



La consolidación estructural en la restauración Las bóvedas de Villa Poiana de Palladio

Structural consolidation in restoration The vaults of Palladio's villa Poiana

Francesco Doglioni

Profesor de restauración del Istituto Universitario di Architettura de Venecia
Professor in restoration at the Istituto Universitario di Architettura in Venice

Palabras clave: restauración, arquitectura, consolidación estructural

Los trabajos de consolidación estructural en la Villa Poiana, una obra singular de Palladio por haber sido concebida y construida únicamente con bóvedas, sin recurrir a estructuras lineales, representa una extraordinaria lección de lectura de la evolución de la degradación estructural del edificio a lo largo del tiempo, así como una intervención ejemplar por su capacidad de acomodarse en esta historia progresiva de lesiones y deformaciones, diseñando un refuerzo añadido que cuenta de partida con la estructura histórica y sus refuerzos progresivos. Resulta igualmente interesante el análisis del daño que pueden provocar las intervenciones realizadas con hormigón armado sobre las estructuras históricas, entre otros motivos, por el gran peso añadido a la estructura.

*Texto original: italiano. Traducción al castellano: Fernando Vegas.
Traducción al inglés: Anna Zoltowska.



Keywords: restoration, architecture, structural consolidation

The structural consolidation work on Villa Poiana, a unique work by Palladio designed and built using solely vaults without resorting to linear structures, has given rise to an extraordinary interpretation of the evolution of the structural decay of the building over time. It is also a model intervention given its ability to adapt to this progressive history of lesions and deformation, designing added reinforcement based on the historic structure and its progressive reinforcements. The analysis of the damage that can be caused by interventions with reinforced concrete on historic structures is equally interesting due, among other reasons, to the great weight added to the structure.

*Original text: Italian. Spanish translation: Fernando Vegas.
English translation: Anna Zoltowska.

En el ámbito de la restauración, la consolidación se entiende como una parte necesaria, una práctica que se da casi por descontada. A menudo, esto lleva a considerarla como un mera “intervención técnica”, que responde a una lógica estructural autónoma, separada de los principios y del objetivo de la restauración y, en ocasiones, indiferente a la propia fábrica que va a ser consolidada. Sin embargo, pienso que en la restauración, la consolidación constituye una obra crucial y delicada, una obra que debe establecer una profunda relación con la construcción antigua, estudiándola ante todo como *organismo estructural*”. ¿Qué significa analizar una fábrica como *organismo estructural*? Varias cosas relacionadas entre sí.

En primer lugar, intentar comprender su *concepción estructural*, es decir el modo en que el proyecto original ha incluido en sí mismo y ha afrontado la cuestión de la *ratio firmitatis*, el principio de la solidez en el tiempo, y con qué métodos y dispositivos técnico-constructivos ha tratado de implementarlo en la construcción.

Asimismo significa comprender su *comportamiento en el tiempo*, precisamente a través de las patologías estructurales que manifiesta la fábrica, que representan su búsqueda de un nuevo equilibrio al mudar su equilibrio inicial, incluso a través de transformaciones en forma de lesiones y deformaciones. Estos fenómenos no constituyen únicamente *daños a reparar* y *debilidades a combatir* con la consolidación estructural, sino que son también el reflejo de

1. Villa Poiana, vista desde el oeste tras la restauración de los acabados externos.

1. Villa Poiana, view from the west following the restoration of exterior finishes.

In the field of restoration, consolidation is almost always assumed to be essential. This means it is often considered a mere “technical intervention”, a response to a structural logic that is independent from the restoration principles and objectives and at times, does not consider the construction to be consolidated. However, we believe that in restoration consolidation is essential and delicate, and should closely consider the original building, to be studied above all as a structural unit. What does the analysis of a building as a structural unit entail? It entails various interrelated considerations.

Firstly, attempting to understand the concept of the structure, that is, the way in which the original project has included and approached the issue of *ratio firmitatis*, the principle of solidity over time, and the technical and building methods and devices used to implement this in the process of construction.

It also means understanding its *behaviour over time* through the structural pathologies of the construction, in search of a new equilibrium after the transformation of the initial balance, even following transformations in the form of lesions or deformation.

As well as being *damage to be repaired* and *weaknesses to combat* in structural consolidations, these are also a reflection of the *structural personality* of the construction, of how it reacts and behaves. We cannot cure an illness –damage and pathology- by only applying general scientific principles. We should cure an individual for specific symptoms, strange changes and almost pathological evolutions over time.

It is essential to know both the interventions of the past, the *old consolidations*, and their consequences. Past structural consolidations could affect the subsequent behaviour of the construction, partly changing it, and this should be taken into account.

Degradation might have affected the structure of the building, reduced the

la *personalidad estructural* de la construcción, de su modo de reaccionar y de comportarse. No podemos curar una enfermedad –los daños y la patología– aplicando solo principios científicos generales, debemos curar a un individuo con características determinadas, que a lo largo del tiempo han experimentado cambios peculiares y evoluciones incluso patológicas.

Las intervenciones del pasado, o sea las *antiguas consolidaciones*, a menudo han producido consecuencias, y es necesario conocer tanto a unas como a las otras. Una consolidación estructural del pasado puede haber reconducido el comportamiento posterior de la fábrica en parte mutándolo, aspecto que hoy debemos tener en cuenta.

La *degradación* puede haber afectado a los principios estructurales de la construcción, reducido la resistencia del muro y la eficacia de las conexiones con la estructura lígnea. Además, la fábrica puede haber sufrido transformaciones en el tiempo, intensificación y aumento, reducción o modificación de carga, y todo esto supone con frecuencia una violación del principio estructural inicial reduciendo su eficiencia y, sobre todo, causando formas de *vulnerabilidad* más o menos acentuadas de la construcción, convertida ya en híbrida. La *vulnerabilidad* es un concepto aplicado sobre todo a los efectos de los terremotos sobre edificios existentes que equivale a la predisposición intrínseca de una construcción a ser dañada por una acción externa como un seísmo.

La consolidación estructural en la restauración requiere de una comprensión estructural detallada de la fábrica que se debe saber incardinar, sino con su

resistance of the wall and the efficiency of the connections with the wooden structure. The construction may also have undergone transformations over time, intensifying and increasing, reducing or modifying the load. All these often violate the initial structural principles, reducing efficiency and above all creating a greater or lesser degree of *vulnerability* in the construction, which has already become a hybrid. *Vulnerability* is a concept that is applied especially to the effects of earthquakes on buildings, the intrinsic predisposition of a building to damage from external actions such as earthquakes.

Structural consolidation in restoration requires a detailed structural understanding of the construction. This understanding should permanently include, if not its history as a whole, a specific historical interpretation showing the initial structural concept, construction principles and techniques, the behaviour and evolution of structural damages over time, past structural consolidations, interventions on degradation, forms of vulnerability ...

It is true that the history of the construction over time alone cannot be used as the basis for the structural consolidation project. The project should also be based on monitoring, material tests and resistance calculations. However, the history of the building also serves to analyse the construction as a structural element and should therefore be considered the context for any physical-mechanical study and numerical modelling. Structural consolidation will only become an essential component of the construction, in harmony with it, if it follows a path of historical knowledge partly parallel to and partly coinciding with the restoration.

historia en conjunto, sí con una lectura histórica especial que muestre la concepción estructural inicial, los principios y las técnicas constructivas, el comportamiento y la evolución de las lesiones estructurales a lo largo del tiempo, las consolidaciones estructurales del pasado, las intervenciones en la degradación, las formas de vulnerabilidad...

Cierto es que la historia de la fábrica a lo largo del tiempo no es suficiente para fundamentar el proyecto de consolidación estructural, que debe basarse también en monitorizaciones, pruebas de los materiales, cálculos de resistencia. Pero es un medio para conocer la fábrica como organismo estructural, y por tanto debe constituir el contexto de todo estudio físico-mecánico y modelización numérica. Solo si recorre un camino de conocimiento histórico en parte coincidente y en parte paralelo al de la restauración, la consolidación estructural entrará en sintonía y se constituirá en un componente esencial de la fábrica.

El objetivo de la consolidación en la restauración radica en no mudar radicalmente la relación entre configuración, constitución material y comportamiento estructural a lo largo del tiempo de la fábrica, considerado como un elemento de autenticidad peculiar a la misma. Debemos intentar reconducir el comportamiento modificándolo lo menos posible, paralizar la evolución patológica y reducir la vulnerabilidad, explotando dentro de lo posible los recursos que la fábrica todavía conserva y reparando e integrando los principios que por distintos motivos se hayan vuelto ineficaces o insuficientes. A continuación, presento el caso de la [Villa Poiana en Poiana Maggiore](#)

The aim of consolidation in restoration is not the drastic transformation of the interrelation in the building of configuration, material constitution and structural behaviour over time, which is considered a specifically authentic element of the construction. We should attempt to redirect behaviour with minimum modification, preventing the evolution of pathologies and reducing vulnerability, using the resources still present in the construction as much as possible and repairing and integrating principles which for different reasons have become inefficient and insufficient.

This study presents the case of [Villa Poiana in Poiana Maggiore \(Vicenza\), built by Andrea Palladio](#), where attempts have been made to closely associate historical-structural knowledge with the structural consolidation of the restoration. Villa Poiana suffers from complex structural pathologies, which seem to have developed over a lengthy period since the construction of the building. Let us first examine the structure of this famous building.

With the exception of the roof, there are no horizontal wooden structures in Villa Poiana¹. The fact that all the floors of the villa are supported solely by structural vaults and not wooden floors and ceilings highlights the uniqueness of the villa which represents not only construction and structural choice, but also specific architectural and symbolic aims. The exclusive use of vaulted structures to cover the cellars means that there are three levels of vertically superimposed vaults in the central area; four in fact, if we choose to include the vault in the attic area above the granary. In fact, the walls still show marks of the springing and the cornice surrounding a three-centred vault, which was



2

3a



(Vicenza), obra de Andrea Palladio, en la que se ha intentado poner en estrecha relación el conocimiento histórico-estructural y la consolidación estructural realizada en el ámbito de la restauración. La Villa Poiana está afectada por un complejo cuadro de patologías estructurales, que parecen haberse desarrollado en un largo periodo de tiempo, ya desde la construcción del edificio. Demos un primer vistazo a la disposición estructural de este célebre edificio.

A excepción de la cubierta, no existen en la Villa Poiana estructuras horizontales de madera¹. La constatación de que todas las plantas de la villa se sostienen solamente con bóvedas estructurales y no con forjados de madera, nos pone frente a una peculiaridad de la villa que representa no solo una elección constructiva y estructural, sino también una voluntad arquitectónica y simbólica precisa. El uso exclusivo de estructuras abovedadas como cubrimiento de las bodegas comporta en la zona central la presencia de tres niveles de bóvedas superpuestas en vertical; cuatro incluso, si incluimos la que creemos que existía en la buhardilla sobre la sala utilizada como granero: en efecto, sobre los muros se conservan las señales de la imposta y la cornisa perimetral de una bóveda carpanel, posteriormente demolida, entre otras cosas incompatible con la estructura actual de la cubierta. En todo caso, una cubierta abovedada en la buhardilla representaría una elección inusual, que podemos atribuir a la voluntad de exasperar el principio de construir únicamente espacios abovedados y no solo a razones funcionales o representativas. Pero la construcción solo con bóvedas, probablemente para evocar la

demolished and moreover, would have been incompatible with the current roof structure. In any case, a vaulted ceiling in the attic area would have been an unusual choice, perhaps more the result of a desire to build vaulted spaces, rather than that of the consideration of functional or representative aspects. But construction using only vaults, probably aiming to evoke the Antiquity (the Domus Aurea?) to a greater extent than in any other location, also represented the desire to go against the establishment in a surrounding such as Venice, disinclined to build vaults and even more reluctant to build them above the first floor. Palladio was clearly aware of the collapse of the Biblioteca Marciana on 18th December 1545, almost certainly associated to the upper vault built by Sansovino and the subsequent vicissitudes of the building² as the main part of Villa Poiana was built later, circa 1550³.

How did Palladio tackle the technical challenge of building using only structural vaults in Villa Poiana? It was indeed a challenge, especially given Palladio's determination not to use braces on the intrados of rooms whose outer walls are at greater risk of collapsing due to the slanting thrust from either barrel vaults or truncated trough vaults.

The restoration work completed by the Istituto Regionale per le Ville Venete over most of the phases of the last ten years⁴ has allowed us to directly observe the construction of the vaults, of the few braces originally installed to counter the thrust and the many braces added over time to combat instability. The latest intervention has contributed a new stratum to the previous ones.

