interne mediante spazzole e aria compressa, incollaggio con malta a base di calce idraulica Lafarge, resina acrilica tipo Primal e polvere di pietra o laterizio nelle porzioni definite a seguito di apposite prove in cantiere. Nel caso di schegge (scagliatura) l'incollaggio di frammenti di medie dimensioni avverrà mediante chiodatura degli stessi con barre in VTR del diametro 6mm utilizzando un idoneo perforatore a rotazione in modo da non sollecitare la struttura⁴.

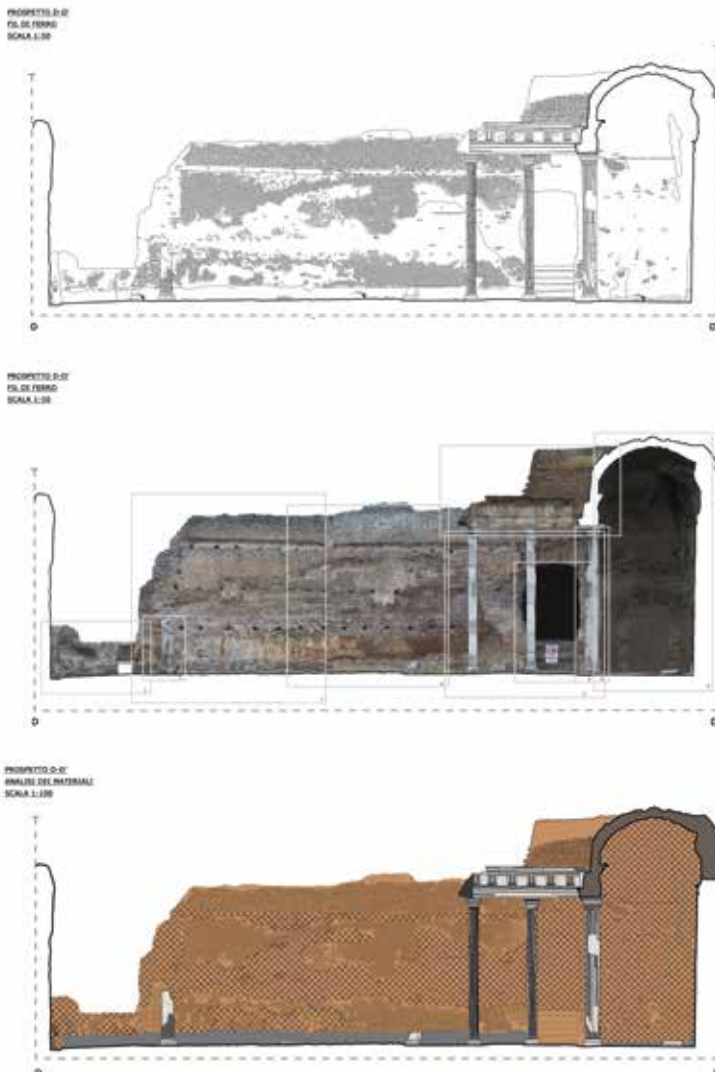
L'analisi strutturale del sistema voltato e dei piedritti ha messo in evidenza l'inadeguatezza strutturale (Giuffrè, 1988; Giuffrè 1991) della porzione

³ Queste integrazioni dovrebbero essere eseguite con malta a base di calce Lafarge, grassello di calce e sabbia gialla, pozzolana e sabbia di fiume secondo proporzioni definite sulla base di preventivi tasselli. Le stuccature dovrebbero essere eseguite a più livelli in corrispondenza di cavità (alveoli) di una certa profondità al fine di evitare l'esecuzione di strati di stuccature con spessore superiore ai 1 cm. Il supporto dovrà essere opportunamente bagnato al fine di evitare eccessivi fenomeni di ritiro delle stuccature. Nel caso di cavità profonde si dovrà inserire una apposita struttura di supporto formata da microbarre in VTR ancorate al supporto lapideo o laterizio mediante resina epossidica bicomponente e posizionate in maniera da garantire il corretto aggrappaggio della stuccatura.

di peristilio ricostruita negli 1956; nella volta, verificata con il metodo Grafico di Mery, la curva delle pressioni è rimasta interna al terzo medio e i valori ottenuti H e S risultano irrisori rispetto alla resistenza a compressione ammissibile della muratura con cui è realizzata la volta. Risultando l'arco privo di carichi permanenti, di esercizio e carichi accidentali, l'analisi dei carichi ha valutato solo il peso proprio, non sapendo se al di sopra si trovavano altri ambienti e/o si poggiavano altre strutture non è stato possibile ipotizzare altri dati per la verifica. I piedritti, il pilastro quadrangolare in angolo e gli altri a sezione rettangolare, sono stati verificati a pressoflessione; per la verificati è stato scelto il pilastro con sezione minore e maggiormente sollecitato⁵.