Antigüedad (¿la Domus Aurea?) con mayor rigor y fuerza que en ningún otro lugar significó también una voluntad de ir a contracorriente en un entorno como el véneto, poco inclinado a construir bóvedas y todavía más reacio a construirlas por encima del primer nivel horizontal. El colapso de la Librería Marciana el 18 de diciembre de 1545, sin duda asociado a la bóveda que Sansovino había construido en el nivel más alto, y las vicisitudes sucesivas² debían ser bien conocidos por Palladio, ya que la construcción de la Villa Poiana es posterior y está erigida principalmente en torno a 1550³.

¿Cómo afrontó Palladio en la Villa Poiana el desafío técnico de construir solo con bóvedas estructurales? Porque de desafío se puede hablar, aún más comprometido por la renuncia de Palladio a colocar tirantes por el intradós en las estancias cuyos muros longitudinales confinantes con el exterior están más sujetos a vuelco por el empuje inclinado de las bóvedas esquinadas planas o las de cañón.

Los trabajos de restauración completados en la mayoría de fases en el último decenio por parte del Istituto Regionale per le Ville Venete⁴, han permitido la observación directa de la construcción de las bóvedas, de los (pocos) tirantes colocados en origen para contrarrestar el empuje y de los muchos que se han hecho necesarios sucesivamente en el tiempo para detener la inestabilidad. A esta larga secuencia ha contribuido también la última intervención, estratificándose junto a las anteriores.

Dejando a un lado los aspectos simbólicos y arquitectónicos que motivaron la elección inicial, este texto tratará de exponer algunas observaciones

Leaving aside the symbolic and architectural aspects which prompted the initial decision, this text will attempt to showcase some observations on the construction of the vaults based on our restoration of the stability of the structure. It also examines the responses required by the inadequate behaviour of the construction since it was built until the present.

There were not enough means to follow the original ambitious project for Villa Poiana exactly or immediately. The foundation walls were built gradually, often



3b



3c

2. Villa Poiana, vista desde el oeste tras la restauración de los acabados externos.

2. Villa Poiana, view from the west following the restoration of exterior finishes.

3a, 3b, 3c. Las tres estatuas en el frontón de la villa representan las tres Artes: la pintura, la escultura y la arquitectura que visiblemente sostiene en la mano un compás. Más escondido en el lateral, no visible desde la parte baja, el escudo con el que la Arquitectura se puede defender: tiene incisa la planta del Panteón, la mayor construcción de la Antigüedad con cúpula.

3a, 3b, 3c. Tre statue sul frontone della villa rappresentano le tre Arti: la Pittura, la Scultura e l'Architettura, che tiene ben visibile in mano un archipendolo. Più nascosto sul fianco, non visibile dal basso, lo scudo per con cui l'Architettura si può difendere: vi è incisa la pianta del Pantheon, la maggiore struttura coperta a volta dell'antichità.

4. Sección esquemática norte-sur de la villa. En la buhardilla se indica el trazado de la bóveda demolida deducible por la roza sobre los muros de apoyo.

4. North-south cross-section of the villa. The attic includes a sketch of the demolished vault, which can be made out from the marks on the support walls.



4



5



6a

6b



constructivas sobre las bóvedas que ha consentido nuestra restauración impelida por la inestabilidad estructural, y sobre las respuestas que el comportamiento no del todo favorable de la fábrica ha requerido desde la construcción hasta nuestros días.

La Villa Poiana no nace, como cabría esperar, con grandes medios y alardes constructivos a la altura de sus ambiciones. Los muros de cimentación están ejecutados sumariamente empleando a menudo ladrillos de recuperación o incluso fragmentos de los mismos, y están privados de zarpas que amplíen su base de apoyo, asentada a una profundidad muy modesta (-120 cm aproximadamente respecto a la cota del campo), si se considera que la cota de la planta de semisótano se ubica a -100 cm. Dada la naturaleza del terreno y la presencia de aguas subterráneas, esta elección conllevó desde el inicio llamativos asentamientos diferenciales verificados en el tiempo y nunca completamente estabilizados (fig. 5). Además, los muros de cimentación no se realizaron ni siquiera para sostener el vuelo limitado del pronaos central del frente oeste, que por tanto está colocado parcialmente en voladizo sobre el muro subyacente alineado a los muros laterales.

Probablemente también existe un resto preexistente construido en el muro norte que se extiende hasta incluir la esquina del frente principal oeste, frente en el que en las fotos antiguas aparece una pronunciada discontinuidad vertical. En este muro preexistente, el aparejo de los ladrillos observado en una pequeña

reusing bricks or even fragments of used bricks, and do not have additional footings to better support the already shallow base (-120 cm approximately below ground level), especially noting that the cellar floor is at -100 cm. Given the nature of the terrain and the existence of underground water, from the start this choice led to striking variations in subsidence that were checked over time but never completely stabilised (see photograph). In addition, the foundation walls of the west façade as executed were not able to sustain the limited cantilever of the central narthex, which therefore also partly overhangs the wall underneath. There are also probably pre-existing remains built into the north wall and running along to the corner of the main west façade. In older photographs it is possible to observe a distinct vertical break in this façade. In this wall, the brickwork observed in a small area inside the spandrel of a vault between the cellar floor and the main floor appears more carefully executed than in other walls and shows traces of the original brick line, that is, the peg holes for the string lines of an earlier construction.

The cellar floor is covered by three-centred vaults with lunettes above doors and windows, and supported on internal and perimeter walls, which take the weight of the thrust. A segmental brick vault supports the stairs to the loggia, with an unusual construction using reed mat falsework, whose imprint can still be seen on the rendering of the intrados. The highly irregular shape of the vault suggests that it was a pile of earth rather than a wooden falsework which was used to hold the reeds up during construction, and that this was then removed once the mortar had set.

zona en el interior de la enjuta de una bóveda entre la planta de semisótano y la planta noble aparece más cuidado que en otros muros y presenta testimonios del trazado de las hiladas, a saber, los orificios de clavijas para los cordeles de replanteo, que remitirían a una construcción más antigua.

La planta de semisótano está cubierta por bóvedas carpanel con lunetos sobre puertas y ventanas que apoyan sobre los muros internos y sobre los muros perimetrales que reciben el empuje. Una bóveda rebajada de ladrillo sostiene la escalera de acceso a la logia, y presenta la peculiaridad de haber sido construida sobre cimbras formadas por esteras de cañas, de las que permanece la impronta en el enlucido del intradós (fig. 6a). La disposición geométrica de la bóveda es muy irregular, y sugiere la hipótesis de que para sostener las cañas durante la construcción no fuesen usuales cimbras de madera, sino el propio terreno, apilado en el interior y posteriormente eliminado al fraguar el mortero.

Las bóvedas de la planta noble presentan geometrías más elaboradas. Son de cañón en la sala central y camarines del entresuelo; de cañón con crucero central en la logia, esquifadas planas sobre planta rectangular las bóvedas opuestas al suroeste -la Sala de los Emperadores- y en el noroeste; y de rincón de claustro con lunetos dobles en las esquinas las dos bóvedas del noreste y sureste, aunque poseen un panel decorativo en la clave del intradós que las hace parecer constructivamente bóvedas esquifadas planas sobre planta cuadrada. También están cubiertas por bóvedas las escaleras de caracol, y las

The shapes of the vaults on the main floor are more elaborate. There are barrel vaults in the central hall and the side rooms of the mezzanine floor; barrel vaults with central transept in the loggia; the vaults facing the southwest and in the northwest were truncated trough vaults -the Hall of Emperors-; and the vaults on the corners of the two northeast and southeast were domical vaults with double lunettes, although a decorative panel on the keystone of the intrados makes these appear to be truncated domical vaults. The spiral staircase and the rooms of the mezzanine floor are also vaulted. The thrust of each of these and the way in which the building counters them is therefore very different, with variations relating to the internal or perimetral position in the villa.

All the vaults observed, including that to the northwest between the cellar floor and main floor, were built with rowlock, with an extrados reinforced with ribs one and a half bricks thick every one and a half meters approximately and with ribs two bricks thick at the intersection of the crossing vaults.

The barrel vaults in the central hall and rooms did not require consolidation and therefore the extrados was not uncovered or observed as in the case of most of the vaults of the cellar floor and the main floor.

At the time of construction, when Palladio was still living, only four braces were incorporated into this entire vault system, whose instability is due to insufficient support from the foundations. There are two pairs of braces of two bars hooked on at the centre, located on the extrados of the truncated trough vault in the Hall of Emperors and the corresponding northwest vault.



6c

5. Lesiones y deformaciones del muro debidas al asentamiento macroscópico de la cimentación bajo la ventana de la bodega en la fachada este, junto a la esquina sureste. Esta y otras lesiones similares, solo reconocibles en parte sobre las superficies por la reparación de los enlucidos, han tenido un rol de catalizador y amplificador de patologías debidas al empuje de las bóvedas.

5. Lesions and deformations on the wall caused by the macroscopic subsidence of the foundations below the east façade cellar window, next to the southeast corner. This and other similar lesions, only partly visible on the surface due to repairs on the rendering, have acted as catalysts, worsening pathologies caused by the thrust of the vaults.

6a. La bóveda de apoyo del escalón externo de acceso a la logia, construida sobre esteras de cañizo sostenidas por el terreno y posteriormente eliminadas.

6a. The support vault of the outer access to the loggia, built on reed mats on the ground which were subsequently eliminated.

6b. Bóveda de cañón de la sala central.

6b. Barrel vault of the central hall.

6c. La bóveda de cañón con crucería central del camarino.

6c. Barrel vault with transept in the chamber.

habitaciones del entresuelo. El empuje de cada una de las bóvedas y la forma de contrarrestarlo por parte del edificio es por tanto muy distinto y, sobre todo, diverso en relación a su posición interna o perimetral en la villa.

Todas las bóvedas observadas, incluida la noroeste entre la planta semisótano y la planta noble, están construidas con una rosca de ladrillo de medio pie, reforzada por el extradós con nervaduras de un pie de ladrillo ubicadas cada metro y medio aproximadamente, y con nervaduras de pie y medio o dos pies en la intersección de los casquetes o las bóvedas secantes.

Las bóvedas de cañón de la sala central y de las habitaciones no necesitaban intervenciones de consolidación, y por tanto no ha sido destapado ni observado el extradós como en cambio se ha hecho en la mayor parte de las bóvedas del semisótano y la planta noble. En todo este sistema de bóvedas, inestable debido a un apoyo de cimentación ciertamente desfavorable, los tirantes colocados en el momento de la construcción, cuando Palladio estaba todavía vivo, resultan ser solo cuatro. Se trata de dos parejas de tirantes de dos barras engarfiadas en el centro, ubicados en el extradós de la bóveda esquinada plana de la Sala de los Emperadores y de su bóveda gemela a noroeste.

La afirmación de que se trata de tirantes colocados en obra desde el origen se basa en el hecho de que, en ambos extremos, la barra tope del cabezal del tirante al exterior, insertada parcialmente en el muro, está cubierta por el primer enlucido de sillería almohadillada fingida. Este enlucido resulta cubierto a su vez por el estrato de enlucido afrescado del arco central de la loggia, fresco que

The statement that these braces were placed in the construction initially is based on the fact that at both ends the endbar of the head of the brace on the outside, partially inserted in the wall, is covered by the first rendering imitating rusticated ashlar. This rendering is subsequently then covered by the frescoed rendering of the central arch of the loggia. This interior fresco covers the interior of the oculi cut out in the serlian façade⁵. Therefore, the heads of the braces in the Hall of Emperors predate the rendering of the south façade, which in turn is older than the frescoes in the loggia. The same cannot be said of the north façade, where the rendering has been replaced repeatedly.

Once the brick tiles and the filling of the extradós were dismantled⁶, the vault in the Hall of Emperors, the identical vault in the northwest and the parts covered with barrel vaults in the loggia reveal a complex reinforcement system superimposed on the main structure and composed of half-brick rowlock segmental arches. The diaphragm walls of the construction, built around the perimeter to a certain height on the extradós, are generally built on the ribs. This type of structure is rare in the Veneto region, although it is common in Lombardy⁷.

The vault of the Hall of Emperors is a trough vault approximately 6 x10 m, truncated by a central relief of half-brick rowlock that is clearly visible both on the extradós and on the ribs.

An examination of the extradós of this structure allowed the identification



tapa por el interior los óculos marcados en la serliana del frente⁵. Por tanto, los cabezales de los tirantes de la sala de los Emperadores son más antiguos que el enlucido del frente sur, que a su vez es más antiguo que los frescos de la loggia. En el norte, donde el enlucido ha sido sustituido repetidamente, no es posible hacer una consideración análoga.

Desmontadas las rasillas cerámicas y el relleno del extradós⁶, la bóveda que cubre de la Sala de los Emperadores, la idéntica situada en el noroeste y las partes cubiertas con bóveda de cañón sobre la loggia presentan un complejo sistema de refuerzo superpuesto a la estructura principal, formado por bovedillas rebajadas de una rosca de ladrillo de medio pie. Los frenillos de fábrica, contruados en el perímetro a modo de crestas de altura limitada en el extradós, se yerguen generalmente sobre las nervaduras. Es un tipo de estructura rara en la región del Véneto, que sin embargo es habitual en Lombardía⁷.

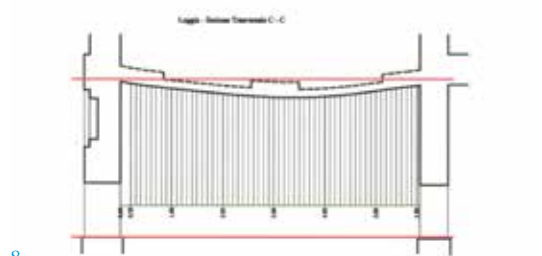
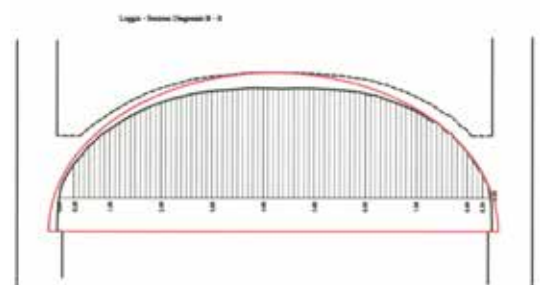
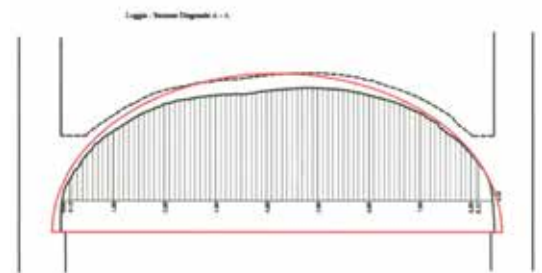
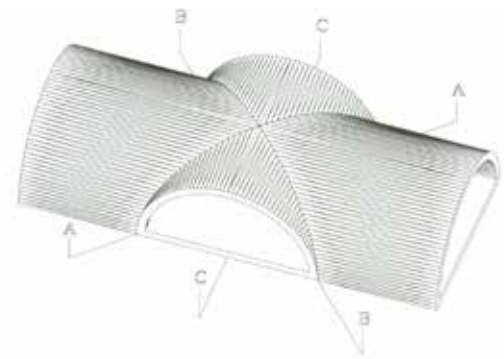
La bóveda de la Sala de los Emperadores es esquifada plana sobre planta rectangular de aproximadamente 6 x10 metros, con el plano secante central formado por un pequeño resalto de la rosca de ladrillos de medio pie que se reconoce perfectamente en el extradós y se repercute también en las nervaduras del trasdós.

La observación de esta estructura por el extradós ha permitido reconocer y examinar la pareja de tirantes antiguos presentes en la obra, de hierro forjado, formados por dos barras no alineadas en el mismo eje horizontal, sino dispuestas en rasante levemente apuntada, para unirse engarfiadas en

and analysis of the original pair of wrought iron braces in the construction, consisting of two hooked bars which are not on the same horizontal axis, but are rather slightly sloping and resting on the vertex in the centre of the vault. As stated earlier, these date back to the first phase of construction. The superimposed vaulting of the extradós has gradually surrounded them, which means that these braces must have been inserted at the same time or earlier. The aim of these two braces, originally included in the construction, is to contain the thrust of the truncated trough vault of the Hall of Emperors on the longitudinal outer wall, obviously identified from the start as the most vulnerable to the effects of load. These observations are also applicable to the equivalent northwest vault, where there is a similar pair of braces. The mechanical performance of these braces will be examined at a later point in the text.

An 18th-century engineer wrote that "in vaults weight never sleeps"⁸, and the image of its thrust, like a sleepless ectoplasm pushing the walls day and night, is an especially apt description of the condition of Villa Poiana. From its construction until now, the dangerous mesh of damage in the foundations and the out-of-plumb deformations as a result of the thrusts from the vaults, only partly countered, has required repeated interventions and remedies which have literally been layered one over another and which we have been able to identify and document.

The southeast corner, damaged also to the east by the noticeable



8

7. Vista del crucero central de la bóveda de la loggia, en fase de restauración (1997). Se observa la depresión macroscópica a la altura del crucero central y el cedimiento y las deformaciones de la parte en bóveda de cañón, medibles confrontándolos con el arco presente en el luneto del fondo.

7. View of the central transept of the loggia vault during restoration (1997). It is possible to observe the macroscopic lowering at the central transept, and the sag and deformations in the barrel vault section, which can be measured by contrasting them with the current arch at the end lunette.

8. Gráfico con la medida de la deformación del crucero central de la bóveda de la loggia.

8. Graph showing the extent of deformation of the central transept of the loggia vault.

un vértice ubicado en el centro de la bóveda, tirantes que pertenecen como hemos señalado a la primera fase constructiva. Las bovedillas superpuestas del extradós han ido englobándolos, razón por la cual los tirantes se deben haber insertado previamente o al mismo tiempo que aquellas. El objetivo de estos dos tirantes puestos originalmente en obra es la contención del empuje de la bóveda esquinada plana de la Sala de los Emperadores sobre el muro sur longitudinal externo, evidentemente identificado desde un principio como el más expuesto a las consecuencias de la carga. Estas consideraciones sirven también para la bóveda especular del noroeste, en la que existe una pareja de tirantes análogos. El funcionamiento mecánico de estos tirantes se tratará más adelante en el texto.

Un ingeniero del siglo XVIII escribió que “en las bóvedas el peso nunca duerme”⁸, y la imagen de su empuje, a modo de un ectoplasma insomne que empuja día y noche los muros, es especialmente eficaz para describir la condición de la Villa Poiana. Desde el momento de la construcción hasta la actualidad, la peligrosa trama de daños en la cimentación y de deformaciones fuera de plano inducidas por los empujes de las bóvedas, solo en parte contrarrestados, ha requerido de forma reiterada intervenciones y remedios literalmente estratificados unos sobre otros que hemos podido reconocer y documentar.

La esquina sureste, dañada también hacia el este por un vistoso asentamiento de la cimentación, fue objeto de una primera intervención que afectó a la continuidad de los muros. Se insertó una pareja de tirantes de estructura mixta

subsidence of the foundations was subjected to a first intervention which caused breaks in the walls. A pair of mixed-structure braces (wood in the centre and metal in the sections which go through the walls) was diagonally inserted, slightly cutting on the extrados of the domical vault with lunettes at the corners.

I believe that in the 18th century a second group of braces was introduced in the extrados of the south and north vaults, also aiming to contain the shifting of the corners. These wrought iron braces with external heads composed of superimposed plates strengthened with metal rivets affected the oldest rendering of the south and west façades, as well as the most recent one of the east façade. In the southeast room the wood of the previous diagonal braces was also affected. The placement of the head of the brace on the thinner internal walls caused a sideways shift, an effect which is also detected in the head of the braces installed by Palladio next to the stairwell.

This phenomenon led to a 4-5 cm shift to the side in the walls affected and is the result of the faulty performance of the braces of the extrados, which are unable to counter the pressure of the thrust of the vault but instead lay higher up, thus generating a couple of forces. Therefore, this is not a closed system like that of the correctly placed braces on the intrados where the thrust on the haunches of the vault is transmitted through the wall to an external head which transforms it into interior and exterior counterforces, ensuring the vault is not deformed but maintains the optimum load equilibrium⁹.

9. Vista del extradós de la bóveda de la loggia con las nervaduras superiores durante los trabajos de consolidación. Además de las notables deformaciones y cedimientos, se observa en un primer plano un tirante metálico que constituye el elemento superior de una de las dos parejas de tirantes, cada una de ellas retenida por un solo cabezal externo, insertadas entre los siglos XVII y XVIII para contener los empujes de la bóveda, con la consecuente inclinación de la fachada y deformación de la bóveda.

9. View of the extrados of the vault in the loggia with upper ribs during consolidation work. As well as the notable deformation and sagging, in the foreground it is possible to observe the upper metal brace of one of the two pairs of braces, each held by a single external head and installed between the 17th and 18th century to contain the thrust of the vault. This subsequently caused the façade to lean and deformed the vault.

(de madera en la parte central y metal en las zonas que atraviesan los muros) en diagonal, incidiendo por el extradós de la bóveda de rincón de claustro con lunetos en las esquinas.

Estimo que en el siglo XVIII se introdujo un segundo grupo de tirantes sobre el extradós de las bóvedas a sur y norte también con el objetivo de contener el desplazamiento de las esquinas. Estos tirantes de forja con cabezal externo formados por pletinas superpuestas solidarizadas con remaches de forja incidieron en el enlucido más antiguo de los frentes sur y oeste, pero también en el más reciente del frente este. En la estancia sureste inciden también en la madera de los tirantes diagonales previos. La colocación del cabezal del tirante sobre los muros internos más delgados provocó su traslación lateral, efecto que se detecta también en el cabezal de los tirantes de Palladio junto al rellano de la escalera.

Este fenómeno, que ha inducido una traslación lateral de 4-5 cm en los muros afectados, es atribuible al funcionamiento de por sí imperfecto de los tirantes del extradós, que no contrarrestan la línea de presiones del empuje de la bóveda, sino que se aplican mucho más arriba, generando de este modo un par de fuerzas. Por tanto, no se trata de un sistema cerrado, como en el caso de tirantes en el intradós correctamente dispuestos en los que el empuje en los riñones de la bóveda se transmite a través del muro a un cabezal externo que lo traduce en tracción contrapuesta, interior y exterior, permitiendo que la bóveda no se deforme y mantenga el equilibrio óptimo de carga⁹.

The orthogonal walls in Villa Poiana prevent the shift of the interior supporting wall, while resisting the thrust of the vault in the hall. On the opposite side the vault pushes out the wall which here has no way to oppose resistance, deforming both wall and vault. The highest brace head partly opposes this shift of the wall and vault by transmitting stress through the brace to the head and interior wall. However, since this is not countered by the support of the vault below, the wall is literally dragged over the vault and becomes detached from the interior orthogonal walls with macroscopic lesions. In addition, the sloping braces in Villa Poiana place a point load on the keystone which increases together with the deformation of the vault.

As can be observed, the fissures and deformations of Villa Poiana are strangely complex and could not have been interpreted without knowledge of its built history and the various interventions over time designed to fix the structural pathologies, but which have gradually redirected the behaviour of the construction and often caused later pathologies¹⁰.

It seems that the 18th-century intervention¹¹ also included a desperate attempt to counter the dangerous lowering and deformation of the vault of the loggia as well as significant outward movement of the main west façade caused initially by the uncountered thrust of the vault. In 1997 this movement equalled approximately 8 cm at the base of the tympanum¹². The 18th-century consolidation inserted six braces between the façade and the interior wall in the loggia, the hall and the stairwells. Two braces were inserted beside the

9





10

En la Villa Poiana los muros ortogonales impiden en el interior el desplazamiento del muro de apoyo y contrarrestan el empuje de la bóveda de la sala. Sobre el lado opuesto, la bóveda empuja hacia el exterior el muro que aquí se encuentra sin oposición de resistencia, deformándolo y deformándose a sí misma. A este desplazamiento del muro y de la bóveda se opone parcialmente el cabezal más alto, que transfiere el esfuerzo a través del tirante al cabezal y al muro interno; pero este, sin ser contrarrestado por el apoyo de la bóveda que está en una cota inferior se ve literalmente arrastrado sobre la bóveda, separándose con lesiones macroscópicas de los muros ortogonales internos. A esto se añade que los tirantes en rasante apuntada de la Villa Poiana aplican sobre la clave una sollicitación en forma de carga puntual que aumenta con el crecimiento de la deformación de la bóveda.



11

Como se puede comprender, el cuadro fisurativo y deformativo de la Villa Poiana posee una extraña complejidad que no habría sido posible interpretar sin el conocimiento de su historia construida y las intervenciones para contrarrestar las patologías estructurales acaecidas a lo largo del tiempo, que poco a poco han reconducido el comportamiento de la fábrica y, a menudo, inducido ulteriores patologías¹⁰.