Questi carichi agiscono ciascuno nel proprio baricentro e hanno come risultante P_{totale} che risulta esterna all'area di base del pilastro, ne deriva quindi un'instabilità statica dell'elemento; sarà quindi necessario introdurre una nuova catena che elimina la componente orizzontale⁶. La verifi-

Fig.8
Edificio dei Pilastr Dorici:
- rilievo
- fotopiano
- materico



⁴ La messa in opera avverrà con prodotti reversibili tipo resine termoplastiche o malte di calce, miscelata a resine acriliche e comunque di composizione tali da garantire una resistenza meccanica adeguata e un ritiro pressoché nullo. L'intervento dovrà mirare a ricostruire le caratteristiche strutturali dei singoli elementi senza alterare il funzionamento originario. Nel caso di elementi di particolare dimensione, nella trabeazione, o aventi il rischio di caduta dovranno essere inserite apposite barre in VTR fissate al supporto con resina epossidica bicomponente tipo Araldite BY158.

⁵ Sono stati valutati i pesi propri che gravano sul piedritto: 1. I pesi sopra la sezione di rene dell'arco: ottenuti tramite la costruzione della funicolare dei carichi nella precedente verifica; 2. I pesi sotto la sezione di rene dell'arco: P1 (porzione di arco), P2 (architrave), P3 (colonna).

Fig.9
Edificio Pilastri
Dorici:
analisi del degrado

pagina a fronte

Fig. 10
Edificio Pilastri
Dorici:
analisi delle
deformazioni

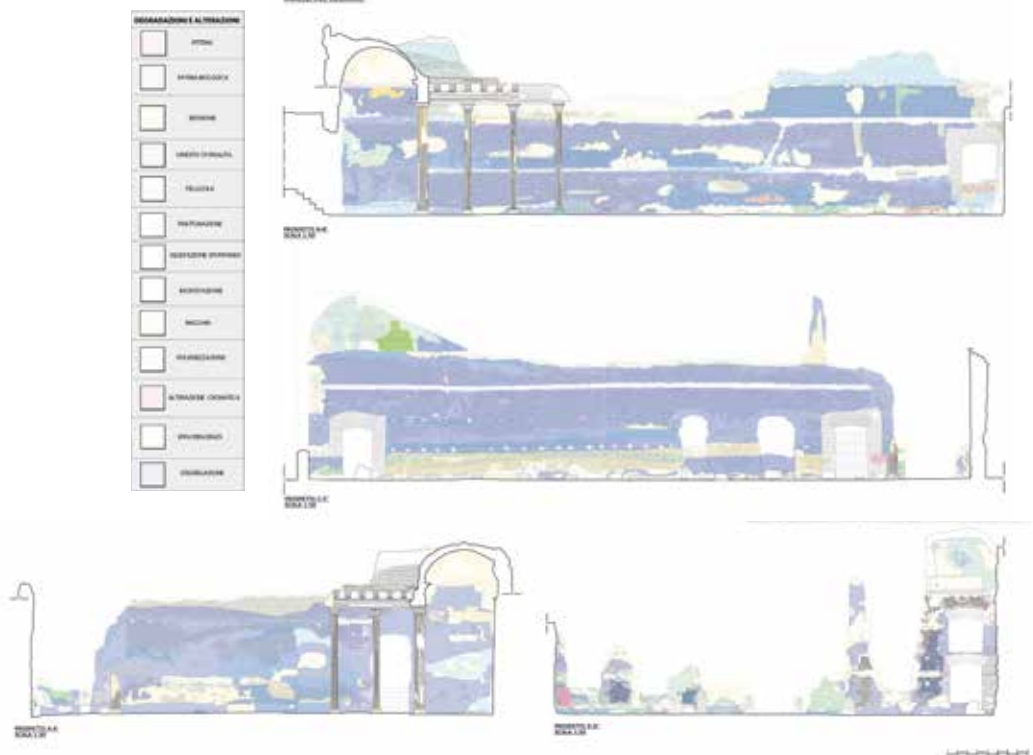
ca dei pilastri ci fa riflettere sulla possibilità, che alcuni autori ammettono, che la sala fosse coperta: se i pilastri sono effettivamente quelli originali risultano sotto dimensionati per sopportare il peso di un ulteriore piano e di un sistema di coperture, facendo propendere per l'ipotesi che l'edificio sia da sempre un grande cortile.

L'inserimento della catena risulta solo parzialmente risolutivo e per una adeguata messa in sicurezza sarebbe opportuno prevedere di inserire dei piedritti in ferro sagomato e puntellati a pressione, questi elementi dovrebbero essere smontabili e ritensionabili nel caso si modificano le condizioni a contorno.

Il progetto di musealizzazione

L'idea di progetto è quella di presentare ai visitatori un percorso di conoscenza e apprendimento, con più livelli di approfondimento storico-scientifico, basato non solo sull'esposizione passiva di reperti o elaborati grafici (Amendolea, 1995; pp. 176-195), ma su dispositivi tecnologici, *touch screen* e proiezioni che permettano ai fruitori di percorrere gli spazi della villa ritornando indietro nel tempo al periodo adrianeo.

Attualmente sono disponibili una serie di dispositivi ed apprestamenti che potrebbero venire inseriti lungo il percorso archeologico: pannelli totem interattivi *touch screen*, pavimenti interattivi, box per ologrammi e pareti vetrate *touch*, per mantenere alta l'attenzione del visitatore. Tutte le tecnologie interattive e multimediali sopra citate sono state ideate con l'obiettivo di creare spazi educativi e percorsi conoscitivi vivaci che pos-



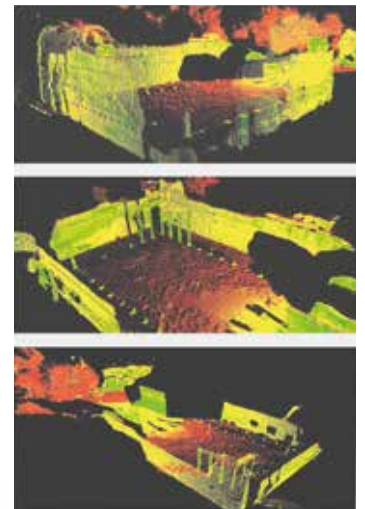
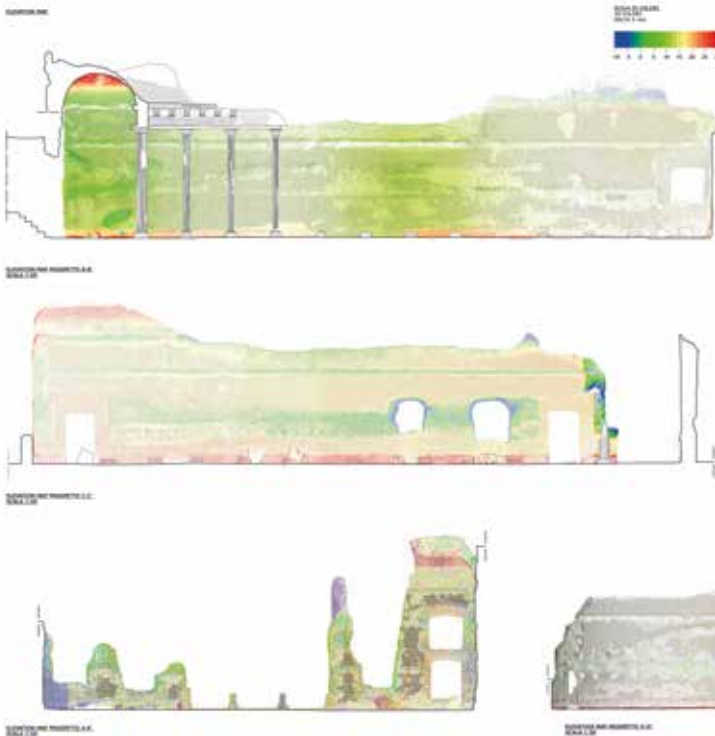
sano tenere alta l'attenzione del visitatore, anche in relazione ai vari livelli di preparazione ed interesse del fruitore di questi servizi. Nello specifico il progetto sperimentale proposto prevede l'installazione di totem interattivi costituiti da una struttura in acciaio inossidabile con giunzioni rifinite in vetro e da un *display touch screen* su cui vengono proiettate informazioni ed immagini significative della Villa⁷. La tecnologia proposta permette, attraverso il riconoscimento delle *gesture*, di manipolare oggetti e immagini, navigare, spostare, ridimensionare, tutto con il semplice movimento delle mani e supporta fino a 32 tocchi simultaneamente.

La tecnologia proposta per il pavimento interattivo è *Interactive Floor/Wall*, una soluzione *hardware & software* che permette di trasformare un normale pavimento o una parete in uno schermo dove sarà possibile proiettare i contenuti informativi e rendere il percorso museale dinamico ed interattivo mantenendo costante l'attenzione del visitatore. Il sistema è formato da un box contenente un proiettore collegato a un mini pc, una camera ad infrarossi ed uno specchio ottico che rilette sul pavimento le immagini proiettate dal proiettore. Il box in questo modo permette di ridurre lo spazio di ingombro del videoproiettore e attraverso una staffa di fissaggio a soffitto aumenta la dimensione dell'immagine. Questo sistema con specchio ottico garantisce facilità nell'installazione ed il buon funzionamento del videoproiettore una eccellente visibilità anche in zone molto luminose; un software che permette di caricare una grande quantità di materiale e ne permette la visione in maniera fluida.

All'interno della villa numerosi sono i reperti archeologici ritrovati nel cor-

⁶ Con l'inserimento della catena la risultante delle forze subirà uno spostamento verso il centro riducendo l'eccentricità; per il posizionamento della catena si traccia la retta passante dal baricentro della colonna e la si fa incrociare con la risultante delle forze Ptot.

⁷ La tecnologia proposta ha certificati IP 65 ed è progettata per l'interattività in esterno e per la video informazione. L'impianto, dal design ricercato, è studiato per ambienti esterni, dotato di vetro anti proiettile che garantisce la longevità dell'apparecchiatura. Il fissaggio a terra rende i modelli da esterno adattabili a varie esigenze logistiche.



so delle varie campagne di scavo, nel progetto si propone di farli visualizzare ai visitatori fornendo accurate ricostruzioni 3D in maniera olografica. In particolare per il progetto se ne propongono due 3D *Holographic Box* ed HOLOCUBE. 3D *Holographic Box* è un proiettore olografico, che proietta un'animazione 3D su uno schermo trasparente permettendo di vedere il reperto in tutte le sue dimensioni; è utilizzabile anche in zone con alta luminosità. HOLOCUBE è una delle prime soluzioni olografiche disponibili sul mercato internazionale, tecnicamente funziona come il precedente ma dà anche la possibilità di interagire con l'ologramma.