Parece que en la intervención del siglo XVIII¹¹, también se puede incluir la desesperada acción para contrarrestar tanto el peligroso descendimiento y la deformación de la bóveda de la loggia como el significativo desplome hacia el exterior de la fachada principal a oeste inducido desde un principio por el empuje no contrarrestado de la bóveda, desplome que en 1997 era de



12

lower cornices around the large frescoed lunettes of the barrel vault on the south and north walls. Another two pairs of superimposed braces on different levels were placed in the extrados under the attic floor and in the intrados (the first braces in the villa to be left in full view), and were tied to the outside using a single large vertical head consisting of a bar of approximately 2 m, set into the wall. The repairs to old rendering to cover the long head can be seen in the early 20th-century photographs. It should be noted that no braces were originally placed to counter the thrust of the loggia vault, perhaps expecting that the greater load of the supported tympanum would suffice to stabilise the wall.

Another brace was subsequently installed with a head made from a window metal grid in the centre of the façade, above the arched surround of the oculi, attesting to the fact that structural pathologies continued in that area even after the 18th-century intervention.

An 18th-century brace over the northwest truncated trough vault on the main façade has a unique variation to counter the serious external damage at the window lintel caused by the thrust of the vault over the shortest side. However, this damage was probably also caused by the diverse subsidence of the foundations of the villa from that of the oldest pre-existing corner. The brace of the extrados parallel to the north-south walls was soldered

aproximadamente 8 cm en la base del tímpano¹². La consolidación realizada en el siglo XVIII contempló la inserción de seis tirantes entre la fachada y el muro interno existente en la logia, la sala y los vanos de las escaleras. Dos tirantes se insertaron junto a las cornisas inferiores que delimitan los grandes lunetos afrescados de la bóveda de cañón sobre los muros a sur y norte. Otras dos parejas de tirantes superpuestos a distinta cota se ubicaron en el extradós bajo el pavimento de la buhardilla y en el intradós (los primeros tirantes que se dejaban a la vista en la villa), y se enhebraron al exterior con un único y largo cabezal dispuesto en vertical formado por una barra de unos 2 m, alojado en una roza practicada en el muro. La reparación del enlucido antiguo para cubrir el largo cabezal es visible en las fotos de principios del siglo XX. Se desea recalcar que en origen no se colocó ningún tirante para contrarrestar el empuje de la bóveda de la logia, quizás confiando en que la mayor carga del tímpano suprayacente fuese suficiente para estabilizar el muro.

Posteriormente, se colocó otro tirante aproximativo con su cabezal formado por el barrote de una reja en el centro de la fachada, sobre la faja arqueada de los óculos, dando testimonio de que las patologías estructurales han proseguido en esa zona incluso tras la intervención del siglo XVIII.

Un tirante del siglo XVIII sobre la bóveda esquinada plana sobre planta rectangular del noroeste en la fachada principal presenta una variación singular, realizada para contrarrestar la grave lesión externa a la altura del dintel de la ventana debida al empuje de la bóveda sobre el lado más corto (aunque también, probablemente, al asentamiento diferencial de la cimentación de la villa respecto

10. La unión central de uno de los cuatro tirantes en el trasdós colocados durante las obras de construcción de la villa, encima de la bóveda de la Sala de los Emperadores.

10. The central union of one of the four braces installed on the extrados during the construction of the villa, above the vault of the Hall of Emperors.

11. Al comparar la geometría regular del luneto pintado en el lado lateral de la logia con la línea de tendencia de la bóveda de cañón se puede medir el descenso en la clave y la deformación más marcada hacia la fachada, a la derecha de la foto. Véase como las franjas pintadas más externas han sido adaptadas para enmascarar la deformación.

11. When comparing the regular geometry of the painted lunette on the side of the loggia with the directrix of the barrel vault it is possible to measure the lowering of the keystone and the more pronounced distortion towards the façade, on the right of the photograph. See how the outer painted strips have been adapted to mask the deformation.

12. En la fotografía de mediados del siglo XX se observan las trazas más oscuras compuestas por los enlucidos aplicados para cubrir los tirantes del siglo XVIII y posteriores.

12. This photograph from the mid 20th century shows the darker outlines made up of the renderings incorporated to cover the braces from the mid 18th century and later.

13. La gran lesión de la esquina noroeste sacada a la luz tras la limpieza y restauración de los revestimientos con fingidos almohadillados del siglo XVI.

13. The major lesion of the northwest corner, revealed following the cleaning and restoration and coatings with 16th-century imitation reliefs.

with lead to a 150-200 kg stone ashlar resting on the diaphragm wall of the vault. It is a voussoir taken from a large Gothic arch with a saw-tooth moulding carved on the face resting on the vault, to which a secondary orthogonal brace with its head on the west outer wall was also soldered with lead. The purpose appears to have been to retain any shifting on the plane of the façade wall. With this central weight, the main brace acts as a catenary, contributing to dragging the interior wall sideways. There are also other more recent types of brace systems in the villa, although their layout, parallel to central or façade walls, has not been completely identified. It is especially worth noting the corner braces using thick rods threaded at the ends, joined to the head with nuts. The construction technique suggests they date back to the early 20th century and they run along the interior of the cornice on the springing of the vault, concealed under rendering or frescoes.

In addition to the secondary retaining brace in the stone ashlar, all the elements placed in the vaults, except the first four placed by Palladio, were designed to contain the corners, although these corners are the least in need of this and are better able to withstand stress thanks to their built shape. However, longitudinal walls, more liable to suffer from outward deformation as a result of thrust, were neglected. It is not clear

13



14. El tirante del siglo XVIII colocado en el extradós de la bóveda en la esquina noroeste, anclado al gran sillar de piedra desde el que sale el tirante ortogonal que intenta contrarrestar el empuje de la fachada oeste, claramente visible en separación de las bóvedas del muro.

14. The 18th-century brace on the extradados of the vault on the northwest corner, anchored to the large ashlar from which the orthogonal brace attempts to counteract the thrust of the west façade, clearly observed in the separation of the vaults from the wall.

15. La gran lesión en la esquina sureste, hacia el este, no se debe tal y como podría parecer a la rotación de la esquina, que es detenida por las vigas del techo y por los tirantes del siglo XVIII, sino por el desplazamiento hacia el exterior de la fachada por el empuje de la bóveda de rincón de claustro.

15. The major lesion on the southeast corner, towards the east, is due to the outwards movement of the façade due to the thrust of the cloister vault, and not - as might be assumed - to the rotation of the corner, supported by the ceiling beams and the 18th-century braces.



14

a la esquina preexistente más antigua). Al tirante del extradós que discurre en paralelo al muro de norte a sur se unió con plomo vertido un sillar de piedra del 150-200 kg de peso, apoyado sobre el frenillo de la bóveda. Se trata de una dovela expoliada de un gran arco gótico perfilado con denticulos y labrado en la cara apoyada sobre la bóveda, al cual se insertó también con plomo derretido un tirante ortogonal secundario, con su cabezal colocado en el muro oeste. El propósito parece haber sido contener el desplazamiento fuera del plano del muro de la fachada. Con este peso central, el tirante principal asume un perfil de catenaria, contribuyendo a arrastrar lateralmente el muro interno en el que se aplica. En la villa existen también otros tipos de atirantamiento realizados en un pasado más reciente, cuyo trazado, paralelo a los muros centrales o de fachada, no ha sido identificado por completo. En especial, se deben destacar los tirantes de esquina de barras redondas roscadas en los extremos, de sección notable, aplicados al cabezal con tuercas, que parecen ser de inicios del siglo XX por su técnica constructiva, y discurren por el interior sobre la cornisa en la imposta de la bóveda, enmascarados por el enlucido o los frescos.

A parte del tirante secundario de contención insertado en el sillar de piedra, todos los elementos colocados en las bóvedas, excluyendo solo los cuatro primeros colocados en la obra palladiana, se fueron destinando a la contención de las esquinas que, sin embargo, constituyen las partes menos solicitadas y en mayor grado de defenderse por sí solas gracias a su forma en este sistema abovedado; y, sin embargo, descuidaron los muros longitudinales, sujetos a

if this was the result of a technical misunderstanding or the refusal to apply a brace on the intrados, the only remedy capable of countering the thrust of the trough vault on the outer longitudinal walls.

Despite the thrust of ridge beams of the roof, the corners have remained stable, while the south and north walls and part of the east and west façade walls on the shorter sides of the trough vault have continued to suffer deformation, causing pronounced vertical or inclined cracks at the corners.

The structural thrust in longitudinal walls to the south and north, countered over time only by the original braces on the extradados, has clearly been constant and progressive, judging by the fissures and deformations¹³. Alongside the presence of the top chord and the bottom chord tie of the roof truss, the placement of the 18th-century corner braces contributed to the formation of inclined cracks, open on the interior and closed on the exterior, at the point at which the brace acted. In short, while the shift of the corners was being countered, no solutions were applied to the adjoining walls. In all the interior corners of the attic, pairs of inclined lesions relating to this phenomenon appear, less noticeable in the northeast corner where the adjoining construction has rendered a brace to retain the thrust unnecessary.

It should be noted that it has only been possible to formulate this mechanical interpretation by associating the combined analysis of the fissures and deformation with the presence of braces hidden by the flooring. Initially,

empujes fuera del plano capaces de deformarlos. No sabemos si esto se debió a un malentendido técnico o al rechazo de aplicar el único remedio capaz de contrarrestar el empuje de la bóveda esquifada sobre los muros longitudinales externos, o sea un tirante por el intradós.

A pesar del empuje de las vigas en limatesa de la cubierta, las esquinas han permanecido sustancialmente estables, mientras que los muros sur y norte, y en parte los muros de fachada a este y a oeste en los lados más cortos de la bóveda esquifada, han continuado deformándose formando con las esquinas marcadas grietas verticales o inclinadas.

El empuje estructural en los muros longitudinales a sur y norte, contrarrestado a lo largo del tiempo solo por los tirantes iniciales en el extradós, ha sido claramente constante y progresivo a juzgar por el cuadro fisurativo y deformativo¹³. La disposición de los tirantes de esquina del siglo XVIII acentuó en combinación con la presencia del par y el tirante de la cercha de cubierta la formación de grietas inclinadas, abiertas por el interior y cerradas por el exterior, en el punto en el que el tirante ejercitaba su acción: en definitiva, mientras se contrarrestaba el desplazamiento de las esquinas, no se ponía remedio a los muros contiguos. En todas las esquinas del interior de la buhardilla se observan las parejas de lesiones inclinadas relacionadas con este fenómeno, menos acentuado en la esquina noreste, donde la existencia del cuerpo de fábrica adyacente ha vuelto innecesario el tirante que contenga el empuje.

the damage in the corner was incorrectly identified as the effect of the overturning thrust on the corner caused by the thrust of the roof, although in light of the subsequent interpretations, the corners constitute the only relatively stable parts within a completely deformed area.

These structural pathologies had partly appeared earlier and were partly the result of some of the interventions which tended to redirect them. Therefore it is possible to reconstruct the history of their behaviour in relation with the systems implemented over time. However, it is not possible to interpret the history or behaviour correctly without considering the effect of every intervention on the construction's equilibrium at the time. It became necessary to replace the usual synchronic, current or timeless vision of the structural pathologies in Villa Poiana with a progressive and diachronic view, informed by the means gradually used to remedy or counter these pathologies.

Our restoration intervention attempted to take this into account by inserting an additional stratum of braces and actions to be added to the earlier ones, which were kept. The fact that two of the most damaged vaults, the loggia and the Hall of Emperors, had frescoes on the intrados, and superimposed vaulting covering the extrados, meant that interventions using reinforcements in concrete, carbon fibre or resin were never even considered.

Even within a global vision, each vault has required planned interventions which carefully took into account their configuration, operative conditioning factors (frescoes or vaulting), pathologies and existing containment solutions.

15





16



17



18

Es un dato a resaltar que solo se ha podido formular esta interpretación mecánica asociando el análisis combinado del cuadro fisurativo y deformativo a la presencia de tirantes escondidos bajo el pavimento: en un primer momento las lesiones de esquina se habían interpretado erróneamente como efecto del empuje a vuelco de la esquina debida al empuje de cubierta, mientras que a la luz de la interpretación sucesiva las esquinas constituyen por el contrario las únicas partes relativamente estables dentro de un contexto que se ha deformado completamente.