In posizione strategica e funzionale ai percorsi di visita nella villa si potrebbero trovare pannelli di vetro per la fruizione interattiva. La tecnologia scelta per il progetto si chiama *Touch My Brand*: è una proiezione basata sull'uso di uno schermo olografico bianco-opaco rimovibile studiato appositamente per essere applicato su superfici vetrate; riesce a trasformare il pannello in un piano adatto alla proiezione esterna grazie ad algoritmi autoadattanti appositamente sviluppati caratterizzati da un'alta precisione nel rilevamento dei movimenti. Le immagini proiettate sono interattive, reagiscono ai movimenti e ai gesti degli utenti⁸. Il percorso all'ingresso della sala dei pilastri dorici si apre con l'ingresso nel peristilio in corrispondenza dell'angolo ricostruito nel 1956, il visitatore vedrà proiettati (con il sistema *Touch My Brand*) sulle grandi lastre di vetro, ancorate tramite borchie ai piedritti di consolidamento e dotate di pellicola per la proiezione (*HitouchFoil*), la ricostruzione virtuale della sala creerà un effetto scenografico che rimanda alla realtà aumentata. La proiezione narrerà anche del decadimento della villa e di conseguenza della sala fino a mostrare l'attuale stato dei luoghi.

Il fruitore si troverà a camminare su una passerella, staccata 30 cm da terra, che attraverso le proiezioni gli indicherà il percorso e fungerà da guida e scandirà il tempo della visita.

La struttura della passerella è composta da un telaio in acciaio, su cui poggiano lastre in vetro strutturale, di sicurezza e perfettamente pedonabili⁹. Ogni lastra di vetro presenta una lunghezza di 70 cm e di larghezza 80 cm. Le lastre sono sorrette dalla basette in acciaio inox sostenuta da appoggi



regolabili dello stesso materiale; questi elementi come i puntelli sono removibili e perfettamente distinguibili. Sulle lastre pavimentali inoltre sarà proiettato l'antico pavimento, in *opus sectile*, a piccoli rombi di vari colori, dando vita in questo modo ad una riedizione adrianea dei mosaici con *crustae* che era a fondo bianco decorato da *crustae* marmoree colorate di forma irregolare. Lungo il percorso verranno illustrate anche le diverse analisi che sono state fatte per lo studio dei materiali lapidei permettendo l'identificazione del gruppo lapideo di appartenenza, determinandone così anche le peculiarità, importanti per stabilire il metodo d'intervento. L'installazione di un pavimento interattivo all'interno del percorso della sala dei pilastri dorici nasce dall'idea di volere ricostruire il pavimento originale che con gli anni è andato perso. In questo modo i visitatori potranno osservare il pavimento originario al loro passaggio sulla passerella di vetro. All'interno della sala saranno installate due 3D box; nel primo verranno proiettati video riguardanti le tecniche costruttive dell'*opus reticulatum* utilizzata per la costruzione delle pareti della sala; nel secondo un video in cui si racconta come veniva utilizzata la sala in periodo adrianeo. Inoltre sono previsti altri due schermi *touch* uno di dettaglio sui materiali utilizzati per la finitura della sala (intonaci dipinti decorazioni in marmo) e l'altro di approfondimento sul sistema costruttivo delle volte in epoca romana. Il percorso si chiude nel corridoio antecedente la sala ad esedra in cui sono previsti quattro schermi dotati di tecnologia *touch screen* che permettono

Fig.11

Edificio Pilastri Dorici:

a. individuazione area della verifica strutturale

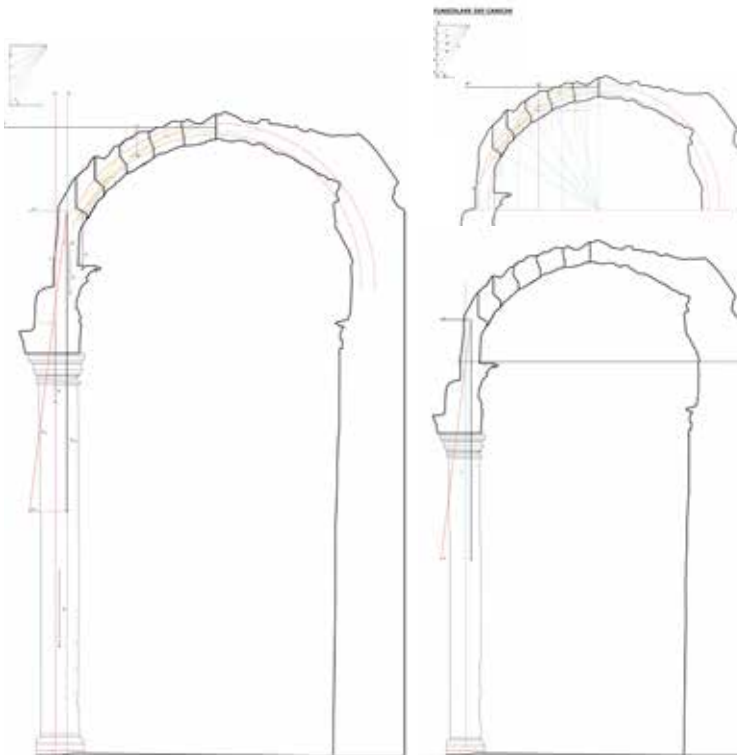
b. verifica dell'arco e della stabilità del piedritto

pagina successiva

Fig.12

Edificio Pilastri Dorici:

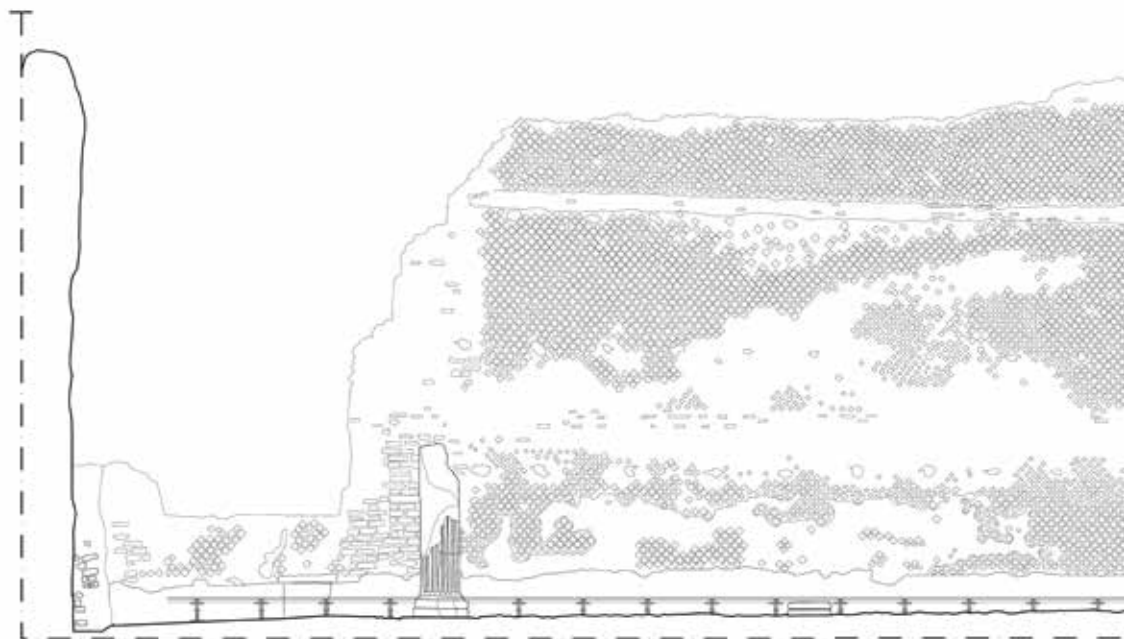
particolari tecnologici del progetto di allestimento



b

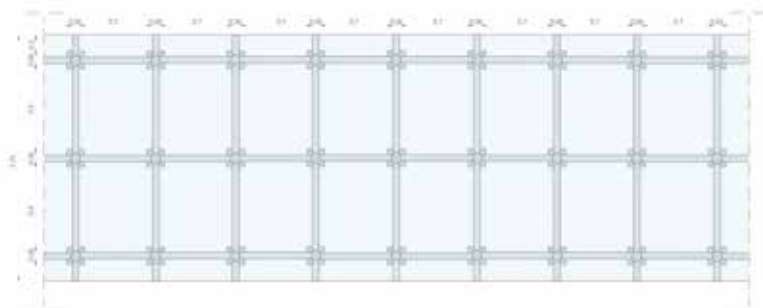
⁸ Touch My Brand è compatibile con diverse tipologie di schermi olografici in questo caso si è scelto il modello HitouchFoil un particolare tipo di schermo olografico per proiezione opaco adesivo, con la possibilità su richiesta di essere anche del tutto rimovibile. Si tratta di un foglio acrilico trasparente leggero e semplice da applicare al vetro. Lo schermo ha un'alta risoluzione, è antiriflesso ed è consigliato per ambienti esterni anche in condizioni di alta luminosità come richiede il nostro caso specifico. È considerato il più resistente sistema touch screen, funziona anche con i guanti.

⁹ Alla stratigrafia portante, ogni lastra di vetro misura spessore 12 mm (tipologia extra-chiara), cui si aggiungono sei millimetri di vetro temperato, una lastra supplementare progettata in modo da poter essere sostituita ogni due anni per risolvere i problemi estetici e funzionali dati dai graffi da usura. Il vetro, infatti, oltre a permettere la visibilità, può garantire una resistenza al carico di 500 kg/mq è quindi pensato per sorreggere vari individui.