Las patologías estructurales, en parte existían previamente y en parte se desencadenaron tras alguna de las intervenciones que las fueron a su vez reconduciendo. Se puede, por tanto, intentar reconstruir la historia de su comportamiento en relación con los dispositivos introducidos a lo largo del tiempo; pero ni la historia ni el comportamiento son correctamente interpretables si no se tiene en cuenta el efecto de cada intervención sobre el equilibrio que la construcción tenía en ese preciso momento. Se vuelve necesario sustituir la habitual visión sincrónica, actual o atemporal de las patologías estructurales en la Villa Poiana por una visión diacrónica y progresiva, tejida con los medios utilizados paulatinamente para remediarlas o contrarrestarlas.

Nuestra intervención de restauración ha intentado tener en cuenta esto, insertando un estrato más de tirantes y de acciones a sumar a las precedentes, que se han mantenido en obra. El hecho de que dos de las bóvedas mayormente afectadas, la de la loggia y la de la Sala de los Emperadores, estuviesen pintadas

There were five main problems and interventions:

- Loggia vault, with particular reference to the central transept
- Truncated trough vaults in the Hall of Emperors and the equivalent northeast hall.
- Domical vault in the southeast of the villa
- Three-centred vaults on the north, west and south sides of the cellars on the same cellar floor.
- Vault to the northwest of the cellars on the cellar floor, whose instability required a later and more radical intervention.

VAULT OF THE LOGGIA

The vault with frescoes in the loggia, seriously deformed and with approximately 30 cm of sag in the central cross-section, was supported with a delicate falsework on the intrados. After dismantling the floor, eliminating filling materials and cleaning the extrados and cracks using compressed air, the cracks were compacted injecting hydraulic lime mortar free of salt and low in water. The cross-section was then reinforced superimposing new solid brick ribs in different thicknesses to the ribs of the extrados, damaged and with inverted curves in places, in order to reconstruct the initial curves. New and old arches were combined using stainless steel threaded rods suspended from an upper metal support of perforated L-shaped falsework. The structure of the vault thus recovered its function, while the superimposed support was

con frescos por el intradós, e “incrustadas” de bovedillas encaballadas por el extradós, ha llevado a excluir de entrada, incluso si se hubieran llegado a contemplar remotamente, tanto intervenciones con encamisados de hormigón como con fibras de carbono y resinas.

Incluso dentro de una visión de conjunto, cada bóveda ha requerido intervenciones proyectadas que tuvieran en cuenta de forma atenta su configuración, condicionantes operativos (como los frescos o las bovedillas), patologías y remedios de contención ya presentes. Las situaciones afrontadas y respectivos tipos de intervención, son sustancialmente cinco:

- Bóveda de la logia, con particular referencia al crucero central
- Bóveda esquifadas planas sobre planta rectangular de la Sala de los Emperadores y de la sala simétrica a noroeste.
- Bóveda de rincón de claustro al sureste de la villa
- Bóveda carpanel de los lados norte, oeste, y sur de la planta de las bodegas del semisótano.
- Bóveda a noroeste de la planta de bodegas del semisótano, cuya inestabilidad ha provocado una ulterior intervención más radical.

BÓVEDA DE LA LOGIA

La bóveda afrescada de la logia, gravemente deformada y con un cedimiento de cerca de 30 cm en la parte central con crucero, se ha sostenido con una delicada cimbra construida por el intradós. Tras el desmontaje del

designed to endure loads only in the case of later deformations. The brick paving, which rested directly on the vault, has been replaced on a self-bearing floor, with main elements in laminate wood acting as braces/struts for the wall on the vault extrados. Along with the flooring it also braces the façade gable and the rest of the villa. The efficiency of the existing older braces was also controlled.

VAULTING OF THE HALL OF EMPERORS AND THE NORTHWEST HALL

In the Hall of Emperors the accumulated structural pathologies in combination with the conditioning operating factors of the intrados (frescoes) and the extrados (the superimposed vaulting) allowed no alternative to the installation of two braces exposed on the intrados. Their purpose is to counter the thrust of the trough vault which could no longer be withstood by the seriously deformed south wall, especially in the central area between two windows (see photographs). One of the two braces continues through the staircase, close to the wall at the end of the room above the cornice and after approximately 27 metres it counters the thrust of the symmetrical north vault. Even though it is only a single brace, the continuity aimed to counter the phenomenon described earlier, the dragging at the top of the interior walls, caused by all the braces of the extrados, including the original ones. An additional mesh of braces was added to the extrados between the walls, using diagonal elements to counter the central shift of the outer walls. A perimeter



19

16, 17, 18. Fases de consolidación del crucero central de la bóveda de la logia, con la puesta en obra de los tutores metálicos distanciados de las nervaduras de ladrillo (foto 10), conexión con varillas solo suspendidas entre el perfil metálico y la nervadura de fábrica (foto 11), e interposición de una nueva nervadura de ladrillo superpuesta a la antigua y solidarizada con la misma con varillas metálicas (foto 12).

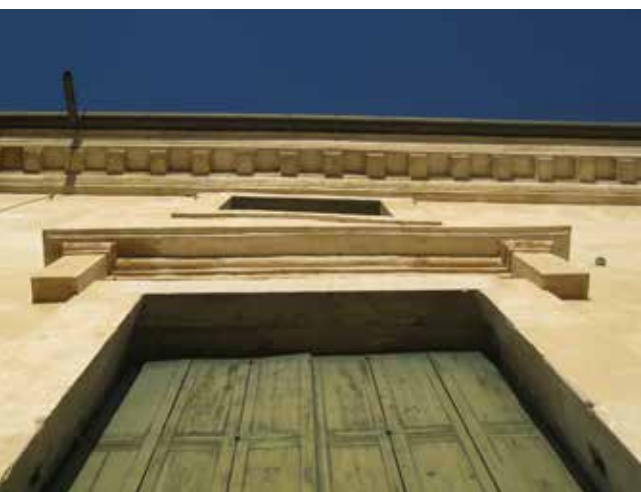
16, 17, 18. Consolidation phases of the central transept of the loggia vault, using the metal supports at some distance from the brick ribs (photo 10), connection with rods suspended only between the metal profile and the brick ribs (photo 11), and inclusion of new brick ribs superimposed on the original one and providing reinforcements with metal rods (photo 12).

19. La bóveda de la logia una vez terminada la intervención estructural. Los tirantes del intradós se insertaron en el siglo XVIII para contrarrestar las patologías de la bóveda y el vuelco de la fachada.

19. Loggia vault following the structural intervention. The braces in the intrados were added in the 18th century to counter the pathologies of the vault and the outward thrust of the façade.



20



21

pavimento y la eliminación de los materiales inertes de relleno y limpieza del trasdós y de las grietas con ayuda de chorro de aire a presión, se han retacado estas últimas inyectando un mortero compuesto de cal hidráulica sin sales y con bajo contenido de agua. Posteriormente, el crucero se ha consolidado superponiendo a los nervios del extradós, lesionados y con tramos de curvatura invertida, nuevas nervaduras de ladrillo macizo de espesor variable, en forma de reconstruir la curvatura inicial. Arcos nuevos y viejos se han solidarizado entre ellos por medio de varillas roscadas en acero inoxidable y se han suspendido a su vez de un tutor metálico superior constituido por una cimbra en L perforada. La bóveda ha readquirido así el funcionamiento estructural vinculado a su trazado geométrico, mientras que el tutor superpuesto se ha concebido para entrar en carga solo en caso de ulteriores deformaciones. El pavimento en ladrillo, antes apoyado directamente sobre la bóveda, se ha recolocado sobre un forjado autoportante, cuyos elementos principales en madera laminada actúan como tirantes-codales para el muro por el extradós de la bóveda y, junto con su entablado, asumen también funciones de arriostamiento del tímpano con el resto de la villa. También se ha controlado la eficiencia de los tirantes antiguos existentes.

brace with a metal profile was anchored to the wall using rods and extended to the adjoining southeast vault (see below) in order to improve the anchoring of the walls and thus also the stability of the vaults, distributing the loads of the new and old braces to prevent a local concentration of reaction loads and punching on the walls. The extrados of the vault was left exposed waiting for the restoration intervention on the frescoes, since completed¹⁴, to allow later interventions on the extensive damage to the vaulted structure, most of which could not be accessed via the extrados because of the superimposed vaulting. The same consolidation procedure was followed for the southeast vault and the northwest vault between the main floor and the attic, which has however been newly covered by rebuilding the flooring.

SOUTHEAST VAULT

The domical vault has eight ribs on the extrados, four axial ribs built in rowlock and four diagonal “fishbone” ribs connected to the corners via two central arches. As mentioned earlier, two diagonal wooden braces were added to the original supporting diaphragm walls to contain the corner and two orthogonal metal braces. The presence of construction putlog holes under the current ground level, imprints which are generally hidden, indicate that the vault was executed after the entire construction had been erected, possibly after the roof was completed¹⁵. Also in this case, the two outer sides showed signs of instability relating to the thrust of the vault and worsened by the open lesions above the windows, due to the subsidence of the foundations.

The configuration of the domical vault in the corner of the villa did not include

BÓVEDAS DE LA SALA DE LOS EMPERADORES Y DE LA SALA NOROESTE

En la Sala de los Emperadores el conjunto de las patologías estructurales acumuladas, combinado con el complejo de condicionantes operativos del intradós (los frescos) y del extradós (las bovedillas superpuestas) no ha consentido alternativas a la colocación de dos tirantes vistos por el intradós. Su función es contrarrestar el empuje de la bóveda esquinada plana ya insostenible por el muro sur, gravemente deformado sobre todo en la zona central entre dos ventanas (ver fotos). Uno de los dos tirantes prosigue a través de la escalera, pasa pegado al muro del fondo de la sala sobre la cornisa, y llega después de un recorrido aproximado de 27 metros a contrarrestar el empuje de la bóveda simétrica a norte. Aunque sea con un solo tirante, esta continuidad se ha buscado precisamente para contrarrestar el fenómeno antes descrito del arrastre superior de los muros internos, causado por todos los tirantes del extradós, incluidos los iniciales. En el extradós se ha formado una malla de tirantes para aumentar el arriostramiento entre los muros, contrarrestando con elementos diagonales el desplazamiento central de los muros externos. La formación de un tirante perimetral de perfilería metálica anclado con tacos a los muros, y extendido también a la contigua bóveda sureste (ver más

the insertion of braces on the intrados. However, the absence of arches on the extrados, present in the adjoining structure, has made it possible to introduce an innovative 3D system of angled braces on the extrados, which counter the central thrust of the vaults by diverting it diagonally to the side walls at a favourable angle. A spatial network of braces was produced which from most positions could counter the thrust of the central part of the vault, shifting it to a metal profile attached to the interior facing of the side walls. In the interests of a homogeneous distribution of the containment, a thin metal truss was anchored to the walls with stainless steel screws and to the vault extrados using metal plates along the entire perimeter. A bracing system, also with a metal profile connected to the wall and similar to that in the adjoining Hall of Emperors was installed on the upper perimeter. Between the upper brace and the lower truss, cross-braces were placed diagonally so as not to affect the vault. These transfer the outward thrust from the vault to the metal profiles of the wall.

Instead of the previous heavy filling, diaphragm walls were built, extending or thickening them to form a supporting plane for the wood panels on which the ceramic flooring was subsequently re-installed. The new braces are interlinked with the previous ones and positioned to avoid affecting each other.

VAULTS IN THE CELLAR FLOOR

The three-centred vaults in the cellar produce their own thrust directly on the south, west and north walls, but not on the east. The vault is separating from the outer walls in varying degrees, particularly at the height of the lunettes. This is due to a series of factors giving rise to an outward thrust

20. La bóveda afrescada de la Sala de los Emperadores. Se observa una lesión central, levemente hacia el muro sur.

20. Vault with frescoes in the Hall of Emperors. A central lesion slightly in the direction of the south wall can be seen.

21. Entreviendo desde abajo hacia arriba las cornisas de la fachada sur se perciben las deformaciones causadas por la bóveda de la Sala de los Emperadores, cuyo empuje es mayor en la zona central, a derecha de la foto.

21. Observing the cornices of the south façade from below it is possible to see the deformations caused by the vault in the Hall of Emperors, which has greater thrust in the central area on the right-hand side of the photograph.



22



23



24

adelante), tiene la función de conseguir una mayor solidarización entre muros, a favor de la estabilidad de la bóveda, repartiendo las cargas de los tirantes nuevos y antiguos para evitar la concentración local de cargas de reacción y el efecto punzonante sobre los muros. El extradós de la bóveda no se ha cubierto a la espera de la intervención de restauración de los frescos, recientemente acabada¹⁴, permitiera posteriores intervenciones en las amplias lesiones de la estructura abovedada, en buena parte no accesible por el extradós debido a la presencia de las bovedillas superpuestas. De modo análogo se ha consolidado la bóveda sureste y la noroeste entre la planta noble y la buhardilla, bóveda que sin embargo ha sido recubierta reconstituyendo el pavimento.

BÓVEDA SURESTE

La bóveda de rincón de claustro posee ocho nervaduras en el extradós, cuatro axiales a rosca y cuatro diagonales en espina de pez entregadas en las esquinas mediante dos bovedillas en crucero. A los frenillos de acodalamiento contruidos originalmente sobre los nervios se añadieron posteriormente, como ya se ha dicho, dos tirantes de madera diagonales para contener la esquina y dos tirantes metálicos ortogonales. La presencia de mechinales de construcción en los muros bajo el nivel del pavimento actual, trazas generalmente escondidas, es un indicio de que la bóveda fue realizada después de la erección de la fábrica completa, probablemente con la cubierta ultimada¹⁵. También en este caso, los dos lados externos presentaban fenómenos de inestabilidad relacionados con el empuje de la bóveda, favorecidos por las lesiones abiertas sobre los ejes de las ventanas por el asentamiento de la cimentación.

on the walls¹⁶. One of the most important factors was the intervention completed in the 1970s, which aimed to resolve the damp problems in the cellar floor of the villa. At the time, a concrete slab with ceramic interjoists was built for underneath ventilation, raising it from the ground by supporting it on a concrete frame on the perimeter. A deep drainage ditch was built outside, without reinforcing the foundations. The support on the terrain was reinforced inside and weakened outside, where the vault thrust was already concentrated. All the perimeter walls have increased the outward inclination which was already taking place, to the point that the south and north walls (the west has the stair for reinforcement) are no longer straight and are noticeably deformed outwards in the central areas with no significant out of plumb, as if the thrust of the vaults had even caused a horizontal shift in the wall foundations. Consequently, the vaults showed various degrees of sag, which reached macroscopic levels on the northwest vault. The thrust of the vaults and structural instability were countered by inserting braces in the intrados. It was also necessary to build outer reinforcement on the bottom of the drainage ditch, to compensate for the presence of the internal reinforcement. This evened out the support of the walls at the foundations and halted the settlement, inclination and movement of the perimeter walls.

La configuración de bóveda de rincón de claustro en la esquina de la villa excluía la inserción de tirantes por el intradós. Sin embargo, la ausencia de bovedillas por el extradós, presentes en cambio en la estructura contigua, ha permitido introducir un innovador sistema tridimensional de tirantes por el extradós inclinados para contrarrestar el empuje central de las bóvedas derivándolo a los muros laterales con una angulación favorable. Se ha realizado una red espacial de tirantes que desde la mayoría de posiciones contrarrestan el empuje de la parte central de la bóveda, conduciéndolo a un perfil metálico fijado al frente interior de los muros laterales. En aras a repartir de forma homogénea la acción de contención, en la parte inferior correspondiente a los riñones de la bóveda se ha construido in situ a lo largo de todo el perímetro una delgada cercha metálica, anclada a los muros con tirafondos de acero inoxidable y al extradós de la bóveda mediante placas metálicas. En la parte superior se ha colocado en el perímetro un sistema de atirantado, también con perfil metálico conectado al muro, similar al realizado en la contigua Sala de los Emperadores. Entre el tirante superior y la cercha inferior, se han colocados tirantes cruzados en diagonal, diseñados para no incidir en la bóveda, que derivan a los perfiles metálicos del muro el empuje a vuelco transmitido por la bóveda.

En lugar del pesado relleno precedente, se han construido frenillos en los muros prolongando o engrosando los existentes hasta formar un plano de apoyo para los paneles de madera sobre los cuales se ha recolocado posteriormente el pavimento cerámico. Los nuevos tirantes se entrelazan a los preexistentes, disponiéndose en modo que se evita que incidan unos sobre los otros.

NORTHWEST VAULT OF THE CELLAR FLOOR

The almost 30 cm sag reached by this vault, along with other worrying signs of deformation, called for the insertion of braces in the intrados as well as other radical interventions on the extrados. The elimination of the flooring added in the 1970s and the underlying concrete layer, over 20 cm thick and represented a load of circa 1,000 kg/m² on the vault, has made it possible to reduce permanent loads to a third, following the reconstruction of the flooring. In order to avoid damaging the vault during the process, paving and concrete were removed using a circular saw on rails with a diamond blade, and the elements cut were subsequently eliminated. The extrados of the vault, covered in cement mortar in the 1970s, included small ribs with signs of deterioration. The vault was consolidated by placing new solid brick ribs next to the original ribs, connecting them with stainless steel rods. Thus, the line of pressure on the vaults moved up from the lower parts, by forming segmental arches whose thrust was compensated by later adding braces. Braces were also placed on the perimeter walls to contain the corner and better link the façade and the perpendicular wall towards the loggia¹⁷.

As can be seen, the different vaults were consolidated using ad hoc solutions adapted to the configuration of their thrusts, their pathologies and the previous consolidations. Naturally, these solutions have also taken into

22. Junto a la nervadura del extradós de la Sala de los Emperadores, se observa abajo en la foto el antiguo tirante engarfiado en el centro con un ojal y piñón y, arriba, el tirante moderno con manguillo. El tirante antiguo se insertó en la primera fase constructiva y, como se puede observar, está formado por dos barras no alineadas en el mismo eje horizontal, sino dispuestas en rasante levemente apuntada que, por tanto, entrando en tracción, aplican ellos mismos una carga en el vértice sobre el centro de la bóveda.

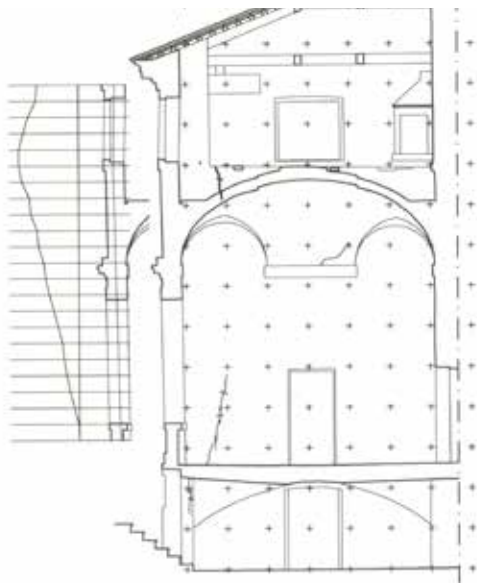
22. Beside the ribs of the extrados of the Hall of Emperors the photograph below shows the old hooked brace with its eyelet and pinion and above the sleeve of the modern brace. The old brace was inserted in the first construction phase, and is composed of two bars that are not lined up horizontally, but rather inclined upwards slightly and, therefore, while working under tension to counter the thrust, they apply a load on the vertex in the centre of the vault.

23. Vista por el extradós de la bóveda de la Sala de los Emperadores, con las bovedillas de cañón encaballadas a su vez sobre la bóveda nervada principal. Se observan, además del tirante antiguo engarfiado, el tirante del siglo XVIII que incide en las bóvedas (a la derecha) y los nuevos tirantes diagonales conectados al perfil metálico perimetral, solidarizado al muro con tacos.

23. View from the extrados of the Hall of Emperors with the smaller barrel arches resting on the main ribbed vault. In addition to the original hooked brace it is possible to see an 18th-century brace slightly cutting the vaults (at the right) and the new diagonal braces connected to the perimetral metal profile, fixed to the wall with rods.

24. La bóveda de la Sala de los Emperadores con los tirantes del intradós insertados en la intervención. Se habría evitado de buen gusto esta intervención, pero se ha podido constatar que el empeoramiento de las patologías en el muro longitudinal al sur no consentía alternativas.

24. Vault in the Hall of Emperors, with the braces inserted in the intrados during the intervention. Unfortunately, this intervention was unavoidable, given the worsening pathologies in the south longitudinal wall.



25

25. Levantamiento del cuadro fisurativo y deformativo (1997). La sección norte-sur atraviesa la sala cuadrada a sureste. La deformación hacia el sur viene acentuada por el empuje de la bóveda contigua de la Sala de los Emperadores. A destacar cómo la lectura enfatizada de la deformación (a izquierda del dibujo) pone en evidencia la deformación causada por el empuje de la bóveda y la acción contrarrestante desempeñada por la estructura de la cubierta, que retienen al muro por la parte superior.

25. Survey of fissures and deformations (1997). The north-south section goes through the square hall in the southeast. The deformation to the south is increased by the thrust from the adjoining vault in the Hall of Emperors. It should be noted that an emphasized reading of the deformation (to the left of the sketch) highlights the deformation caused by the thrust of the vault and the retaining action of the roof structure, which secures the wall from above.

26. Extradós de la bóveda de rincón de claustro a sureste. Se observa la pareja de vigas en diagonal con elementos metálicos en los extremos y los dos tirantes posteriores de barra metálica, paralelos a los muros externos destinados a contener la esquina.

26. Extradós of the southeast domical vault. The pair of diagonal beams with metal elements at the ends and the two metal bar braces at the back, parallel to the outer walls designed to contain the corner, can be seen.

27. Las diversas acciones de contención desempeñada por los tirantes de madera y en metal y, en la cota de cubierta, por la cercha diagonal apoyada sobre el cuadro de madera de la esquina, aplicadas a la esquina sureste, generan un diferencial respecto a los muros que son objeto del empuje de la bóveda de rincón de claustro. La lesión diagonal sobre el muro es una grieta a modo de bisagra abierta por el interior y cerrada por el exterior donde en efecto no se observa.

27. The different actions aimed at retaining the southeast corner using wooden and metal braces and a diagonal truss resting on the wooden angle brace at roof level, contrast with the thrust from the domical vault on walls. The diagonal lesion on the wall is a crack like a hinge, open in the interior and closed outside where it cannot be seen.

28. Dibujos que ilustran la secuencia de construcción y consolidación mediante tirantes inicialmente en madera y posteriormente en metal de la bóveda sureste.

28. Drawings illustrating the construction and consolidation sequence in the southeast vault using braces, which were initially wooden and subsequently metal.

BÓVEDAS DE LAS BODEGAS DEL SEMISÓTANO

Las bóvedas carpanel de la bodega imprimen su propio empuje directamente sobre los muros sur, oeste y norte, mientras que a este se apoyan sin empuje. En distinta medida, en todos los muros externos, sobre todo a la altura de los lunetos, se observan separaciones respecto a la bóveda atribuible al inicio del vuelco de los muros por un conjunto de factores¹⁶. Entre estos, ha tenido un peso importante la intervención completada en la década de 1970, dirigida a paliar la humedad de la planta de las bodegas del semisótano de la villa. En aquella ocasión, se construyó por el interior un forjado sanitario con bovedillas cerámicas, elevándolo del terreno al apoyarlo sobre un zuncho de hormigón perimetral. En el exterior se realizó una zanja drenante profunda, sin reforzar la cimentación. El apoyo en el terreno resultó reforzado en el interior y debilitado en el exterior, donde ya se concentraba el empuje de las bóvedas. Todos los muros perimetrales han acentuado la inclinación hacia el exterior ya en curso, hasta el punto que los muros a sur y a norte, (el oeste dispone de la escalera como refuerzo), ya no son rectilíneos, sino que están marcadamente deformados hacia el exterior en las zonas centrales sin un desplome significativo, como si el empuje de las bóvedas hubiera causado incluso la traslación horizontal de la cimentación de los propios muros. En consecuencia, las bóvedas registraron cedimientos de diversa entidad, alcanzando niveles macroscópicos en la bóveda noroeste. El empuje de las bóvedas y los fenómenos de inestabilidad estructural se han contrarrestado con la inserción de tirantes por el intradós. También ha sido necesario realizar un zuncho exterior en la base de la zanja drenante, para compensar

account the combined operation of frescoes, vaulting on the extradós, etc. All the vaults were consolidated assuming their current sag, only repairing lesions with wedges and hydraulic lime mortar. Use was made of their load-bearing capacity and in the most difficult cases ribs were built on the extradós of the walls and only in the case of the loggia, later superimposing a metal support. The older braces were not replaced, even in cases where they had

26



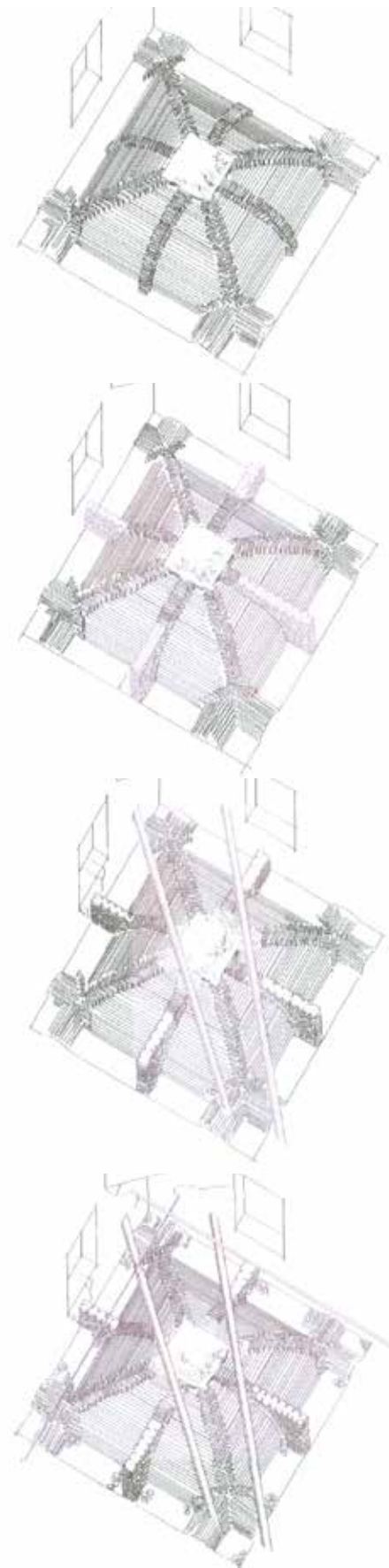
la presencia del zuncho interno, equilibrando el apoyo de los muros en cimentación y deteniendo el asiento, inclinación y traslación de los muros perimetrales.

BÓVEDA NOROESTE DE LA PLANTA DE LAS BODEGAS DEL SEMISÓTANO

El cedimiento próximo a 30 cm alcanzado por esta bóveda, unido a otras señales preocupantes de deformación, ha requerido además de la inserción de tirantes por el intradós otras intervenciones radicales por el extradós. La eliminación del pavimento realizado en los años 70 y de la capa subyacente de hormigón en masa que superaba el espesor de 20 cm y determinaba una carga sobre la bóveda de poco menos de 1.000 kg/m², ha permitido reducir a un tercio las cargas permanentes, tras haber reconstruido el pavimento. Para evitar dañar la bóveda con las sollicitaciones, la demolición del pavimento y del hormigón se ha realizado con radial con disco de diamante colocada sobre guías, y eliminando posteriormente los elementos cortados. El extradós de la bóveda, alisado con mortero de cemento en los años 70, presentaba nervaduras modestas en estado de degradación. La consolidación de la bóveda se ha realizado colocando junto a las antiguas nervaduras, unas nuevas de ladrillo macizo, solidarizadas con varillas de acero inoxidable. De este modo se ha elevado la línea de presiones de la bóveda en las partes más deprimidas, formando arcos rebajados cuyo empuje se ha compensado con ulteriores tirantes añadidos. También se han colocado tirantes en los muros perimetrales para contener la esquina y solidarizar la fachada y el muro perpendicular hacia la logia¹⁷.

caused unexpected alterations, and attempts were made to take the behaviour caused by them into account together with the new added remedies. The new braces were adjusted to the projected tension using torque wrenches. When advisable and whenever possible, permanent loads were reduced, as in the case of the thick layer of mass concrete from the 1970s which was causing the northwest vault between the cellar floor and the main floor to collapse.

27



28



29



30



31a

31b



Como se puede percibir, se han consolidado las diversas bóvedas con soluciones ad hoc adaptadas a la configuración de sus empujes, a sus patologías y a las consolidaciones ya presentes en cada una, soluciones que naturalmente han tenido en cuenta también los vínculos operativos de la presencia de frescos, bovedillas en el extradós, etc.

Se han consolidado todas las bóvedas en su estado deformado, reparando solo las lesiones con cuñas e inyecciones de mortero de cal hidráulica. Se ha contado con su capacidad portante, construyendo en los casos más difíciles nervios de fábrica por el extradós en los muros y, únicamente, en el caso de la logia, un ulterior tutor metálico superpuesto. Los tirantes antiguos no se han reemplazado, ni siquiera cuando habían introducido alteraciones inesperadas, y se ha intentado tener en cuenta el comportamiento introducido por ellos con los nuevos remedios añadidos. Los nuevos tirantes se han templado alcanzando las tensiones de proyecto con llaves dinamométricas. Donde ha sido posible y se ha considerado oportuno, se han reducido las cargas permanentes, como es el caso del grueso estrato de hormigón en masa realizado en los años 70, que estaba provocando el colapso de la bóveda noroeste entre el semisótano y la planta noble. Los tirantes externos en su inserción adosada y solo puntualmente pasante o anclada que constituyen la mayor parte de las soluciones se podrán eliminar en un futuro, dejando un impacto limitado sobre la construcción antigua.

Las cinco tipologías diversas adoptadas, junto a la intervención realizada para estabilizar la respuesta en la cimentación, han intentado contribuir a la estabilidad general de la construcción. No se han acometido encamisados en

The main solutions were mostly external braces which were inserted along the walls, only crossing or anchoring at some points, so that they could be removed in the future, thus limiting the impact on the original construction. The five different types of solution, as well as the intervention to stabilise the foundations, are aimed at contributing to the general stability of the construction. No concrete, resin or carbon fibre reinforcements were made to the extrados. In the domical vault, wherever the absence of arches on the extrados allowed, an innovative 3D system of angled braces was implemented to counteract the central thrust of the vaults, redirecting it to the side walls. The finds made during the controlled elimination of the vault fillings have been preserved and exhibited in display cases: a wood falsework element used for the construction of the arches of the extrados; several ceramic fragments; half of a carved wood trowel for rendering, an extremely simple and rare technical finding; and a sample of cereal which over time had fallen through the cracks in the attic flooring, and centuries later could provide information about what was grown in fields and stored in granaries.

Following the consolidation, the ceramic pavement on the attic vaults was recomposed, except over the Hall of Emperors. The temporary reason for not replacing it was that later consolidation was to be completed with the restoration of the frescoes on the intrados, so it seems advisable to be able to inspect the extrados until then. However, it cannot be denied that the

el extradós ni con hormigón ni con resinas y fibra de carbono. En la bóveda de rincón de claustro, donde la ausencia de bovedillas en el extradós lo permitía, se ha realizado un innovador sistema tridimensional de tirantes inclinados para contrarrestar el empuje central de las bóvedas derivándolo a los muros laterales. Se han conservado y expuesto los hallazgos encontrados en el curso de la eliminación controlada del relleno de las bóvedas en algunas vitrinas: un elemento de cimbra de madera utilizado para la construcción de bovedillas del extradós; algunos fragmentos cerámicos; mitad de un fratás para enlucir tallado en madera, hallazgo técnico tan humilde como raro; y una muestra del cereal que se había escurrido con el tiempo en las fisuras del pavimento de la buhardilla, que proporciona información algunos siglos después sobre lo que se cultivaba en los campos y se almacenaba en el granero.

Tras la consolidación realizada, se ha recompuesto el pavimento de rasillas sobre las bóvedas de la buhardilla, excepto sobre la Sala de los Emperadores. El motivo temporal de la falta de recubrimiento está ligado a una ulterior consolidación a completar con la restauración de los frescos presentes en el intradós, dado que parece oportuno poder inspeccionar el extradós al menos hasta ese momento. Pero no escondo que la posibilidad de observar directamente el extradós de la bóveda, con la rara estructura de bovedillas sobrepuestas, los tirantes de Palladio y los introducidos posteriormente, representa una oportunidad que la obra de consolidación ha abierto y a la que ahora nos cuesta renunciar. Y es que también es oportuno reflexionar sobre la musealización de los nudos de la estructura constructiva dentro de una obra de restauración. 🏛️

consolidation work has given us the chance to examine the extrados of the vault with its rare structure of superimposed arches together with Palladio's braces and those added later, an opportunity which we now find hard to give up. It was also a chance to consider the role of museumization of the nodes of the building structure as part of restoration work. 🏛️

32



29, 30. Consolidación con tirantes tridimensionales de la bóveda sureste. Esta configuración se ha concebido para contener el empuje de la bóveda, bajo las ventanas, conduciendo el esfuerzo a un perfil metálico perimetral conectado con el muro. Los tirantes antiguos se han mantenido con su función activa.

29, 30. Consolidation using 3D-designed braces in the southeast vault. This configuration was designed so that the braces would contain the point of thrust of the vault, below the windows, directing the effort to a perimetral metal profile connected to the wall. The older braces remain and maintain their active function.

31. Las catas realizadas en los riñones de la bóveda a noroeste entre las bóvedas del semisótano y la planta noble han evidenciado la marcada discontinuidad y la entidad de la patología desde la fecha de la construcción, observable únicamente a través de unas pequeñas fisuras en el enlucido reciente (1970) que demuestran que han seguido activas en las últimas décadas. A la derecha de la foto, una pequeña lesión inclinada era todavía más comprometida, dado que anunciaba el inicio del colapso por cortante de la bóveda atribuible al exceso de peso superior.

31. The tests executed in the haunches of the northwest vault between the cellar and the main floor showed the clear breaks and the pathologies existing since construction, visible only through small fissures in the recent rendering (1970) and showing these have remained active during the last few decades. On the right in the photograph, a small inclined lesion was even more important as it predicted the initial collapse due to shear stress of the vault as a result of the excessive load above.

32. Corte con radial diamantado del relleno de hormigón en masa, que junto al pavimento formaba un estrato de más de 30 cm.

32. Cut of the mass concrete using the diamond disk saw. The concrete and flooring together formed a layer over 30 cm thick.

33. El extradós de la bóveda entre el semisótano y la planta noble, con el alisado de mortero de cemento ejecutado en la década de 1970 y las modestas nervaduras irregulares del extradós en estado de degradación. Préstese atención a la depresión central.

33. The extrados of the vault between the cellar and the main floor, with the smooth cement mortar poured in the 1970s and the simple irregular ribs of the extrados suffering from degradation. Note the sagging in the centre.

34. La intervención de consolidación con nervaduras de fábrica de ladrillo macizo, solidarizadas con varillas de acero inoxidable. Se observan algunos tirantes por el extradós. Las nervaduras transversales se construyen en los tramos centrales entre los lunetos subyacentes, que mostraban grandes cedimientos.

34. Consolidation using solid brick ribs, reinforced with stainless steel rods. Some braces can be seen on the extrados. The diagonal ribs are built in the central sections between the lunettes below, which experienced major sagging.



33

34



NOTAS / NOTES

1. El presente artículo es una reelaboración del autor del siguiente texto "Villa Poiana. Storie di volte e di tiranti", publicado en "Palladio. Materiali tecniche restauri, in onore di Renato Cevese", M. Piana y U. Soragni (coord.), ed. Marsilio, Venezia, 2011, pp. 96-106. / This article is a reworking by the author of the text "Villa Poiana. Storie di volte e di tiranti", published in "Palladio. Materiali tecniche restauri, in onore di Renato Cevese", M. Piana and U. Soragni (coord.), ed. Marsilio, Venezia, 2011, pp. 96-106.

2. Sobre el colapso acaecido durante la construcción de la Libreria Marciana, las vicisitudes posteriores y el contexto técnico de la mitad del siglo XVI en torno al atirantado de las bóvedas, véase el interesante estudio de G. LUPO, "Gli abiti de le architetture antiche non si confanno ai dossi de le moderne": il crollo della volta delle Libreria Marciana di Jacopo Sansovino, en: Storia delle tecniche murarie e tutela del costruito. Esperienze e questioni di metodo, a cura di S. DELLA TORRE, ed. Guerini Studio, Milano 1996, pp. 31-52. / Regarding the collapse during construction of the Biblioteca Marciana, subsequent vicissitudes and the technical context of the mid 16th century in connection with the bracing of the vaults, see the study by G. LUPO, "Gli abiti de le architetture antiche non si confanno ai dossi de le moderne": il crollo della volta delle Libreria Marciana di Jacopo Sansovino, in Storia delle tecniche murarie e tutela del costruito. Esperienze e questioni di metodo, a cura di S. DELLA TORRE, ed. Guerini Studio, Milano 1996, pp. 31-52.

3. Véase D. BATTILOTTI, Aggiornamento del catalogo delle opere, in L. PUPPI, D. BATTILOTTI, *Andrea Palladio*, ed. Mondadori Electa, Milano, 2006, pag. 462. / See D. BATTILOTTI, Aggiornamento del catalogo delle opere, in L. PUPPI, D. BATTILOTTI, *Andrea Palladio*, ed. Mondadori Electa, Milano, 2006, p. 462.

4. Los trabajos de restauración han sido ejecutados en tres fases por el Istituto Regionale per le Ville Venete con proyecto de Francesco Doglioni y Giovanna Osti (1995), empleando fondos estructurales europeos. Francesco Doglioni ha llevado la dirección de las obras (1997-2000) con la colaboración de Ilaria Cavaggioni y la consultoría estructural del ingeniero Marco De Giacometti. La supervisión por parte de la Soprintendenza ai Beni Architettonici de Verona ha estado a cargo de la arquitecto Rosa Di Stefano, y por parte del Istituto Regionale Ville Venete el arquitecto Claudio Albanese. En 2005, al hilo de la intervención en la planta de semisótano, se realizó la consolidación de la bóveda noreste. Una primera síntesis descriptiva de las obras de restauración ejecutadas se reflejó en F. DOGLIONI, Il restauro di Villa Poiana, en "1952-2001 Ville Venete. Mezzo secolo tra salvaguardia e nuove emergenze", volumen coordinado por L. Baldin, M. Gasparin, F. Posocco, S. Pratali Maffei, ed. Canova, Treviso, 1991, pp. 43-50. Véase también el texto en F. Doglioni, Nel restauro. Progetti per le architetture del passato, ed. IUAV-Marsilio Editori, Venezia, 2008, pp.312-345

Restoration work was executed in three phases by the Istituto Regionale per le Ville Venete with projects by Francesco Doglioni and Giovanna Osti (1995), using European structural funds. Francesco Doglioni directed the work (1997-2000) with the collaboration of Ilaria Cavaggioni and engineer Marco De Giacometti as structural consultant. Architect Rosa Di Stefano from the Soprintendenza ai Beni Architettonici de Verona and architect Claudio Albanese from the Istituto Regionale Ville Venete supervised. The northeast vault was consolidated in 2005, coinciding with the intervention on the lower ground floor.

An initial brief description of the restoration work is found in F. DOGLIONI, Il restauro di Villa Poiana, in "1952-2001 Ville Venete. Mezzo secolo tra salvaguardia e nuove emergenze", coordinated by L.

Baldin, M. Gasparin, F. Posocco, S. Pratali Maffei, ed. Canova, Treviso, 1991, pp. 43-50. See also the text in F. Doglioni, Nel restauro. Progetti per le architetture del passato, ed. IUAV-Marsilio Editori, Venezia, 2008, pp.312-345.

5. Sobre la cuestión de los enlucidos externos de Villa Poiana y su periodización deducida de la observación estratigráfica, véanse las consideraciones desarrolladas en F. DOGLIONI, *Stratigrafia e Restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, ed. LINT, Trieste, 1997. / Regarding the exterior renderings of Villa Poiana and their dating deduced from stratigraphical examination, see F. DOGLIONI, *Stratigrafia e Restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, ed. LINT, Trieste, 1997.

6. El control operado durante la remoción de los rellenos superpuestos a las bóvedas para la colocación de los pavimentos, relleno formado sobre todo por tierra y arena, restos de mortero y fragmentos de ladrillo, ha llevado al descubrimiento de hallazgos pequeños pero significativos. Uno de ellos es un antiguo fragmento de fratas de enlucido, probablemente en madera de chopo, tallado en el dorso con una herramienta para labrar y suavizado por el uso. Otro elemento es una cimbra perfilada en madera que se había quedado en el interior de una bovedilla superpuesta en el extradós. De gran interés y todavía no estudiados de manera específica son los restos de cereal y simientes de naturaleza varia -mijo, trigo, etc.- encontrados en el granero de la buhardilla que se habían escurrido por las rendijas de separación con el muro perimetral en el vano interno de las bovedillas del extradós. Un examen en profundidad de los diversos hallazgos, aunque todavía ha quedado mucho material en el interior de las bovedillas, parte del cual es todavía accesible, podrá suministrar noticias valiosas sobre las especies cultivadas en la propiedad y quizás consentir la germinación de las simientes extraídas de este contexto "fósil". Los hallazgos han sido expuestos por el Istituto Regionale Ville Venete en algunas vitrinas específicamente dispuestas en la planta de semisótano de la Villa Poiana. / In the process of removal of the fillings superimposed on the vaults to install flooring, fillings mainly consisting of earth and sand, mortar remnants, and brick fragments have led to small yet significant finds. One of these is an ancient fragment of rendering trowel, probably poplar wood, carved at the back and worn with use. Another element is a wooden falsework moulding which had remained inside an arch on the extrados. The remnants of cereal and different seeds (millet, wheat, etc.) which were found in the attic granary and had fallen through the separation grills in the perimeter wall of the space inside the arches of the extrados are of great interest, but are yet to be studied specifically. Despite the fact that extensive material -not all of it accessible- is still inside the arches, a thorough examination of the different finds can provide valuable information on the species grown on the estate, perhaps allowing the seeds from this "fossil" context to be extracted. The finds were exhibited by the Istituto Regionale Ville Venete in display cases on the lower ground floor of Villa Poiana.

7. El dato proporcionado proviene de Alberto Grimoldi. / The information was provided by Alberto Grimoldi.

8. La expresión se recoge en un peritaje redactado en 1780 por un ingeniero de Treviso, llamado a emitir su opinión sobre la estabilidad del campanario medieval en la iglesia de Ognissanti en Feltre, campanario construido con un lado apoyado sobre una bóveda absidal gravemente deformado. El documento original de donde se ha extraído la cita, antaño conservado en el archivo del Hospital de Santa Maria del Prato, se ha extraviado actualmente. / The expression is included in an expert's report drafted in 1780 by an engineer from Treviso, asked to report on the stability of the mediaeval belltower in the church of Ognissanti in Feltre. The belltower had been built with one side resting on a serious-

ly deformed apse vault. The original document from which the quote is taken used to be kept in the archives of the Hospital de Santa Maria del Prato, but is currently lost.

9. El mecanismo de la patología vinculado a la presencia de la pareja central de tirantes por el extradós sobre los muros longitudinales hacia al exterior de las bóvedas esquinadas planas (Sala de los Emperadores al sur y la bóveda gemela al norte), tal como se ha observado en el levantamiento del cuadro fisurativo y deformativo, coincide perfectamente con un esquema de mecanismo de colapso en presencia de tirantes en el extradós indicado en la pág. 303 del texto de E. GIURIANI, A. GUBANA, *Recupero e consolidamento di volte in muratura*, in S. DELLA TORRE, cit., pp.289-313. De hecho, se pueden observar tanto la lesión horizontal interna, a la altura de los tirantes, como la lesión externa junto al punto de empuje de la bóveda, a cota inferior, al que corresponde un significativo abombamiento. / The mechanism of the pathology linked to the central pair of braces along the extrados above the longitudinal walls to the exterior of the trough vaults (Hall of Emperors to the south and its equivalent vault in the north), as observed in the survey of fissures and deformations, coincides exactly with a diagram for a collapse mechanism including the braces on the extrados on page 303 of the text by E. GIURIANI, A. GUBANA, *Recupero e consolidamento di volte in muratura*, found in S. DELLA TORRE, cit., pp.289-313. In fact, both the internal horizontal lesion at the level of the bracing and the external lesion beside the thrust point of the vault below, which shows a significant bulge, can be observed.

10. Se debe recordar que no existe un levantamiento tridimensional global de Villa Poiana, interno y externo, realizado con la tecnología del láser escáner. El proyecto de consolidación se ha basado solo sobre secciones escogidas que, aunque fueran significativas, no pueden describir por sí solas el comportamiento torturado del conjunto que este edificio ha sufrido desde su construcción hasta nuestros días; sobre todo, estas secciones realizadas no consienten hoy en día desenmarañar el ovillo entre los fenómenos ligados a los importantes asentamientos de la cimentación, al empuje inicialmente no contrarrestado de las bóvedas, a los tirantes y remedios dispuestos a lo largo del tiempo. / It should be noted that there are no internal or external laser scanner global 3D surveys of Villa Poiana. The consolidation project was based only on select sections which although significant, could not individually describe the overall complex behaviour of this building from its construction to the present. At present these sections executed do not allow us to clarify the phenomena linked to the major subsidences in the foundation, the thrust of the vaults which was not resisted initially or the braces and solutions implemented over time.

11. Los tirantes con pletinas remachadas faltan solo en la parte noreste de la villa, parte a la cual se adosa contrarrestando el empuje hacia el norte, un cuerpo de fábrica añadido construido durante la primera mitad del siglo XVIII. Se podría deducir entonces que la realización del resto de los tirantes tuvo lugar a partir de mediados del siglo XVIII, ya que de otra forma se habrían insertado también en aquella parte. / The braces with riveted plates are only missing in the northeast part of the villa, where a construction was added in the first half of the 18th century resisting the thrust to the north. It could therefore be deduced that the rest of the braces were added from the second half of the 18th century on, as otherwise these would also have been added at this point.

12. Véase también lo que se ha indicado ya respecto a la ausencia de zarpas en la cimentación y a la excentricidad parcial de la carga aplicada en la cimentación a la altura del pronao. / See also previous mention of the absence of foundation footings and the partial eccentricity of the load applied to the foundations at the narthex.

13. El desplome del abombamiento presente en la parte central del

muro sur, en el espacio entre las dos ventanas donde en el interior se colocó la chimenea, alcanza aproximadamente 13 cm. En cualquier caso, esta medida no tiene en cuenta la probable traslación hacia el exterior de la zona central del muro a partir de la cimentación, inducida por el empuje de las bóvedas carpanel de la planta de semisótano y deducible de la ausencia de un trazado rectilíneo en los muros a sur y norte. / The out of plumb at the bulge in the central part of the south wall, in the space between the two windows where a fireplace was installed inside, measures approximately 13 cm. In any case, this measurement does not take into account the possible shift outwards of the central part of the wall from the foundations, caused by the thrust of the three-centred vaults in the cellar floor and which can be deduced from the irregular alignment of the south and north walls.

14. La intervención de restauración de los frescos de la loggia y de la Sala de los Emperadores, que ha contemplado incluso algunas reparaciones ulteriores de las lesiones de la bóveda, fue realizado en 2008 por el Istituto Regionale Ville Venete dirigido por el arquitecto Claudio Albanese. / In 2008, Claudio Albanese, an architect from the Istituto Regionale Ville Venete, directed the restoration of the frescoes in the loggia and the Hall of Emperors, giving the opportunity for later repairs to the lesions in the vault.

15. Respecto a la organización de las obras de construcción en las villas de Andrea Palladio, véase el texto de I. Cavaggioni y F. Doglioni sobre la Villa Saraceno presentado al ciclo de conferencias citado sobre la restauración de las obras palladianas. / For information on the organisation of construction work in villas by Andrea Palladio, see the text by I. Cavaggioni and F. Doglioni on Villa Saraceno presented in the congress on the restoration of Palladian buildings, mentioned above.

16. Además del empuje directo de las bóvedas de la planta de semisótano, podemos incluir entre los factores podemos incluir el empuje a vuelco de las bóvedas de la planta noble y el asentamiento diferencial hacia el exterior de la cimentación, favorecido por el zuncho de hormigón realizado únicamente en el interior de la villa en la década de 1970 para sostener el forjado sanitario de hormigón y bovedilla cerámica con el que se ha creado una cámara aislante de la humedad entre el terreno y el pavimento de las bodegas. / In addition to the direct thrust of the floor vaults of the cellar, the factors also include the outward thrust of the vaults on the main floor and the outwards subsidence of the foundations, worsened by the concrete perimeter ring executed in the villa in the 1970s to support the concrete slab with ceramic interjoists that was built for underneath ventilation in order to insulate from damp between the earth and the cellar flooring.

17. Además de los libros de obra, un informe técnico posterior y la aportación de más de 300 imágenes que ilustran las diversas fases de los trabajos, se han dispuesto veinte paneles que muestran las obras de restauración con dibujos, fotografías y pies de texto, que fueron elaborados con la colaboración de los estudiantes del Laboratorio de Restauración Arquitectónica del Istituto Universitario di Architettura di Venezia con coste a cargo del Istituto Regionale Ville Venete. Consultables en la Villa, desempeñan la función de documentar los trabajos ejecutados e ilustrar al visitante los problemas conservativos afrontados. / In addition to the site books, a later technical report and over 300 images illustrating the different phases of the work have been published, twenty panels have been made, showing the restoration work with sketches, photographs and footnotes, drawn up in collaboration with students of the Architectural Restoration Laboratory of the Istituto Universitario di Architettura di Venezia and funded by Istituto Regionale Ville Venete. The material can be consulted in the Villa, and document the work executed, showing visitors the conservation problems encountered.