PASSERELLA IN VETRO

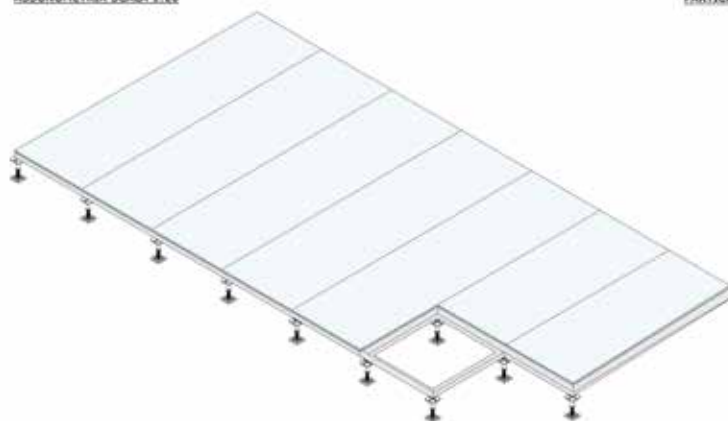
PIANTA PASSERELLA SCALA 1:20



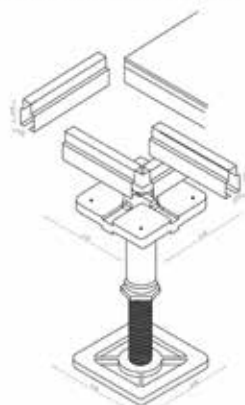
SEZIONE PASSERELLA SCALA 1:20

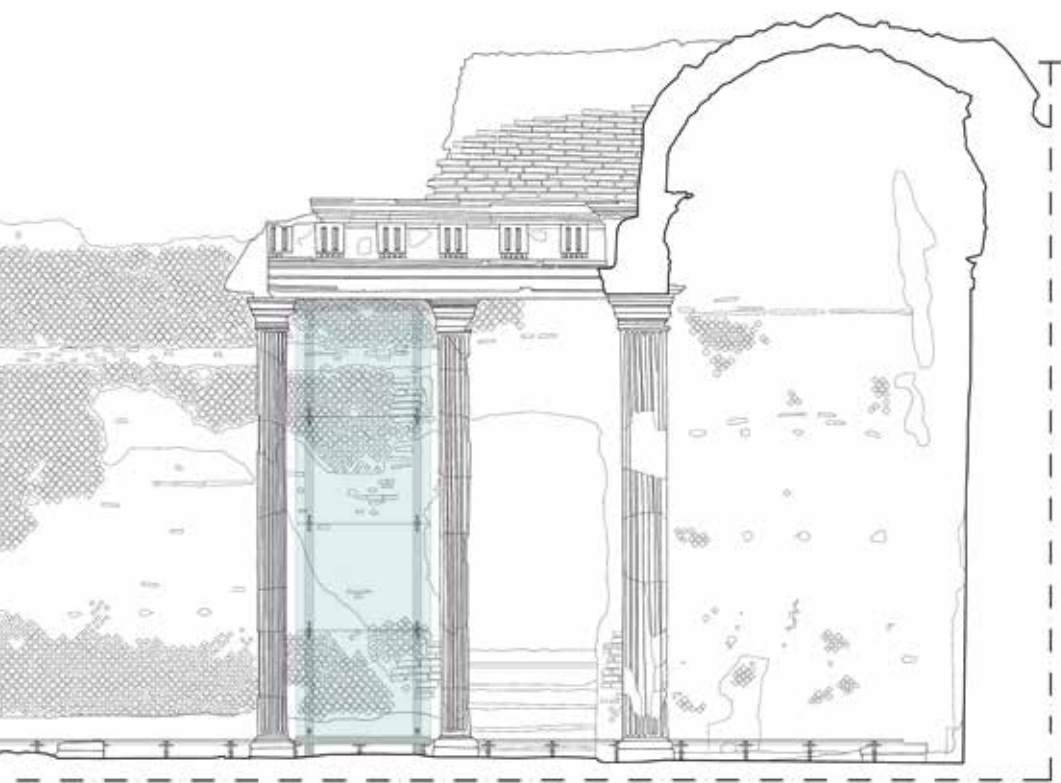


ASSONOMETRIA SCALA 1:20



PARTICOLARE APPOGGIO REGOLABILE IN ACCIAIO INOX SCALA 1:5



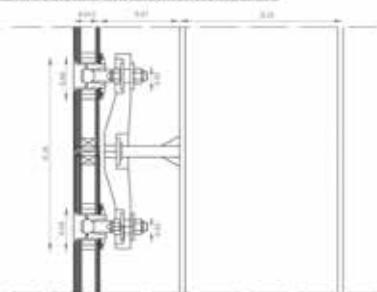


PANNELLO STRUTTURALE

ASSONOMETRIA SCALA 1:20

PROSPETTO PANNELLO STRUTTURALE SCALA 1:20

SEZIONE PARTICOLARE ACCIAIO INOX SCALA 1:2



SEZIONE ATTACCO A TERRA SCALA 1:2

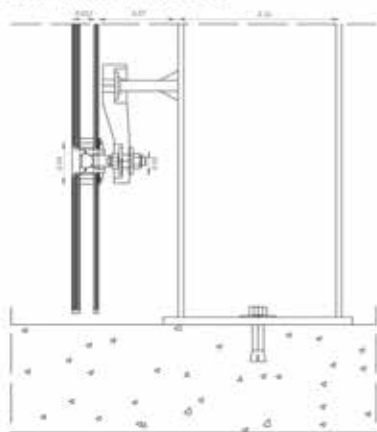
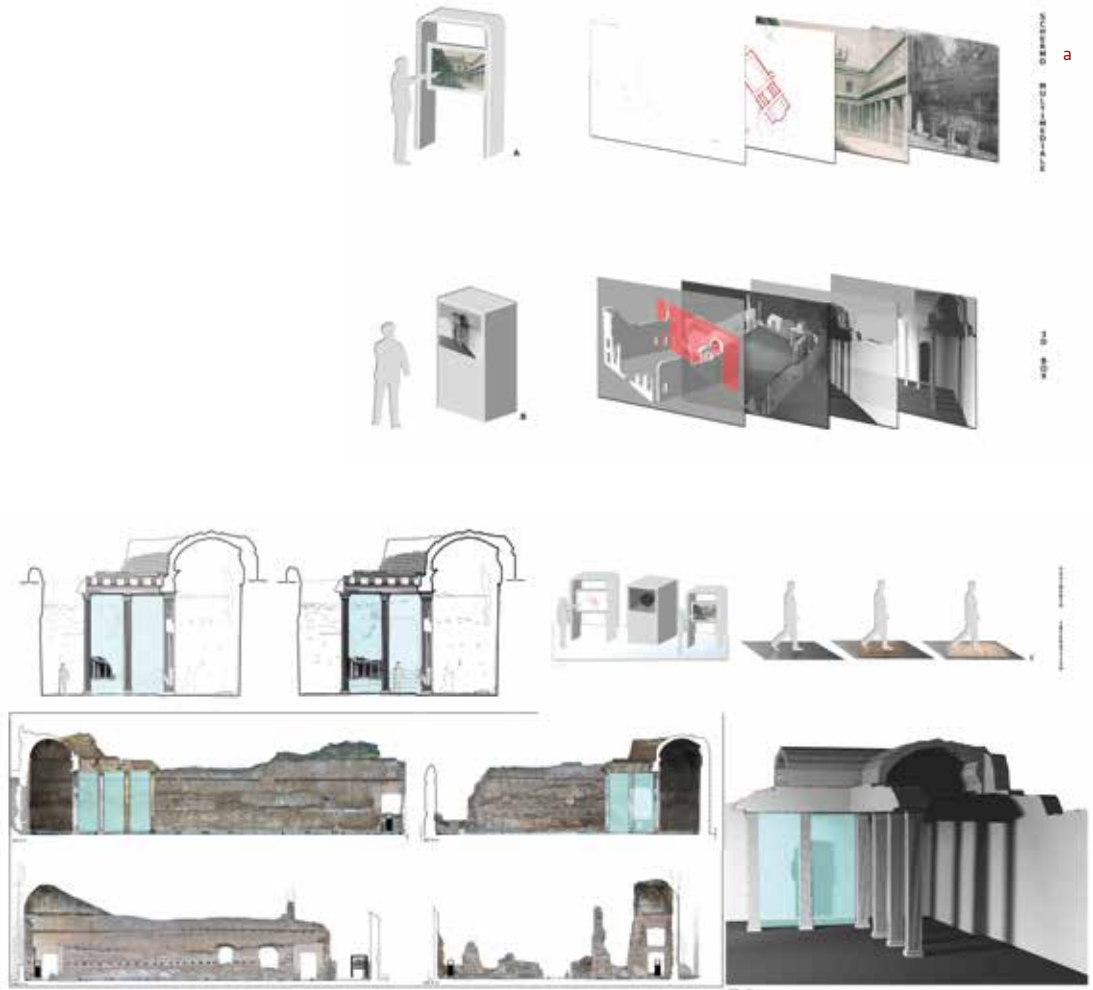
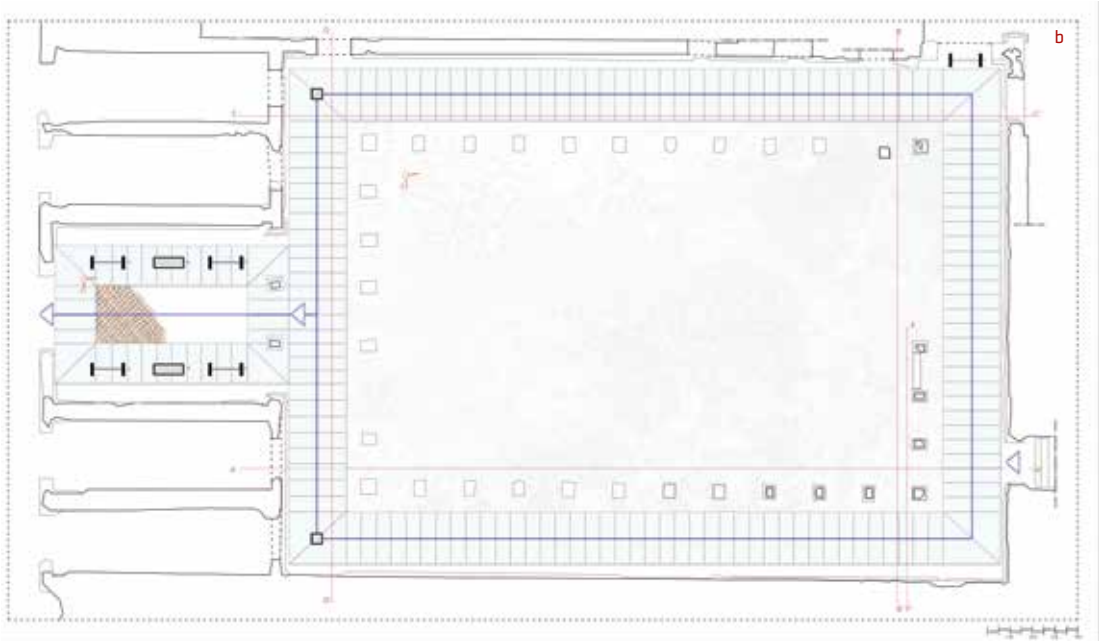


Fig.13
Edificio Pilastr
Dorici:
a. progetto
multimediale
b. planimetria di
intervento

al visitatore di comprendere gli usi e i costumi di corte all'epoca di Adriano dando anche indicazioni generali sulla villa;qu potrebbero essere disposte anche due teche in vetro contenenti alcuni dei reperti archeologici ritrovati in situ che aiuteranno i visitatori a comprendere meglio le funzioni che all'interno di queste sale si svolgevano.

Tutti gli elementi funzionali alla fruizione sono pensati per resistere alle intemperie e prevedono l'utilizzo di supporti per le proiezioni che non risentono della luce solare per una corretta visione. Il curten sembra il materiale quello più idoneo alla realizzazione dei box e degli espositori che con il suo colore rugginoso si integra perfettamente con il contesto.





Bibliografia di riferimento

Adembri B., 2000, *Villa Adriana*, Electa, Milano.

Adembri B., Cinque G. E., 2006, *Villa Adriana: La Pianta del Centenario 1906-2006*, Centro Di, Firenze.

Adembri B., Di Tondo S., Fantini F., 2011, *New advancing of the research on the architecture with concave and convex rhythms at Hadrian's Villa: reconstruction hypothesis on the southern nymphaeum of the Piazza d'Oro*, in CHNT, Vienna.

Adembri B., Di Tondo S., Fantini F., 2010, "Tools for archiving and managing Cultural Heritage: the finds from territory of Tivoli held at Hadrian's Villa, the case study of the friezes from Teatro Marittimo", in CHNT, Vienna.

Adembri B., Bertocci S., Bua S., Di Tondo S., Fantini F., Parrinello S., Picchio F., (2013) *Villa Adriana*, Storia, archeologia, restauro e conservazione, in *Forma Urbis* n°8.

Amendolea B. (a cura di) 1995, *I siti archeologici. Un problema di musealizzazione all'aperto*, Roma, Gruppo Editoriale Internazionale, pp. 176-195.

Aurigemma S. 1961, *Villa Adriana*, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma, pp. 145-147.

Aurigemma S. 1969, *La Villa Adriana presso Tivoli*, ed. Grafiche Chicca, Tivoli.

Bertocci S., Parrinello S., Vital R., 2014, *Masada Notebooks, Report of the Research Project 2014*, Vol 2. Edifir, Firenze.

Bertocci S., Parrinello S., 2015, *Digital Survey and Documentation of the Archaeological and Architectural sites. UNESCO World Heritage list*, Edifir, Firenze.

Borri A., De Maria A., Donà C., Gangi G. 2011, *Comportamento meccanico delle murature storiche*, in *Manuale delle Murature Storiche - Analisi e valutazione del comportamento strutturale*, Donà C., De Maria A. (a cura di), vol. I, D.E.I. Roma, pp. 89-113.

Fiorani D. 2004, *Interventi sulle strutture in elevato*, in *Atlante del Restauro*, Carbonara G. (a cura di), UTET, Torino.

Giuffrè A. 1988, *Monumenti e terremoti. Aspetti statici del restauro*, Multigrafica, Roma.

Giuffrè A. 1991, *Lettura sulla Meccanica delle Murature Storiche*, Edizioni Kappa, Roma.

Giusberti P. 1994, *Il restauro Archeologico*, F.lli Palombi, Roma.

Gizzi S. 1999, *Per una rilettura della storia dei restauri di Villa Adriana dal 1841 al 1990*, in *Bollettino d'Arte del Ministero per i Beni e le Attività Culturali*, n. 109-110, luglio-dicembre 1999, pp. 1-76.

Guidi G., Remondino F., Russo M., Menna F., Rizzi A., Ercoli S., 2009, *A multi-resolution methodology for the 3D modeling of large and complex archeological areas*, *International Journal of Architectural Computing*, 7, 1, 39-55.

Lolli Ghetti M., *La Villa Hadriana*, relazione tenuta al convegno "Faut-il restaurer les ruines?", Caen 8-10 novembre 1990, pp. 4-5 del dattiloscritto.

Macdonald W. L., Pinto J. A., 1995, trad. it, *Villa Adriana La costruzione e il mito da Adriano a Louis I. Kahn*, Electa, Milano.

Marino L. 2009, *Materiali per un atlante delle patologie presenti nelle aree archeologiche e negli edifici ridotti allo stato di rudere - Material for an atlas of pathologies in archaeological areas and ruined buildings*, Alinea, Firenze.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE