

EX FABRICA ET RATIOCINATIONE:
TÉCNICAS, TECNOLOGÍAS E INNOVACIÓN
EN LA ARQUITECTURA ANTIGUA

Volumen II

ADALBERTO OTTATI y MARIA SERENA VINCI
(Coordinadores)

RO
MV
LA

20
2021

SEMINARIO DE ARQUEOLOGÍA
UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE. SEVILLA

ROMVLA

Revista del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

La revista ROMVLA es una publicación científica de carácter anual dedicada fundamentalmente a la publicación de trabajos de investigación inéditos en el campo de la Arqueología, con especial atención a la Arqueología de la provincia de Sevilla y su entorno. Igualmente actúa como órgano de difusión científica del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla lo que incluye la difusión de los resultados de los diferentes Proyectos de Investigación que se desarrollan en el mismo.

Número 20. 2021

Revista indexada en: Index Islamicus, DIALNET, LATINDEX. Catálogo v1.0 (2002 - 2017).

Directores: Rafael Hidalgo (Universidad Pablo de Olavide)
Pilar León-Castro (Universidad de Sevilla)

Secretarias: Inmaculada Carrasco (Universidad Pablo de Olavide)
Ana María Felipe

Comité de redacción

A. Corrales (Universidad Pablo de Olavide), C. Fabiao (Universidade de Lisboa), P. Mateos (Instituto de Arqueología de Mérida. CSIC), C. Márquez (Universidad de Córdoba), T. Nogales (Museo Nacional de Arte Romano de Mérida), P. Ortiz (Universidad Pablo de Olavide), A. Ottati (Universidad Pablo de Olavide), I. Sánchez (Universidad Pablo de Olavide), F. Teichner (Universität Marburg), S. Vargas (Universidad de Sevilla), S. Vinci (UNED).

Comité científico

L. Abad (Universidad de Alicante), A. Arévalo (Universidad de Cádiz), F. Arnold (Deutsches Archäologisches Institut. Madrid), J. Beltrán (Universidad de Sevilla), M. Bendala (Fundación Pastor, Spain), J. Campos (Universidad de Huelva), H. Catarino (Universidade de Lisboa), H. Dessales (École Normale Supérieure de Paris), M. C. Fuertes (Consejería de Cultura. Junta de Andalucía), P. Gros (Université de Aix-en-Provence), J. M. Gurt (Universidad de Barcelona), H. V. Hesberg (Deutsches Archäologisches Institut. Roma), J. L. Jiménez Salvador (Universidad de Valencia), S. Keay (University of Southampton), M. Kulikowski (University of Tennessee-Knoxville), G. López Monteagudo (CSIC), J. M. Luzón (Universidad Complutense de Madrid), R. Mar (Universidad Rovira i Virgili), W. Mierse (University of Vermont), B. Mora (Universidad de Málaga), P. Moret (Université de Toulouse-Le Mirail), M. Orfila (Universidad de Granada), S. Panzram (Universität Hamburg), P. Pensabene (Università di Roma La Sapienza), Y. Peña (UNED), A. Pérez-Juez (Boston University in Spain), A. Pizzo (Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma-CSIC), F. Quesada (Universidad Autónoma de Madrid), A. M. Reggiani (Ministero per i Beni e le Attività Culturali), P. Rodríguez Oliva (Universidad de Málaga), P. Rouillard (CNRS. Maison René-Ginouès. Nanterre), M. A. Tabales (Universidad de Sevilla), T. Tortosa (Instituto de Arqueología de Mérida CSIC), W. Trillmich (Deutsches Archäologisches Institut), A. Ventura (Universidad de Córdoba), A. Viscogliosi (Università di Roma La Sapienza).

Patrocinada: Vicerrectorado de Investigación, Transferencia y Doctorado de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

Edición, publicación y distribución

Seminario de Arqueología
Universidad Pablo de Olavide de Sevilla
Carretera de Utrera, km. 1 · 41013 Sevilla (España)
Telf.: 954 977 932 • E-mail: romula@upo.es

Dirección y redacción

Seminario de Arqueología
Universidad Pablo de Olavide de Sevilla
Carretera de Utrera, km. 1 · 41013 Sevilla (España)

Diseño: Diseño y Comunicación S.L.

Maquetación e impresión: Imprenta SAND, S. L. · www.imprentasand.com

Depósito Legal: SE-075-04

ISSN: 1695-4076



© 2020 "Romula". Revista del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

Las opiniones y comentarios expuestos por los autores de las colaboraciones recogidas en la revista son responsabilidad exclusiva de los mismos. Esta publicación estará disponible online a través de la plataforma de Revistas Científicas de la Universidad Pablo de Olavide. La difusión de los trabajos publicados se registrará de acuerdo con la licencia Creative Commons by-nc-sa. En todo caso, se mencionará siempre que el trabajo ha sido publicado originalmente en la revista ROMVLA.

Í N D I C E

PROGETTAZIONE INTEGRALE A VILLA ADRIANA INTEGRAL DESIGN AT HADRIAN'S VILLA Giuseppina E. Cinque	7
I PILASTRI CAVI A VILLA ADRIANA HOLLOW PILLARS AT HADRIAN'S VILLA Elena Eramo	57
PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA A VILLA ADRIANA THE BIOCLIMATIC DESIGN OF HADRIAN'S VILLA Cristina Renzoni	83
VILLA ADRIANA E L'AMBIZIONE DI REALIZZARE L'IMPOSSIBILE. TECNICHE CONSTRUTTIVE SPERIMENTALI AL SERVIZIO DI FORME ARCHITETTONICHE INEDITE HADRIAN'S VILLA AND THE AMBITION TO ACHIEVE THE IMPOSSIBLE. EXPERIMENTAL CONSTRUCTION TECHNIQUES AT THE SERVICE OF UNPRECEDENTED ARCHITECTURAL FORMS Adalberto Ottati	111
IMPIANTI, TECNOLOGIA E BENESSERE IN ARCHITETTURA: DALLA PRATICA STORICA ALLA CODIFICA TEORICA PER NUOVE PROSPETTIVE DI RECUPERO PLANTS, TECHNOLOGY, AND WELL-BEING IN ARCHITECTURE: FROM HISTORICAL PRACTICE TO THEORETICAL CODING FOR NEW PERSPECTIVES OF RECOVERY Valentina Florio	151
DALLA CONSERVAZIONE ALL'INNOVAZIONE: PIATTABANDE E ARCHITRAVI LITICHE NEL "FORO PROVINCIALE" DI TARRACO (HISPANIA CITERIOR) FROM CONSERVATION TO INNOVATION: LINTEL ARCHS AND STONE LINTELS FROM THE "PROVINCIAL FORUM" IN TARRACO (HISPANIA CITERIOR) Maria Serena Vinci	179
L'ORGANISATION DU TRAVAIL AUTOUR DE LA PIERRE A CORDOUE AU IIEME SIECLE AV. J.-C. DEMOGRAPHIE, AGRICULTURE ET CHAINE OPERATOIRE THE ORGANISATION OF LIMESTONE LABOUR IN CORDOBA DURING IIND CENTURY B.C. DEMOGRAPHY, AGRICULTURE AND OPERATIONAL CHAIN Christopher Courault	205

LAS MURALLAS REPUBLICANAS DE TARRACO, ASPECTOS CONSTRUCTIVOS
THE REPUBLICAN TOWN WALLS OF TARRACO, CONSTRUCTIVE ASPECTS

Joan Menchón Bes

251

**DALLA PRATICA ANTICA ALLE FABBRICHE DI ETÀ MODERNA: STRUMENTI
DA LAVORO E TECNOLOGIA EDILIZIA A ROMA TRA PERMANENZA E
PERFEZIONAMENTO**

**FROM ANCIENT CONSTRUCTION PRACTICES TO MODERN-AGE BUILDING
SITES: WORK TOOLS AND BUILDING TECHNOLOGIES IN ROME BETWEEN
PERMANENCE AND IMPROVEMENT**

Nicoletta Marconi

291

I PILASTRI CAVI A VILLA ADRIANA

HOLLOW PILLARS AT HADRIAN'S VILLA

Elena Eramo

Università degli Studi di Roma, Tor Vergata

Riassunto

Molte sono le caratteristiche della Villa imperiale tiburtina che, nel tempo sono state trascurate o discusse esclusivamente con riferimento a casi puntuali. Eppure, alcune di queste sono tanto ricorrenti da ingenerare dubbi in merito a scelte compiute secondo uno specifico programma. Tra queste, alcune sembrerebbe che siano state adottate per fornire soluzioni, al contempo, funzionali e strutturali. Si tratta di quanto, già da qualche anno, nel gruppo interdisciplinare di studio della Villa, è noto quale adozione di "pilastri cavi". Nel lavoro che si presenta, frutto di studi ancora in corso, vengono poste in luce e discusse alcune delle strutture che presentano tali soluzioni.

Parole chiave: Villa Adriana, rilievo architettonico, muratura, pilastri cavi, strutture voltate.

Abstract

There are many characteristics of the imperial Tiburtine Villa that have been, over time, disregarded or only discussed in relation to particular occurrences. Nevertheless, some of these features are so recurrent to engender the doubt that a specific programme existed, according to which choices were taken. Among them, some seem to be adopted to provide solutions concurrently functional and structural. Within the interdisciplinary study group of the Villa, the matter is known as the adoption of "hollow pillars". In the paper, first result of ongoing studies, some of the structures that present this kind of solution will be highlighted and examined.

Keywords: Hadrian's Villa, architectural survey, masonry, hollow pillars, vaulted structures.

All'interno della vasta collezione di architetture riconducibili alla produzione edilizia di matrice adrianea¹, tutta la letteratura sul tema della costruzione romana imperiale² condivide l'idea che la costruzione di volte e cupole monolitiche in *caementicum* in quel periodo assurga a un livello compositivo e tecnico mai raggiunto fino ad allora, e difficilmente eguagliato anche nei secoli successivi³. Questo primato, nel caso della Villa Adriana presso Tivoli –per la quale sembra ammissibile un diretto coinvolgimento operativo dello stesso committente in qualità di progettista– diviene uno dei preminenti aspetti che rende la dimora imperiale un «epocale *turning point*» della storia dell'architettura⁴, sia per l'innovazione compositiva, sia per il perfezionamento del progetto strutturale. Caratteristica, quest'ultima, affrontata a latere di numerose indagini, attualmente oggetto di approfondimenti volti chiarire se, e in che modo, la Villa sia da considerarsi un punto nodale anche nella storia della conoscenza del comportamento delle strutture.

Già a una prima analisi delle tecniche esecutive adottate nella Villa per la realizzazione delle volte e cupole, si evidenzia una profonda conoscenza delle soluzioni fino ad allora canonizzate per la costruzione di coperture in calcestruzzo, in primo luogo volte a botte semplici, o variamente composte in coperture lunettate, a crociera, a padiglione, declinate in tutte le loro varianti e dimensioni nonché, per lo più adottate nelle costruzioni a carattere aulico, se non nelle più imponenti. Soluzioni più tradizionali sono diffuse negli ambienti ipogei, nei passaggi servili, negli ambienti marginali e di collegamento. Analogamente cupole e semi-cupole sono declinate nella loro variante semplice, quali porzioni lisce di sfere, per la copertura di spazi, più o meno ampi, con impianto rettilineo o curvo, ovvero nella tipologia a impianto mistilineo, che diviene lo spunto per i risultati più creativi e originali ad oggi ammirabili, consistenti in cupole composte da spicchi di varia e complicata geometria concavo-convessa⁵. Una crescita qualitativa, in funzione della dimensione, è riconoscibile anche nella attenzione esecutiva, e fornisce un primo indizio di una qualche consapevolezza che, all'aumento delle luci libere, la resistenza di una struttura in conglomerato cementizio può essere compromessa da numerosi fattori, non del tutto risolvibili con un mero aumento di scala dell'oggetto, pur facendo sempre salve logiche di dimensionamento proporzionale degli elementi.

Lancaster⁶, nel suo puntuale e fondamentale lavoro sulla tecnologia delle volte in calcestruzzo della Roma imperiale, tratta ampiamente del ricorso a espedienti

1. Viscogliosi, 2020, 11.

2. V. ad esempio: RIVOIRA, 1925, 118 e ss., LUGLI, 1967, 665 e s., ADAM, 1988, 204. Cfr. WULF-RHEIDT, 2012.

3. Basti citare, in tal senso, il caso della calotta emisferica del Pantheon.

4. VISCIOGLIOSI, 2020, 13.

5. Cfr. ADAM, 1988, 210; VISCIOGLIOSI, 2020, 13 e ss.

6. LANCASTER, 2005.

innovativi nelle costruzioni adriane in generale, approfondendo anche il tema con riferimento a Villa Adriana. Nello specifico, infatti, descrive il ripetuto uso di rinforzare il conglomerato cementizio attraverso l’inserimento di costole di laterizi, nonché l’adozione di evidenti accorgimenti per una disposizione più efficace delle tavole sulle casseforme –accorgimenti che per quanto non limitati alla costruzione delle volte a spicchi, proprio in questo settore assumono particolare significato– disposte in senso radiale e non tangenziale, per giungere a far chiara luce delle diffuse tracce di elementi di rinforzo metallici, in particolare per l’ottimizzazione del comportamento di architravi e piattebande in laterizio. La medesima studiosa, inoltre, dimostra come, in età adrianea, siano definitivamente padroneggiate le tecniche di alleggerimento delle volte attraverso la selezione e disposizione di inerti di differente provenienza e peso specifico⁷, ovvero tramite l’inserimento di anfore laterizie. Tuttavia, nella selezione di casi utili alla comprensione del comportamento strutturale globale delle volte, con i relativi sistemi di sostegno e contraffortamento, nel lavoro spicca l’assenza di esempi tratti dalla Villa imperiale; la qual cosa corrisponde alla reale mancanza di soluzioni massive preposte allo scopo, paradossale se rapportata alla predetta arditezza delle coperture di tali architetture.

Il presente contributo nasce proprio da una lettura inversa della questione, con l’obiettivo di porre in rilievo quanto l’armonizzazione tra soluzione architettonica e strutturale per il sostegno delle coperture voltate, faccia sì che la seconda sia sempre funzionale alla prima e in essa dissimulata. In particolare, si vuole rimarcare la reiterata adozione, in diversi complessi, di elementi –non senza qualche necessaria precisazione terminologica– che definiscono una vera e propria prassi costruttiva nella villa: i “pilastri cavi”.

1. I “PILASTRI CAVI” IN MURATURA – IPOTESI E METODOLOGIA DI INDAGINE

In questa sede si presentano i risultati preliminari di uno studio che muove dal riconoscimento⁸ dell’uso elementi strutturali riconducibili alla categoria di “pilastro cavo” a Villa Adriana. Le indagini sono state intraprese con una prima rilettura sistematica dei rilievi (anche e non solo planimetrici⁹) dei diversi complessi della residenza, finalizzati alla redazione di un iniziale elenco delle occorrenze che possedessero caratteristiche assimilabili a quelle ricercate. Sebbene la frequenza della ricorrenza di tali elementi permetta una iniziale validazione del tema, resta ancora da verificare appieno se l’adozione di questi

7. Cfr. anche LANCASTER, 2006.

8. Cfr. CINQUE, *ivi*.

9. Cfr. ADEMBRI E CINQUE, 2006; ERAMO E OTTATI, 2018.

espedienti possa derivare da un mero adattamento funzionale di minuscoli vani di risulta –una ipotesi che, in relazione alla dimensione della Villa, sembrerebbe scartabile– ovvero possa trovare fondamento in termini di progettazione integrale, ossia di una prassi ideativa sviluppata coerentemente per progettare, in un *unicum* armonioso, forme, funzioni e strutture. In quest'ultimo caso, l'implicazione strutturale impone di verificare se l'adozione degli elementi deriva da uso empiricamente validato, oppure da una consapevolezza scientifica. Con riferimento al primo dei temi di tale verifica, l'attenzione è stata rivolta alla letteratura e, in particolare, al controllo di casi pre-adrianei nei quali era possibile evidenziare la tipologia. Diversa è la metodologia adottata per il controllo di un uso derivato dalla consapevolezza scientifica; in tal caso, infatti, lo spoglio della letteratura è riferito a opere redatte in periodi ben più antichi e spesso trasmesse solo oralmente, come nel caso del celebre e perduto trattato sulla sfera e sul cilindro di Archimede o di quello, altrettanto perduto, sebbene redatto in età giulio-claudia, se non proprio adrianea, sulle cupole e sulle volte di Erone di Alessandria. A tale ricerca, inoltre, non può che fare seguito l'analisi, tutt'ora in atto, volta alla comprensione dell'effettivo contributo offerto dai pilastri cavi al comportamento strutturale delle opere indagate.

La definizione delle caratteristiche tipologiche scelte quali criteri di individuazione dei casi di studio, porta con sé la necessaria precisazione sul concetto di “pilastro cavo”.

È noto che la costruzione in muratura presenta caratteristiche meccaniche, nel loro complesso, ben distinte da quelle delle strutture di odierna fabbricazione realizzate, ad esempio, in calcestruzzo armato o materiale metallico. Tali caratteristiche sono, peraltro, fortemente dipendenti dalla tecnica esecutiva specifica con cui una certa muratura viene realizzata, oltretutto dalla qualità dei materiali utilizzati. L'analisi strutturale di una muratura è un esercizio tutt'altro che semplice, che può fornire risposte diverse a seconda delle ipotesi iniziali di cui si tiene conto nell'esaminare l'oggetto di analisi, non per forza esatte o errate, ma più o meno utili a descrivere un certo aspetto del loro comportamento.

I due principali approcci alla questione sono riassumibili nell'applicazione della teoria dell'analisi limite, ovvero della teoria dell'elasticità¹⁰. Quest'ultima costituisce il fondamento della scienza delle costruzioni e della progettazione contemporanea, ed è incentrata sul concetto che un elemento strutturale sottoposto a una certa forza, si deforma in una misura proporzionale all'entità dell'azione, secondo la sua rigidezza, che dipende dalle caratteristiche intrinseche

10. Per una snella trattazione della questione, v. LANCASTER, 2006, cap. 8. Sull'evoluzione in senso storico degli approcci teorici

alla valutazione strutturale delle volte in muratura v. BENVENUTO, 1991. Cfr. anche BENVENUTO, 1981; HEYMAN, 2014, cap. 1.

del materiale che lo costituisce e dalla geometria del sistema. L'analisi di una muratura antica, sulla base di questo approccio, è condotta, usualmente, attraverso la realizzazione di modelli a elementi finiti, nei quali si tiene conto di caratteristiche del materiale desunte dalla letteratura o, più raramente, da prove di laboratorio. Sebbene tali modelli forniscano descrizioni del comportamento strutturale di una muratura assai prossime al reale, la maggior difficoltà nella validazione dei risultati dipende dalle numerose variabili in merito alla qualità delle murature, che fanno sì che i valori di input scelti possano produrre scenari altrettanto variabili. L'analisi limite è, invece, una teoria sviluppata alla metà del Novecento, a partire dalle cognizioni di età moderna sul calcolo strutturale per gli archi, proprio con il fine di descrivere il comportamento delle murature. Formalizzata da Heyman¹¹, prevede tre fondamentali ipotesi semplificative sulle caratteristiche di resistenza del materiale: che la resistenza a compressione sia infinita; che sia nulla quella a trazione; che non ci siano scorrimenti tra i blocchi. Secondo questa teoria, le strutture possono essere in stati di equilibrio ammissibili, dati i carichi su di esse agenti, valutati attraverso linee di forza che devono rimanere interne alla struttura stessa, e raggiungono il loro "limite" con la formazione di cerniere (ovvero delle aperture) che ne inducono il collasso, solo dove e quando tali linee di forza incontrino il bordo della sezione muraria. L'eliminazione delle caratteristiche di resistenza e delle capacità deformative elastiche della struttura, riporta la valutazione a un problema più strettamente geometrico-dimensionale, eliminando le incertezze sulla proprietà del materiale, del quale ci si limita a conoscere, o ipotizzare, il peso in volume. Tuttavia, le strutture in muratura e, nello specifico quelle adriane in *opus caementicium*¹², possiedono una resistenza a trazione e, pertanto, attraverso gli strumenti dell'analisi limite si può ottenere una sottostima delle reali potenzialità di una certa architettura.

Con riferimento al tema dei pilastri cavi, la definizione delle loro caratteristiche compositive varia enormemente a seconda della ipotetica ammissione, o meno, della presenza di una resistenza a trazione delle murature. Canonicamente, una sezione cava (pe. in acciaio) rappresenta, infatti, una soluzione tecnicamente ottimizzata per un pilastro, in particolare perché l'allontanamento del materiale dal baricentro della sezione migliora, a parità di quantità di materiale e di resistenza a pura compressione, la risposta a sollecitazioni di flessione, quali quelle che insorgono in presenza di forze orizzontali, risposta possibile proprio per la resistenza a trazione del materiale. Associare univocamente l'idea di un pilastro cavo in muratura a quella di una sezione omogenea di materiale

11. HEYMAN, 1966.

12. Cfr. CAPOZZA E PODO-GUIDUGLI, 2006.

cava all'interno può indurre in errore, seppure corrisponda, con buona approssimazione, a una parte dei casi considerati, più specificamente quelli di ridotte dimensioni e con il nucleo cementizio continuo nell'intorno di un vuoto centrale.¹³ Assumendo, invece, le ipotesi semplificative, occorre rappresentare diversamente il meccanismo di resistenza di una struttura "cava", soprattutto se di dimensioni non modeste e non eseguita in un unico getto. Un muro semplice sottoposto a sollecitazione orizzontale trasversale, per esempio, tenderà a ribaltare, per intero o intorno a una fessura posta a una certa quota. Tale evento può essere contrastato con il posizionamento di murature trasversali, purché esse siano opportunamente collegate alla prima e poste a una distanza dal punto di applicazione della forza, sufficientemente piccola, tale da non far verificare localmente il ribaltamento. La resistenza complessiva migliora ulteriormente qualora si abbiano due murature in entrambe le direzioni, ben collegate tra loro, così da determinare un comportamento scatolare, anche qualora le masse murarie non siano significative – purché le dimensioni complessive del sistema restino ridotte – o siano parzialmente bucate da aperture, finché gli elementi verticali siano collegati gli uni agli altri con l'ausilio di strutture orizzontali. Nella prima ricognizione dei "pilastri cavi" di Villa Adriana, sono stati, pertanto, considerati tutti quei vani di modeste dimensioni, con perimetro chiuso (rettangolare, poligonale o anche mistilineo), ossia le cui murature al contorno fossero sufficientemente collegate tra loro e tali da garantire una risposta comune alla eventuale applicazione di spinte orizzontali. Chiaramente, a fronte dell'ipotesi iniziale vertente sull'uso dei pilastri cavi quale forma ottimizzata di sostegno delle strutture spingenti, la ricerca è stata focalizzata dove fosse plausibile che una tale spinta esistesse, e dunque in corrispondenza dei punti di maggior concentrazione dei carichi provenienti da volte e cupole, non obbligatoriamente oggi conservate, con particolare riguardo a quelle strutture, in cui il supporto necessario non potesse essere fornito dall'insieme di ambienti, o di sistemi voltati, adiacenti¹⁴.

2. PILASTRI CAVI ASSOCIATI A CALOTTE EMISFERICHE

Tra i primi casi individuati nell'indagine (*fig. 1*), peraltro non privo di interesse, è l'elemento che, dislocato nell'area di cd. Palazzo, in prossimità del Ninfeo orientale, Winnefeld definisce quale Vestibolo¹⁵. Si tratta di un elemento massiccio, il cui fronte prospiciente il Ninfeo è concavo, con la concavità

13. Si veda il caso di Roccabruna, CINQUE, *ivi*.

14. Come, ad esempio, avviene nel caso delle Piccole Terme (v. MARZUOLI, 2009). Cfr. LANCASTER, 2005, 134, 146-148.

15. WINNEFELD, 1895, 83 e ss., poi GUSMAN, 1904, 83 e s., che lo identifica quale vestibolo del Ninfeo.

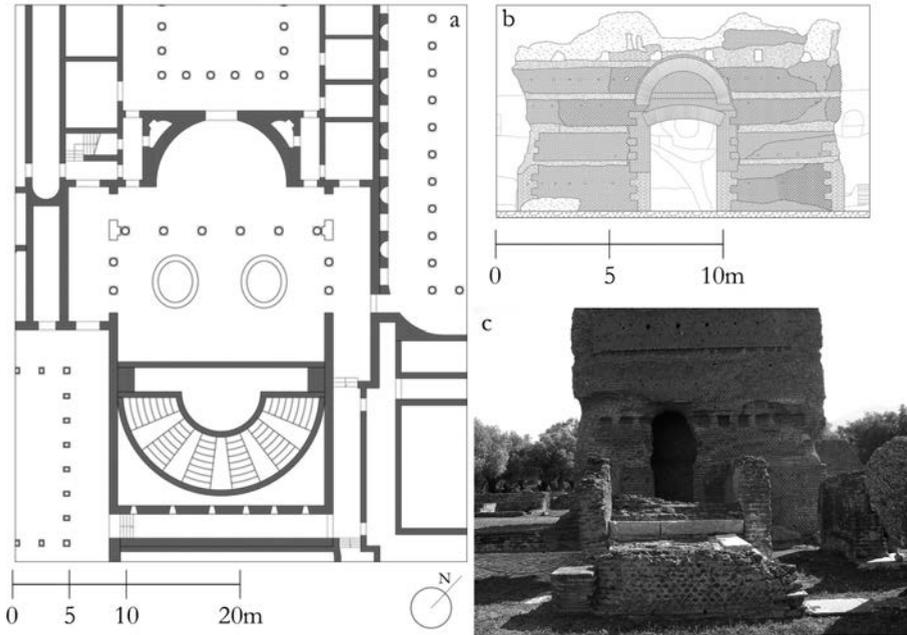


Fig. 1. (a) Pianta ricostruttiva del cd. Ninfeo di Palazzo. (b) Prospetto nord-ovest del cd Vestibolo del Ninfeo, rilievo dello stato attuale. (c) Fotografia del lato ovest con la porta di accesso alla latrina (autore).

originariamente coperta da una semicupola¹⁶, mentre il fronte opposto, come peraltro i due laterali, è rettilineo, con le murature esterne segnate dai fori di incasso per le travi di sostegno di un solaio, non chiaramente definibili se di copertura o di calpestio. Certamente riferibili a solai di calpestio sono le doppie linee di fori sul prospetto ovest, come attestato da una scala della quale si conservano i primi gradini. Gli spazi di risulta tra la parte concava e quella rettilinea sono cavi, certamente fruibili, come segnalato dalla presenza di accessi; tali spazi hanno forma planimetrica che rimanda a quella delle latrine singole, benché, diversamente da casi simili, la cavità sia mantenuta per tutta l'elevazione. Ciò lascia pensare che la scelta non dipenda univocamente dalla necessità di predisporre latrine singole quegli spazi non altrimenti fruibili, ma che abbia origine dalla consapevolezza, magari empirica, che cavità così posizionate potevano contribuire all'assorbimento delle spinte radiali della cupola¹⁷, integrando la soluzione strutturale con quella architettonica e funzionale. Una scelta analoga, confrontabile anche in termini dimensionali

¹⁶. Cfr. SALZA PRINA RICOTTI, 2001, 361 e ss., fig. 130.

¹⁷. Sul funzionamento delle calotte emisferiche v. HEYMAN, 2014, 35 e ss. Cfr. anche LANCASTER, 2005, 140.

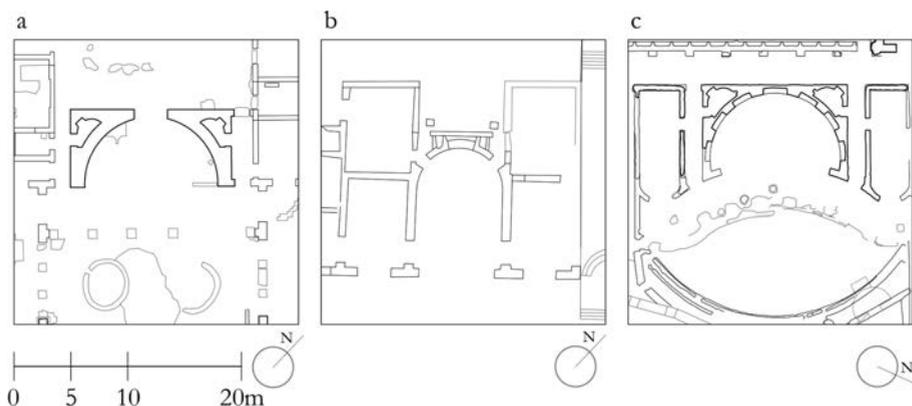


Fig. 2. Pianta dello stato attuale del cd. Vestibolo del Ninfeo di Palazzo **(a)**; del cd Triclinio Acquatico di Palazzo **(b)**; del ninfeo esterno alla cd. Piazza d'Oro **(c)** (autore).

(fig. 2), si riscontra nel ninfeo posto esternamente rispetto alla cd. Piazza d'Oro¹⁸, alla cui muratura perimetrale è addossato a nord-est. Anche in questo caso si tratta di un elemento con tre lati rettilinei e il quarto concavo e, parimenti al precedente, gli spazi di risulta sono costituiti da due ambienti, dei quali almeno il più meridionale è stato riconosciuto adibito a latrina¹⁹, entrambi accessibili da corridoi laterali ed elevazione pari a quella dell'altezza oggi apprezzabile del complesso²⁰. La medesima impostazione, per altro, potrebbe essere discussa con riferimento al catino absidale del cd. Triclinio Acquatico di Palazzo²¹, con le due latrine retrostanti nello spazio di risulta della concavità²², la cui funzione di possibile pilastro cavo potrà essere valutata solo in seguito ai risultati dagli studi, ancora in corso, mirati a evidenziare la più coerente forma ricostruttiva dell'edificio.

3. PILASTRI CAVI E VOLTA A CROCIERA

La collocazione più interessante, se non la più ricorrente dei pilastri cavi nella villa, spetta agli spazi coperti da volta a crociera²³. Le dimensioni e caratteristiche di tali pilastri sono da correlare alla luce libera del vano voltato. Procedendo, quindi, secondo un criterio dimensionale crescente, il caso minore

18. MAC DONALD E PINTO, 1997, 116 e s.

19. JANSEN, 2003, JANSEN, 2007, in seguito cfr. CINQUE, 2020, 422, fig.7.

20. V. GUSMAN, 1904, 121.

21. Per il quale si attende una pubblicazione in seguito agli studi condotti dal prof. R. Hidalgo dell'Universidad P. de Olavide di Siviglia.

22. Sull'esistenza di tali latrine si era già espressa JANSEN, 2003 e JANSEN, 2007; cfr. CINQUE, 2013 e CINQUE, 2020.

23. Con la precisazione che ci si riferisce tanto alle volte esistenti, quanto a quelle crollate, ma di cui sopravvivono tracce chiare della presenza originale, oltretutto a quelle, per le caratteristiche architettoniche degli ambienti indagati, che costituiscono la più plausibile ipotesi ricostruttiva, anche in assenza di dati archeologici certi.

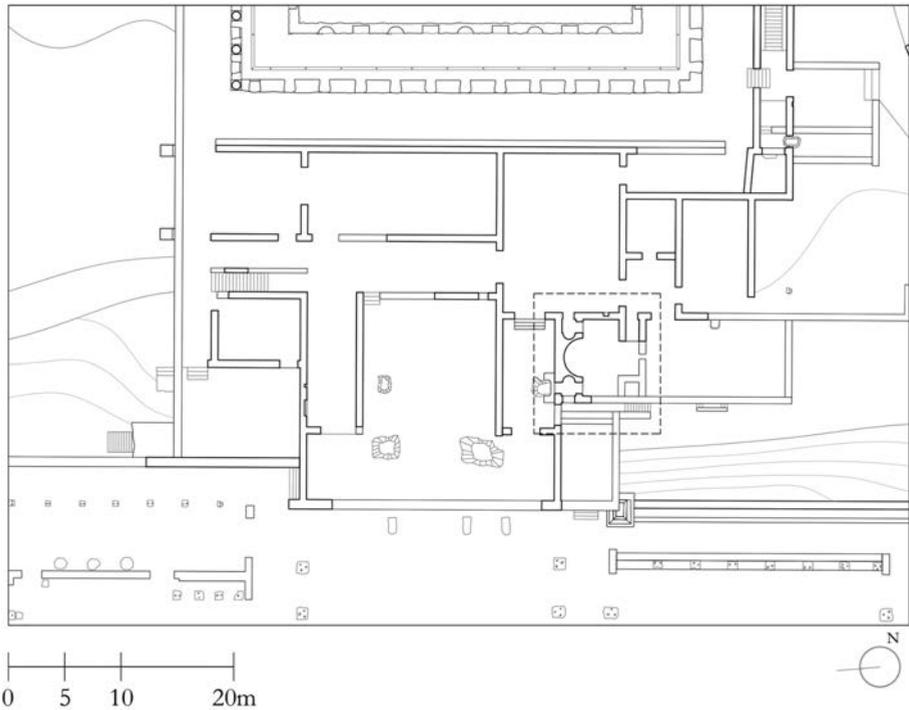


Fig. 3. Pianta dello stato attuale del piano superiore del cd. Palazzo d'Inverno (con linea tratteggiata è evidenziata la posizione del cubicolo) (autore).

è stato individuato nel cubicolo imperiale del cd. Palazzo d'Inverno (fig. 3), al quale è pienamente applicabile la definizione di *cubiculum noctis et somni* (Plin., *NH*, II, 17, 22). All'interno di un quadrato complessivo di ca 7 m di lato (fig. 4), quattro spazi angolari articolano l'ambiente configurandolo quale un vano centrale affiancato da tre recessi rettangolari, dei quali uno adibito a corridoio di accesso e gli altri interpretabili quali alcove per ospitare due *lectii*, mentre l'ultimo lato, a nord, è interamente occupato da una abside, della quale è conservata parte della calotta di copertura, parzialmente connessa, a est, dai minimi resti della volta a crociera di completamento superiore dell'ambiente e dall'unica volta a botte rimasta delle coperture delle alcove. Ciascuno degli spazi angolari è circondato da murature, in tre casi interrotte da varchi d'accesso, mentre nell'ultimo caso, a sud-ovest, è necessario ammettere l'inesistenza di porte a fronte dei resti delle murature che superano, benché di poco, la quota dell'originario calpestio. Di tali spazi, quelli disposti lateralmente al catino absidale, sono adibiti a latrine singole, accessibili dal cubicolo e dagli ambienti

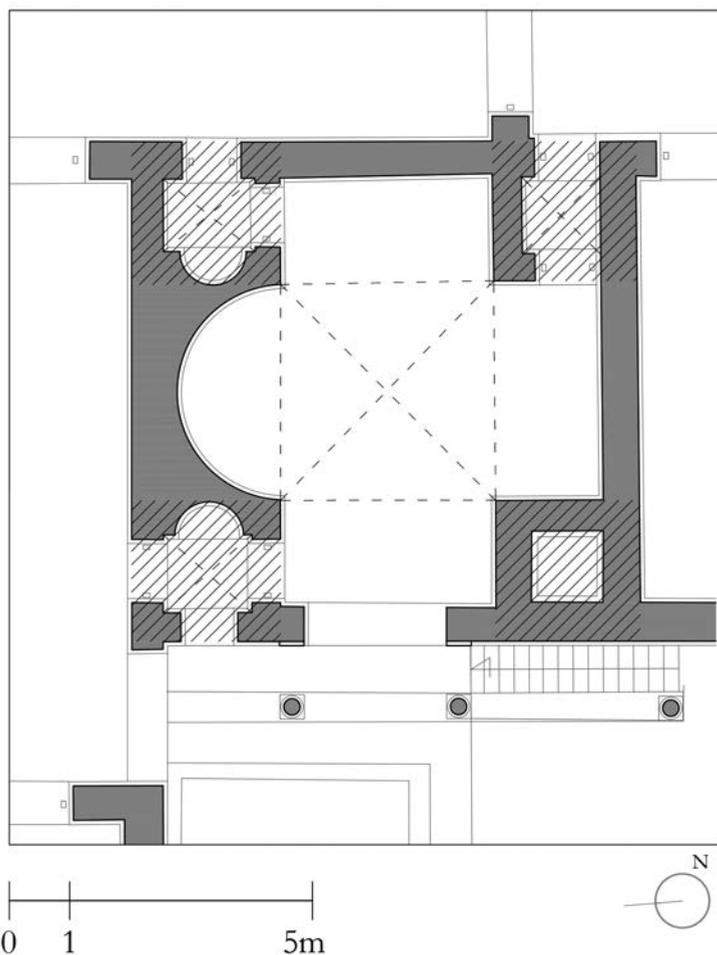


Fig. 4. Pianta ricostruttiva del cubicolo imperiale del cd Palazzo d'Inverno (con tratteggio sono evidenziati gli ingombri delle strutture a pilastro cavo) (autore).

adiacenti, rispettivamente, a est e a nord. La latrina occidentale è dotata di finestra sulla muratura ovest, frontale rispetto alla seduta, mentre entrambe conservano la copertura, a crociera, del minuscolo vano centrale e, a calotta, nella piccola esedra della seduta. Evidenti, nelle coperture, sono le tracce dell'originaria decorazione in mosaico. Il terzo volume, a sud-ovest, come i precedenti è attraversato da due varchi d'accesso al cubicolo da una anticamera, a imposta planimetrica quadrata e con volta, conservata, come sono conservate minime porzioni della decorazione pittorica, a crociera con *oculus* centrale. L'ultimo spazio angolare non mostra elementi dai quali sia possibile immaginare una

sua originaria predisposizione funzionale²⁴, data la conservazione minima delle murature in altezza. L'insieme descritto, di dimensioni tutt'altro che monumentali, contiene in sé tutti gli elementi di perfetta integrazione tra architettura, funzione e struttura già discussi. Analizzando il rapporto tra luce libera della volta e spessore della sola muratura interna di sostegno, in direzione longitudinale e diagonale, secondo la «*rule of thumb*» proposta da Lancaster²⁵, si ottengono, rispettivamente, i rapporti di 6.4 e 9, quest'ultimo superiore rispetto a tutti i valori pubblicati e, in particolare, alla soglia "critica" del rapporto 1:8 per la diagonale²⁶. Ciò testimonia che i progettisti di Adriano si sono spinti, benché di poco, oltre i canonici limiti proporzionali adottati per quella tipologia. Non è da escludersi, quindi, che la disposizione dei pilastri angolari cavi fosse, oltre che un'esigenza compositiva, un modo conscio per aggiungere volumi murari nelle due direzioni che ponessero in maggior sicurezza la struttura²⁷. La presenza di una intera cavità potenzialmente inutilizzata può essere giustificata da ragioni di simmetria compositiva, ma ancora una volta queste sono funzionali tanto agli aspetti statici che compositivi.

Raffrontando il cubicolo appena descritto con la situazione che emerge nel cd. Padiglione di Tempe, è possibile supporre, anche in questo caso e per l'ambiente di maggiori dimensioni, affacciato sul fianco est della valle, l'ipotesi di una soluzione con volta a crociera e pilastri cavi. La porzione conservata mostra cenni dai quali supporre la destinazione d'uso volta a ospitare un fastoso cubicolo imperiale, come testimoniato da una latrina singola e da resti della decorazione pavimentale in *opus sectile*. Successivi indizi murari permettono di immaginare l'articolazione dell'ambiente, in particolare quando analizzati con riferimento alle fonti storiche che affermano la presenza di ulteriori latrine²⁸. L'insieme di numerosi restauri poco accorti, peraltro, fornisce indicazioni tutt'altro che di supporto all'indagine: murature elevate completamente *ex novo*, nonché la formidabile porta aperta nel vano di seduta della latrina e lo spesso strato di cocciopesto che forma il piano di calpestio, oltre ad annullare preziosi dettagli prima esistenti *in situ*, riducono ulteriormente i dati validi per la formulazione di una ipotesi ricostruttiva. Restano, però, cenni di murature oltre

24. Cfr. SALZA PRINA RICOTTI, 2001, 361 e ss.

25. LANCASTER, 2005, 135.

26. Confrontando invece lo spessore totale dei pilastri cavi con la luce della volta, si ottengono rapporti inferiori a 2, quindi un ampio margine di sicurezza.

27. Si rileva che se fossero stati criteri proporzionali semplici, quali quelli applicati, a determinare il dimensionamento della struttura, considerare i soli setti interni alla stanza come resistenti, ovvero gli interi pilastri cavi, non produce differenze

in direzione longitudinale, mentre cambia di molto il valore in direzione radiale. Il processo ideativo può, pertanto, essere pensato "al limite" con la sola muratura interna, irrigidita poi dai setti trasversali, a vantaggio di sicurezza, e richiesta per esigenze architettonico/funzionali ai lati.

28. PENNA, 1824, 21 e tav. 21; GUSMAN, 1904, 105: "A l'angle de la terrasse s'élève encore un édicule isolé, renfermant des latrines privées qui ont conservé leur cuvette et leur tuyau de descente.". Cfr. GUSMAN, 1904, fig. 147.

il piano pavimentale e tracce delle loro elevazioni sui muri cui erano ammassate. Questi, associati alle indicazioni fornite dalla letteratura storica, permettono di immaginare che l'ambiente, come il cubicolo del Palazzo con Criptoportico e peschiera, abbia presentato una pianta articolata a formare recessi e alcove, con pilastri cavi disposti negli angoli, per sorreggere la copertura, a questo punto immaginabile a crociera.

4. I PILASTRI CAVI DELLA VOLTA A CROCIERA NELL'EDIFICIO CON TRE ESEDRE

L'ipotesi seminale, già da tempo formulata da Cinque²⁹, volta a ritenere che il Corpo Trilobato dell'Edificio con Tre Esedre abbia avuto una copertura a crociera, costituisce il limite superiore, tecnologico e dimensionale, di questa modalità di impiego dei pilastri cavi. Rispetto agli esempi trattati in precedenza, valutabili quali un lieve superamento dei limiti delle analoghe costruzioni antecedenti ad Adriano, quello del Tre Esedre, difatti, non è giustificabile attraverso generiche regole geometriche di dimensionamento riportate nella letteratura e neppure con confronti proporzionali con casi analoghi³⁰, benché sia assodato che il progetto di strutture murarie, in particolare di quel tipo, a copertura spingente, è governato da semplici regole geometriche³¹, tramandate fino all'età moderna, quando a partire dagli studi di Galileo inizia la strutturazione della scienza delle costruzioni, come oggi intesa³². Prima di quel momento concetti quali sforzo, sollecitazione, rigidità e resistenza del materiale sono stati intuiti attraverso alcune loro manifestazioni specifiche – per i costruttori romani avevano cognizione del problema della fessurazione del calcestruzzo e, come dimostrato dall'uso del ferro³³, avevano qualche intuizione in merito agli sforzi di trazione. Pertanto, nell'intento di interpretare la logica progettuale e costruttiva delle volte adriane, occorre innanzitutto comprendere come potessero essere intesi, al tempo di cui si tratta, la geometria e il corretto proporzionamento modulare degli elementi strutturali: un esercizio, però, il più delle volte inadeguato per descrivere un contesto ricco di esperimenti progettuali e tecnologie innovative quale è Villa Adriana³⁴. Utilizzare strumenti di analisi

29. CINQUE, *ivi*.

30. Applicando la già citata "rule of thumb" di Lancaster si otterrebbe, in direzione diagonale, un rapporto prossimo a 30 tra luce e spessore murario, quindi circa quattro volte maggiore del rapporto limite della costruzione romana, ben lontano anche dagli esempi precedentemente esposti.

31. Cfr. CIPRIANI *ET AL.*, 2017.

32. Come attesta tra molti Heyman, seppure con particolare riferimento alla costruzione gotica in pietra (HEYMAN, 2014, cap. 8).

33. In particolare nelle piattabande e colonne armate, cfr. AMICI, 2016.

34. Basti citare il caso della copertura piana in conglomerato cementizio del Corpo Tripartito dell'Edificio con Tre Esedre, peraltro immediatamente adiacente al caso considerato. V. ABRUZZESE *ET AL.*, 2005. Cfr. anche SALZA PRINA RICOTTI, 2001, 231 e ss.

contemporanei per validare ipotesi inerenti alla statica delle coperture nella Villa Adriana è, quindi, un procedimento che assume qui un altro significato, utile a indurre un ampliamento del panorama delle ipotetiche soluzioni ricostruttive, difficilmente comprensibili con l'unico supporto delle regole note del tempo –che pure hanno funzionato per molti casi coevi–, compatibile con l'audacia delle strutture superstiti.

Il processo condotto per giungere all'ipotesi, muoveva dalla conoscenza di estremo dettaglio dell'edificio e dell'insieme di complessi all'intorno, per giungere alla formulazione di una idea pienamente coerente con i dati presenti in *situ*, oltreché con considerazioni a carattere squisitamente architettonico, sviluppate anche attraverso analisi di ordine percettivo sulla qualità degli spazi ricostruiti. L'ipotesi, peraltro, è stata successivamente valutata mediante calcoli strutturali condotti con il metodo della modellazione a elementi finiti della struttura³⁵. Le verifiche del modello a elementi finiti³⁶, indurrebbero a confermare l'ipotesi di una copertura a crociera, allungata in due elementi a botte in direzione del lato maggiore del rettangolo di imposta, poggiata su quattro pilastri cavi profondamente svuotati da una porta su ciascun lato. Ognuno è composto di quattro pilastri angolari collegati a coppie da piattebande, sulle quali una ridotta porzione di muratura piena consente di alloggiare un solaio –supposto piano per semplificazione del modello– che redistribuisce gli sforzi tra i quattro piedritti. Una prima analisi della struttura descritta, evidenzia come questa, tuttavia, entrerebbe in crisi per un moltiplicatore di carico leggermente inferiore a 1. Ciò significa che non sarebbe stata in grado, seppure di poco, di sopportare il suo peso proprio. Noto che per un periodo di tempo, quanto meno fino al IV secolo, la struttura era funzionale, il calcolo successivo è stato riformulato tenendo conto dell'insieme degli elementi al contorno che potessero contribuire alla resistenza complessiva del sistema, aggiungendo al modello le murature curve degli emicicli. In questo modo la struttura risulta pienamente capace di sostenere i suoi carichi verticali permanenti, con valori di resistenza del materiale prossimi al limite alle reni e in chiave degli archi che compongono la volta, secondo una distribuzione, canonica per la tipologia, delle potenziali fessure. La crisi complessiva, invece, è stata stimata attraverso diversi *step* di carico, prossima a un valore pari a 2.1 volte il peso proprio degli elementi. Con questo modello è possibile dimostrare, dunque, la plausibilità di una soluzione che sfrutta, a fini strutturali, ogni porzione muraria del complesso,

35. V. SILVESTRI 2006.

36. Più esattamente, si tratta di una macro-modellazione, in cui il materiale è omogeneizzato per caratteristiche

meccaniche, senza tenere conto della distinzione tra blocchi e malta, ovvero degli elementi di giunzione o del comportamento di interfaccia tra materiali distinti.

trasformando i percorsi perimetrali in una sorta di cavalletti di rinforzo dei pilastri: una soluzione che potrebbe, peraltro, essere migliorata dalla presenza di accorgimenti quali, ad esempio, architravi armate sui colonnati interni, analoghe ad altre documentate nella villa. In definitiva, si tratterebbe, dunque, di una progettazione integrata, nella quale l'idea formale, associata all'esigenza funzionale, diventa uno strumento di dissimulazione delle soluzioni statiche.

5. I PILASTRI CAVI DELLE GRANDI TERME

Pur avendo per ora omesso la trattazione degli aspetti di evoluzione storica delle sale crocierate nella costruzione romana, questi sono ineludibili nel caso del *frigidarium* delle Grandi Terme. Come diffusamente riportato nella letteratura, infatti, i grandi edifici termali imperiali costituiscono il principale campo di prova per la sperimentazione costruttiva delle volte a crociera³⁷. Le Grandi Terme di Villa Adriana possono, più agevolmente di altri e sorprendenti complessi residenti nel medesimo sito archeologico, essere sottoposte a un confronto diretto con edifici della medesima tipologia, in virtù della loro architettura “più conservatrice”³⁸. Nell'ambiente del *frigidarium* si conserva gran parte della originale volta a crociera (*fig. 5*). Nella configurazione superstite, questa mostra una forma a tripode, con due vele integre appoggiate su mensole in travertino a sbalzo, e costituisce un caso di modificazione del meccanismo resistente di una muratura certamente più affascinante del corrispettivo integro³⁹. La volta replica una soluzione consolidata per la copertura di uno spazio rettangolare, ossia quella di limitare la crociera vera e propria a un quadrato centrale, prolungandone la volta a botte generatrice nella direzione maggiore, andando a colmare il vuoto residuale⁴⁰. Ne deriva che le mensole di sostegno non vengono a trovarsi in corrispondenza di angoli pieni, ma sono alloggiare lungo le pareti est ed ovest della sala, e tale posizione, quando analizzata in termini statici, è sfavorevole, se si considera che qui convergono, in direzione parallela alle costole diagonali, tutte le forze orizzontali. Secondo tale schema, quindi, gli spessori esigui delle murature possono offrire sostegno nella direzione longitudinale, e solo in misura molto minore nella trasversale. Si può notare, inoltre, che proprio in corrispondenza degli angoli della crociera non sono presenti inspessimenti all'esterno delle murature del *frigidarium*, mentre si individuano tre ambienti di ridotte dimensioni, le cui caratteristiche costruttive rimandano, ancora una volta, alla tipologia del pilastro cavo. I due

37. RIVOIRA, 1925, 99. e ss. Cfr. WULF-RHEIDT, 2012.

38. MAC DONALD E PINTO, 1997, 88.

39. Cfr. CANGI, 2011, 184 e ss.

40. RIVOIRA, 1925, 99. e ss.

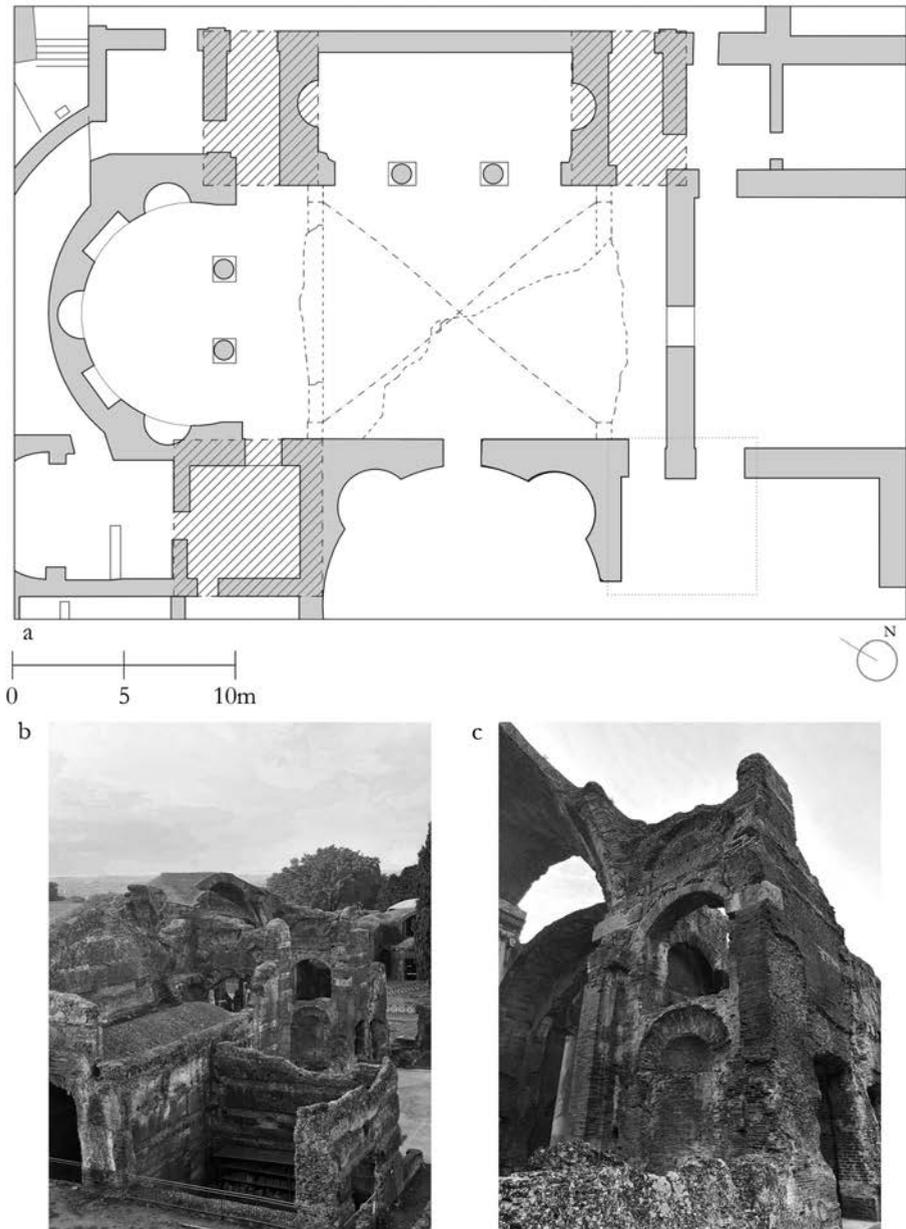


Fig. 5. (a) Pianta dello stato attuale delle Grandi Terme (con linea tratteggiata sono indicate le proiezioni dei resti della volta, con tratteggio la posizione delle strutture a pilastro cavo, con linea puntinata la posizione indicativa del pilastro cavo mancante a sud-ovest). **(b)** Fotografia del complesso dall'alto, visto da est. **(c)** Dettaglio fotografico del pilastro cavo nell'angolo nord-est (autore).

anditi che fiancheggiano la vasca orientale, a nord e a sud, consentono il collegamento tra il *frigidarium* e la palestra e si configurano come due torri a tre livelli, in ciascuno dei quali un sistema di archi perimetrali può garantire la ripartizione delle forze anche in presenza di varchi murari. Le murature dei due vani ordite in direzione est-ovest, inoltre, corrispondono alla posizione delle mensole e, al termine della sala, quindi, sono funzionali tanto al sostegno della volta a crociera che delle due botti terminali. A nord-ovest, ancora, l'ambiente che Salza Prina Ricotti individua quale *tepidarium* della sezione femminile⁴¹, ha una dimensione trasversale leggermente maggiore con la muratura terminale non allineata rispetto a quella della sala adiacente; le sue dimensioni, tuttavia, possono ancora far supporre un contributo utile al rinforzo dell'angolo della crociera.

Assolutamente diverso dai tre descritti è l'ambiente a sud-ovest, costituito da una vasta sala, in origine destinata a *tepidarium*, e tale diversità non può non essere valutata in relazione al crollo della volta proprio nel medesimo angolo.

Sebbene le ragioni effettive del crollo siano pressoché impossibili da determinare, dovendole necessariamente valutare rispetto a un numero di possibili cause troppo ampio⁴², oltretutto in assenza di qualsivoglia notizia storica in merito⁴³, sembra assai concreta la possibilità che l'asimmetria planimetrica del complesso, corrispondente a una asimmetria strutturale nella distribuzione dei nuclei irrigidenti descritti, possa avere determinato –pur essendo la struttura sufficiente al sostegno dei carichi propri al momento della sua costruzione– con il trascorrere del tempo e a fronte dell'insorgenza di un qualche fattore critico esogeno peggiorativo, una crisi di resistenza delle murature corrispondenti alla mensola sud-ovest, comportando un cedimento dell'appoggio della costola, dal quale è stato indotto il collasso dell'arco diagonale e, di conseguenza, delle vele da esso portate⁴⁴.

Con specifico richiamo alle ragioni per le quali il complesso viene realizzato con una evidente asimmetria planimetrica, prevalentemente apprezzabile nell'assenza del quarto pilastro cavo in favore della sala del *tepidarium*, la questione non è facilmente risolvibile, benché potrebbe essere evidenziato almeno uno dei requisiti di base alle scelte progettuali, vertente sulla necessità di estendere il complesso verso sud, fino alla linea di spiccato dell'impianto sostruttivo del cd. Pretorio (*fig. 6*), allo scopo di occultare ai fruitori provenienti

41. SALZA PRINA RICOTTI, 2001, 231 e ss.

42. Cfr. GIULIANI, 2011, 3 e ss.

43. Si ricorda che la volta di Grandi Terme è documentata in tutte le fonti moderne già nella configurazione a tripode.

44. Questa ipotesi è attualmente in corso di verifica, da parte di chi scrive, attraverso più approfondite analisi di natura strutturale.

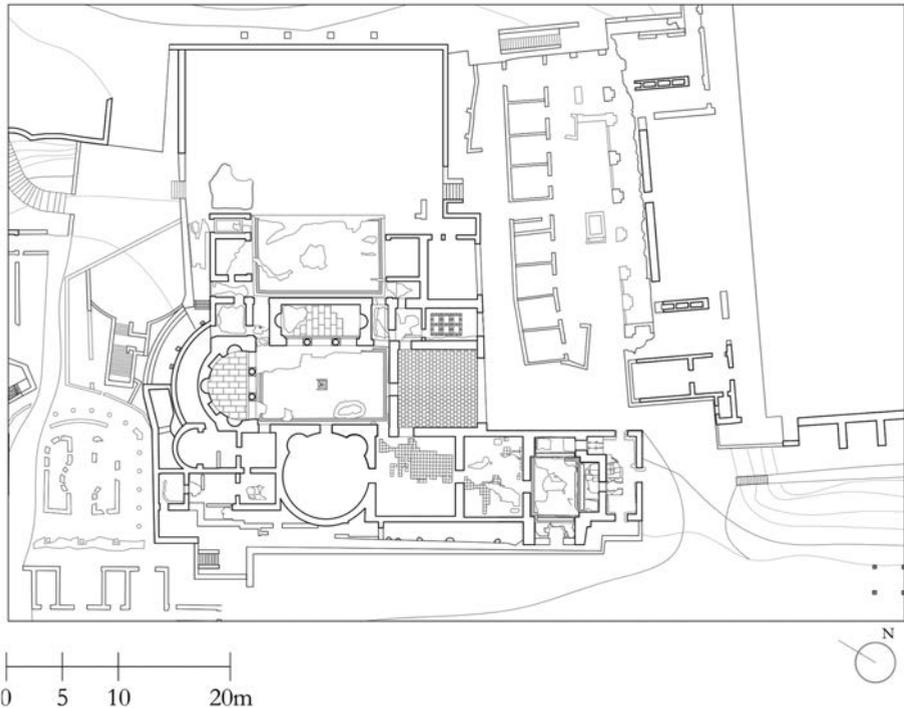


Fig. 6. Pianta dell'area di Grandi Terme e cd. Pretorio, dalla quale è possibile apprezzare il prolungamento del complesso di Grandi Terme verso sud (autore).

dai vestiboli e diretti al Canopo, o viceversa, l'area, certamente non aulica⁴⁵, interposta tra il cd. Pretorio il grande complesso termale⁴⁶. A tal ragione, dunque, l'inserimento del quarto pilastro cavo avrebbe indotto alla formazione di un ambiente planimetricamente irregolare e non soddisfacente all'ottimizzazione funzionale preposta.

Dal punto di vista dei riscontri tipologici in altre costruzioni simili, particolarmente utile è la ricerca pubblicata da Wulf-Reidt⁴⁷ con riferimento all'evoluzione delle coperture a crociera, dalla quale si osserva come già nella planimetria delle Terme di Tito⁴⁸, negli spazi corrispondenti agli angoli di tali coperture, si trovino vani che, sebbene affiancati a massicce murature, sono interpretabili quali pilastri cavi, di dimensioni e caratteristiche raffrontabili con quelli fin qui descritti. A seguire, soluzioni simili si osservano nelle terme di Nerone e in quelle di Traiano, la cui attività costruttiva è notoriamente un

⁴⁵. Cfr. ERAMO, 2020, 608.

⁴⁶. La medesima necessità, nell'area nord, tra le Piccole e le Grandi Terme, è risolta con l'inserimento del maestoso giardino del Grande Vestibolo.

⁴⁷. WULF-RHEIDT, 2012. V. in particolare fig. 2.

⁴⁸. Ammesso che il disegno che ne esperisce Palladio corrisponda all'impianto realmente esistito. Cfr. RIVOIRA, 1925, 99 e ss., BENFANTE, 2020, 256.

riferimento per Adriano. I pilastri cavi delle terme di Tito costituiscono, quindi, il principale prodromo di pilastro cavo, nelle costruzioni imperiali, individuato allo stato attuale della ricerca.

6. PILASTRI CAVI PER LE COPERTURE AD IMPIANTO OTTAGONALE

Nella volontà di indagare quanto i pilastri cavi rappresentino un perno del processo di innovazione che ha consentito il raggiungimento del primato di Adriano nella costruzione di volte e cupole, non è possibile, ovviamente, prescindere dalla ricerca di tali soluzioni in quelle strutture che, più di tutte, sono iconiche per tale primato: le cupole composite concavo-convexe su impianto a geometria ottagonale. Di recente, è stata formulata la tesi secondo cui le due fasi principali della costruzione di Villa Adriana (118-121 d.C., 124-128 d.C.) possano corrispondere alla costruzione, nel corso della prima fase, di volte di geometria già canonizzata, mentre alla seconda spetterebbe la sperimentazione formale più estremizzata⁴⁹, pur ammettendo che all'interno della Villa alcuni edifici del primo periodo servano quali test in scala per la costruzione di altri, successivi e più monumentali⁵⁰. Se alla tesi potrebbe essere opposto il celebre aneddoto riportato da Dione Cassio in merito alle zucche, da cui sembra evidente che le cupole composite abbiano costituito terreno di indagini adrianee già in età giovanile, l'adozione di pilastri cavi anche per le geometrie più complesse si configura come ulteriore elemento di forte continuità nel processo di innovazione delle strutture, declinato in maniere compatibili con le geometrie più audaci.

7. PIAZZA D'ORO

Il caso della cd Piazza d'Oro costituisce un utile approfondimento. Nel dibattito sulla possibile copertura del padiglione ottagonale a sud-est del complesso⁵¹, lo studio e i calcoli statici di recente pubblicati da Hansen e Nielsen⁵², forniscono un fondamentale apporto a sostegno della tesi di un consapevole utilizzo di pilastri cavi nella costruzione della Villa Adriana. Al fine di confutare l'accusa di una, generica, impossibile arditezze della soluzione proposta da Hansen, l'accurato studio, impostato sui principi dell'analisi limite, fornisce risultati ammissibili

49. V. CIPRIANI *ET AL.*, 2020, 554-555.

50. V. CINQUE E LAZZERI, 2011, 62-63.

51. Riassunto in MONETI, 1992, 1 e ss.; confronta anche OTTATI, 2022, p. 82 e ss. Le principali alternative per la soluzione del problema sono proposte da KÄHLER, 1950, HANSEN, 1960 e RAKOB, 1967.

52. HANSEN *ET AL.*, 2011 e NIELSEN *ET AL.*, 2011. Tali indagini, unitamente a quanto dimostrato da Moneti (MONETI, 1992), fanno propendere per l'accettazione della ricostruzione di Hansen.

rispetto alla stabilità della struttura ipotizzata, risultati basati sull'ipotesi che gli spicchi convessi e concavi⁵³ trasmettano le forze in due definite maniere diverse⁵⁴. In termini estremamente semplificati: i primi, equilibrati in chiave con i simmetrici corrispondenti, agiscono come una serie di semi-archi semplici –o, per meglio visualizzare il concetto, come un solo semi-arco a sezione orizzontale crescente–scaricando il peso in direzione radiale alla cupola; i secondi, invece, sono equiparabili a unghie con colmo rampante e, pertanto, tramettono il peso verso i propri spigoli laterali, che fungono da costole, come avviene nelle più usuali volte a crociera. Ribaltando il problema in relazione al sostegno fornito dalle murature di base, quelle curve, sulle diagonali dell'ambiente, sono in grado, proprio in virtù della loro curvatura, di equilibrare la spinta degli spicchi convessi attraverso la formazione di archi orizzontali (tenendo conto solo della componente orizzontale del carico), mentre le murature lineari corrispondenti agli spicchi di volta concavi sono liberate da tale onere, andando le azioni a convergere in direzione degli spigoli verticali tra pareti curvilinee e rette. Le murature in cui si materializzano tali spigoli, fungono, pertanto, da pilastri di sostegno dell'intera struttura e, secondo i detti calcoli, sono di dimensioni e peso sufficienti a evitare il crollo della volta. Tuttavia, nelle conclusioni dello studio, gli autori concordano sul fatto che l'aggiunta di contrafforti murari ai pilastri, più deboli, a sud-ovest e sud-est, ma ancora di più la distribuzione nel “complesso di muri intorno alla sala centrale” di “muratura a sufficienza nella direzione della lunghezza dell'edificio”⁵⁵ fossero un contributo consapevole dei costruttori⁵⁶ alla stabilità dei pilastri semplici e al contrasto dell'insorgere di fenomeni fessurativi, seppure in maniera non sufficiente a far sopravvivere la copertura fino ai tempi odierni.

Tali sufficienti murature (*fig. 7*) sono da individuarsi prevalentemente nelle sei latrine a pianta rettangolare disposte, in corrispondenza degli altrettanti pilastri

53. A proposito del lessico scelto per la distinzione delle due tipologie, viene, utilmente, esplicitato che “queste annotazioni si riferiscono al volume visto dall'interno” (NIELSEN *ET AL.*, 2011, 102). Tali definizioni, non essendo univoche, forniscono lo spunto per una necessaria precisazione. Elementi quali quelli che compongono la copertura della Piazza d'Oro sono, comunemente, definiti spicchi di vela (o veloidici). Definendo quale “vela” una porzione di cupola – la superficie generata dalla rotazione di un arco intorno al suo asse di simmetria – si rileva che questa è per definizione una superficie convessa, intendendo che ogni segmento, che unisca due suoi punti qualsiasi, rimane racchiuso all'interno del volume delimitato dalla superficie medesima. Per il caso della Piazza d'Oro, gli spicchi in questione sono in realtà due differenti tipologie di superfici a doppia curvatura, come è semplice evincere dalle sezioni pubblicate in HANSEN

ET AL., 2011, NIELSEN *ET AL.*, 2011. Gli spicchi “concavi” corrispondono più esattamente a una superficie in cui ciascuna curvatura, in due direzioni ortogonali, ha medesimo segno o “verso” (doppia curvatura sinclastica). Questa definizione è compatibile con quella di “spicchio di vela” sopra descritta e di generica superficie “convessa”. Viceversa, gli spicchi “convessi” sono superfici a doppia curvatura di segno opposto (o anticlastica), generata da una geometria differente da quella di una cupola di rotazione.

54. Uno dei fondamenti dell'analisi limite consiste, difatti, nell'asserzione che non esista una sola condizione di equilibrio ammissibile per le forze nella struttura, ma che sia sufficiente trovarne una ammissibile per dimostrarne la stabilità.

55. NIELSEN *ET AL.*, 2011, 117.

56. HANSEN *ET AL.*, 2011, 85.

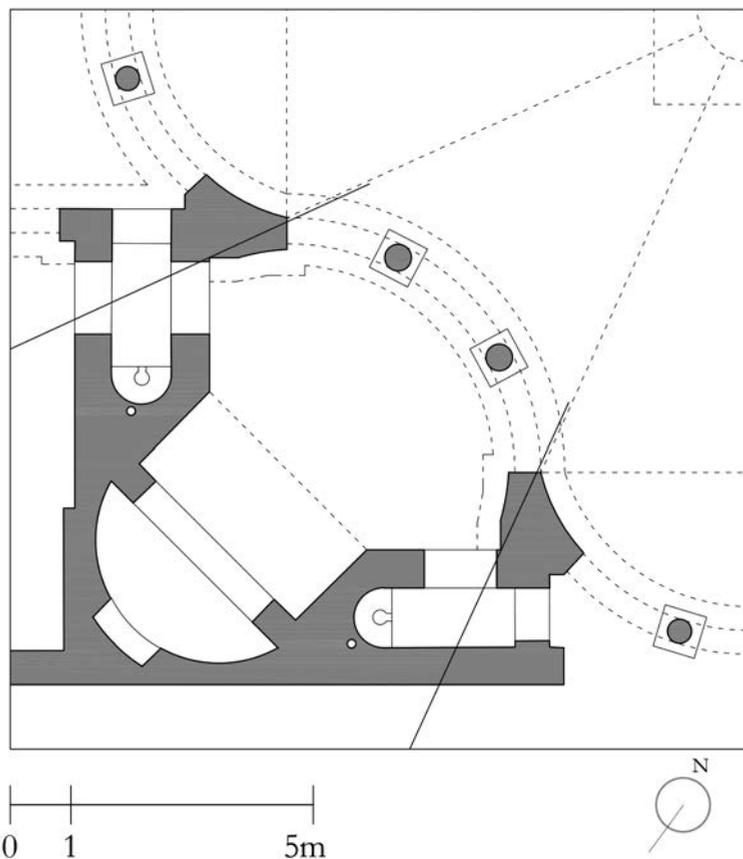


Fig. 7. Pianta ricostruttiva dell'angolo nord del Padiglione ottagonale della cd. Piazza d'Oro, con indicata la direzione della risultante delle forze provenienti dalla copertura in relazione alla distribuzione delle latrine. (Rielaborazione dell'autrice, sulla base di HANSEN *ET AL.*, 2011, e NIELSEN *et al.*, 2011).

murari –ad esclusione dei due contraffortati sul lato sud-est–, in direzione longitudinale o trasversale rispetto all'asse di simmetria del padiglione. L'orientazione alternata, oltre a essere motivata da ragioni compositive, è utile a far ricadere la direzione della risultante delle forze⁵⁷ all'interno del perimetro del pilastro cavo. Le latrine presentano, quindi, tutte le caratteristiche, ivi inclusa la destinazione funzionale, già rilevate nei casi di pilastri cavi discussi per geometrie più semplici. Esattamente come per le volte a crociera, la genesi della soluzione sembra mossa dal bisogno di aggiungere, in due direzioni indipendenti, muri di rinforzo che non siano liberi, ma collaboranti all'interno di un sistema scatolare,

⁵⁷. NIELSEN *ET AL.*, 2011, 115 e fig. 17.

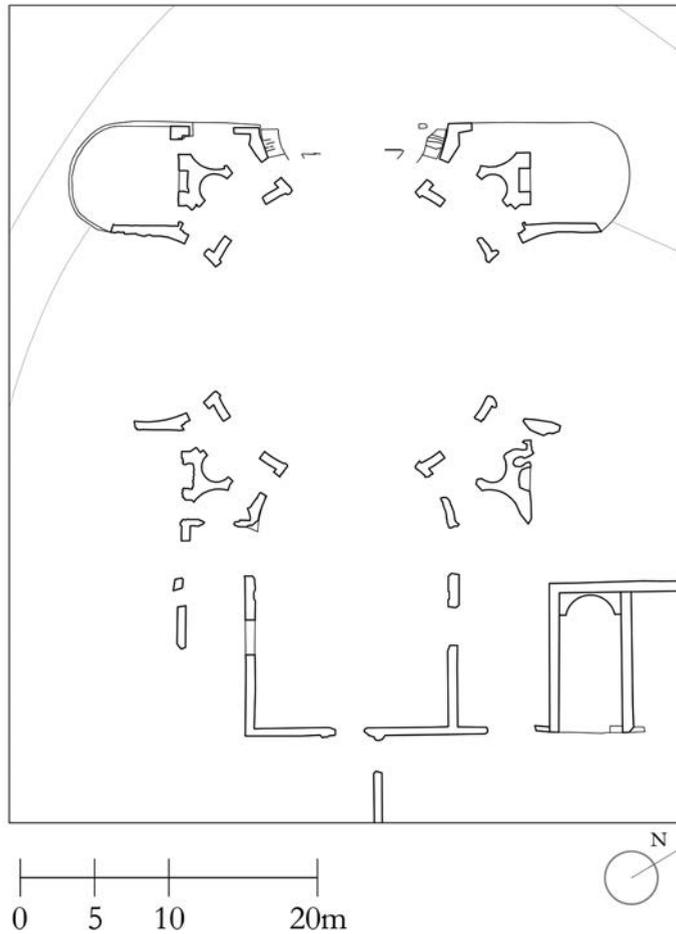


Fig. 8. Pianta dello stato attuale del cd. Atrio Mistilineo dell'Accademia (da rilievo A. Ottati).

garantendo sufficiente supporto rispetto alle spinte provenienti dalla volta.

8. L'ATRIO MISTILINEO DELLA CD ACCADEMIA

L'ultimo caso preso in esame riguarda il sistema di copertura del complesso dell'Atrio Mistilineo⁵⁸ (fig. 8), appartenente all'area della Villa, esterna alla attuale proprietà demaniale, nota quale Accademia. Il complesso in esame costituisce il fronte nord-occidentale dell'area, situata su un vasto terrazzamento rialzato, il

58. Per una trattazione completa sull'Atrio Mistilineo, si rimanda alla monografia di Ottati (OTTATI, 2022, cap. 3), che include la coerente e approfondita analisi delle evidenze archeologiche, delle fonti storiche e della bibliografia

precedente, oltreché i rilievi del complesso. Tali rilievi sono confluiti anche nell'aggiornamento 2018 della Pianta del Centenario (v. ERAMO E OTTATI, 2018). V. anche OTTATI, 2017, OTTATI, 2018, OTTATI, 2020.

cui perimetro esterno è retto da possenti sostruzioni. L'edificio definiva l'ingresso monumentale all'insieme dei complessi che compongono l'Accademia⁵⁹. Ad oggi le strutture superstiti sono limitate prevalentemente a quelle del podio basamentale a nord-ovest e a quattro gruppi di murature, disposti con simmetria radiale, dei quali quello meridionale è il più deteriorato e meno conservato in elevato. La peculiare geometria dei resti, sintomatica del carattere monumentale e estremamente sperimentale della costruzione⁶⁰, ha attirato da sempre l'attenzione degli studiosi, che hanno proposto differenti ricostruzioni del complesso. Allo stato attuale degli studi, seppure esistano ancora alcune incertezze sulla disposizione delle scale di accesso sui quattro fronti, la letteratura è concorde nell'individuare i quattro nuclei simmetrici quali angoli, con fronte concavo⁶¹, di un padiglione ad impianto mistilineo su geometria ottagonale, il cui perimetro era chiuso, negli attuali vuoti, da colonnati convessi. Se, con alcune differenze, esiste una concordanza sull'impianto originale del complesso, assai problematica rimane la questione della soluzione di copertura, sulla quale sono state formulate diverse ipotesi, che, in assenza di evidenze archeologiche univoche, fondano su considerazioni di carattere geometrico, architettonico e strutturale. Tali ipotesi⁶² sono riconducibili a due principali: quella che prevede una copertura leggera, lignea⁶³, e quella di una copertura curva, massiva, in calcestruzzo, seppure quest'ultima sia fortemente messa in discussione dalla eccessiva, apparentemente, snellezza delle murature di supporto⁶⁴. Il tema dei pilastri cavi costituisce un importante elemento di integrazione alla lettura del problema.

La configurazione di ciascuno dei quattro pilastri cavi, nella loro consistenza originale, definiva un corridoio con impianto ad arco di corona circolare, sul quale si aprivano cinque porte, concluse da piattebande e nelle murature radiali, presumibilmente, soprastate da finestre delimitate da una seconda piattabanda. La muratura concava, che separava il corridoio dall'ambiente centrale del padiglione, era conclusa da due spallette murarie di curvatura opposta alla precedente, che definivano la curva di imposta dei colonnati e, in continuità, dello spiccato delle murature radiali del pilastro cavo. Alle spalle della prima, una seconda muratura concava, concentrica, costituiva uno dei lati di un nucleo murario massiccio a base mistilinea, pressoché triangolare, parzialmente svuotato da nicchie, ma pieno fino ad una altezza leggermente inferiore alla

59. Il complesso è definito anche quale padiglione-belvedere (MAC DONALD E PINTO, 111).

60. Cfr. OTTATI, 2022, 246 e ss.

61. Mantenendo la convenzione di guardare la struttura dall'interno.

62. Cfr. OTTATI, 2022, 100 e ss.

63. KAHLER, 1950.

64. HANSEN *ET AL.*, 2011; OTTATI, 2022.

quota di imposta della copertura dello spazio anulare. Tale copertura, sulla base delle evidenze archeologiche e compatibilmente con considerazioni di carattere strutturale, era una volta a botte anulare.

Il contributo di simili strutture è da porre in relazione alla possibile geometria della copertura, che nella sua conformazione in conglomerato cementizio costituirebbe la più ardita delle coperture costruite nella villa, in relazione, soprattutto, al rapporto luce libera-spessore murario.

Con riferimento alle coperture massive, è ancora Hansen⁶⁵ a proporre una cupola suddivisa in otto settori, con oculo centrale aperto. In tale ricostruzione, in corrispondenza delle murature concave dei corridoi, la geometria dei settori corrisponde a quella di una cupola emisferica, impostata sulla circonferenza determinata da dette murature. La scansione delle otto parti si ottiene dall'intersezione dell'emisfera con quattro vele convesse, corrispondenti agli spazi dei colonnati, di impostazione analoga alle vele convesse della Piazza d'Oro.

Ciascuna porzione della copertura, in questa configurazione, esercita una azione in direzione radiale sulla corrispondente porzione di muratura del tamburo. In corrispondenza dei colonnati tale muratura, superiore alla quota delle trabeazioni dei colonnati, segue l'andamento planimetrico convesso. Si innesca, pertanto, un comportamento resistente ad arco orizzontale che fa convergere le spinte nella direzione delle murature radiali del sistema a pilastro cavo. Nelle porzioni emisferiche la spinta è invece garantita dalle murature tangenziali del medesimo pilastro. La ricostruzione è corredata da analisi strutturali che ne dimostrano l'ammissibilità. Osservando le linee di forza complessive generate dai carichi⁶⁶, appare evidente come sia fondamentale, per l'equilibrio del tamburo, la presenza di un riempimento estradossale che consente di verticalizzare le forze e contenerle all'interno della snella sezione muraria, unitamente alla spinta di rinfianco dalla botte anulare che copre il corridoio. Il sistema del pilastro cavo è, quindi, una raffinata soluzione che compone due murature radiali –deputate al sostegno delle porzioni di copertura sui colonnati– e due murature tangenziali, collaboranti attraverso la volta a botte di copertura, preposte al sostegno delle porzioni emisferiche.

Con riferimento alla proposta di Hansen, Ottati solleva alcuni dubbi a carattere sia percettivo che strutturale, inerenti, da un lato, alle condizioni di illuminazione che avrebbe generato nell'ambiente centrale, con la luce proveniente esclusivamente dall'oculo e dai colonnati convessi. Parallelamente, esprime

65. HANSEN *ET AL.*, 2011, 91 e ss.

66. Cfr. HANSEN *ET AL.*, 2011, fig. 13.

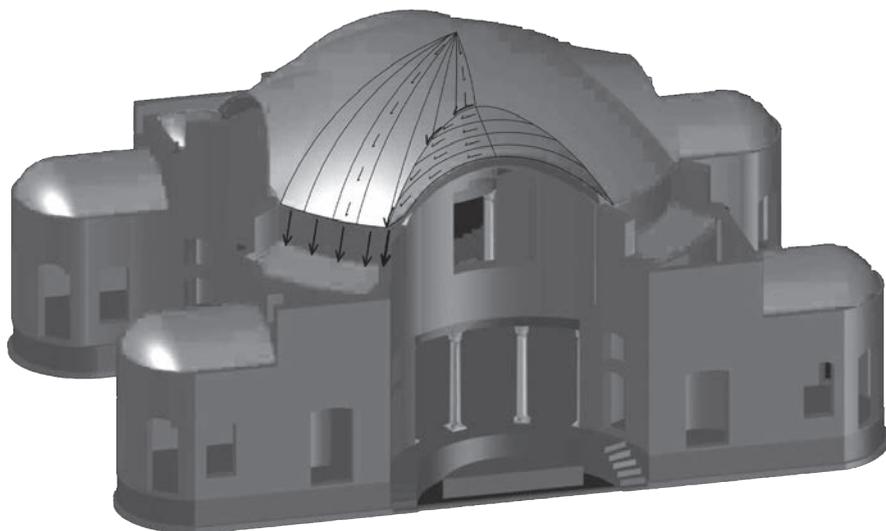


Fig. 9. Rappresentazione schematica dell'andamento delle forze nella copertura del cd. Atrio Mistilineo proposta da Ottati. (Rielaborazione dell'autrice su disegno tratto da Ottati, 2022).

perplessità sulla scelta di una configurazione spingente, indifferentemente, su tutto il perimetro delle murature di imposta, contraffortate solo in parte e per il resto gravanti “su quattro coppie di colonne dal diametro di base inferiore ai 60cm”⁶⁷. L'autore propone, pertanto, una differente geometria di copertura composita⁶⁸, consistente in una volta a vela, intersecata da possenti unghie con colmo rampante, utili a direzionare i carichi verso le murature radiali dei quattro pilastri, riducendo le azioni sui colonnati. Su questi rimane a gravare la sola muratura verticale di tamponamento della lunetta, svuotata, peraltro, da ampie finestre, ottenendo così il duplice risultato di una maggiore illuminazione e di un peso minore. Per la volta a vela, gravante, invece, sulle murature tangenziali dei pilastri, si può ammettere, in prima approssimazione, un comportamento analogo a quello della cupola emisferica, prevedendo un sistema di forze bilanciato dal riempimento estradossale e dalle volte a botte anulari (*fig. 9*). La proposta di Ottati risulta, quindi, di profondo interesse e migliorativa della precedente⁶⁹. È lo stesso autore a sottolineare come, nonostante l'assenza di masse murarie imponenti, la forma complessiva appare frutto di “un attento dosaggio e ripartizione delle spinte [...] così da formare una struttura portante formidabile con pilastri cavi”.

67. OTTATI, 2022, 101.

68. OTTATI, 2022, 104 e ss.

69. Tale copertura è, insieme con l'edificio delle Grandi Terme, l'oggetto principale delle analisi statiche in corso ad opera di chi scrive.

L'Atrio Mistilineo risulterebbe, quindi, in entrambe le ipotesi ricostruttive, il più evoluto tra i casi di progettazione strutturale integrata attraverso l'uso di pilastri cavi.

CONCLUSIONI

L'*excursus* qui proposto è il risultato, sintetico, della prima fase di una ricerca che necessita, come diffusamente ribadito, di ulteriori approfondimenti, mirati al raggiungimento di una puntuale conoscenza dei singoli casi in esame, attraverso rilievi e analisi strutturali, e, parallelamente, volti alla comprensione del possibile livello di cognizione che può aver indotto lo sviluppo di soluzioni riconducibili alla categoria di pilastro cavo.

Tale tipologia di soluzione, espressione della ricerca di «modi più eleganti e più architettonicamente armonici col monumento»⁷⁰ per il sostegno delle coperture spingenti in conglomerato, rappresenta, tuttavia, per la sua frequente ricorrenza a Villa Adriana, la manifestazione di una prassi progettuale fortemente consapevole, finalizzata alla gestione integrata delle problematiche, strutturali e compositive, correlate alla costruzione di volte e cupole sempre più maestose.

Bibliografia

- ABRUZZESE, D., CINQUE, G.E. e LO GATTO, G. (2005): "Analysis of a Roman masonry flat-slab in Hadrian's Villa, Tivoli", in Modena, C., Lourenço, P.B. e Roca, P. (a cura di), *Structural Analysis of Historical Constructions*, Londra, 183-190.
- ADAM, J. (1988): *L'arte di costruire presso i romani. Materiali e tecniche*, Milano.
- ADEMBRI, B., e CINQUE, G.E. (2006): *Villa Adriana: la pianta del Centenario 1906-2006*, Firenze.
- AMICI, C.M. (2016): *Architettura Romana. Dal Cantiere all'architetto: soluzioni concrete per idee progettuali*, Roma.
- BENFANTE, F. (2020): "Tipologie termali: i casi dell'Asia Minore", in Hidalgo, R. et al. (a cura di), *Adventus Hadriani: investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, 251-266.
- BENVENUTO, E. (1981): *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze.
- BENVENUTO, E. (1991): *An introduction to the History of Structural Mechanics. Pt. II: Vaulted Structures and Elastic Systems*, New York.
- CANGI, G. (2011): "Geometrie, comportamento meccanico e tecniche costruttive", in Borri, A. e Bussi, L. (a cura di), *Archi e volte in zona sismica. Meccaniche delle strutture voltate*, Napoli, 159-209.
- CAPOZZA, R. e PODIO-GUIDUGLI, P. (2006): "Le coperture del Teatro Marittimo a Villa Adriana", *L'industria delle costruzioni*, 387, 113-115.
- CINQUE, G.E. e LAZZERI, E. (2011): "Analisi geometriche e progettuali in alcuni complessi di Villa Adriana", in *Romula*, 1, 55-83.
- CINQUE, G.E. (2013): "Le componenti progettuali nell'architettura della Villa Adriana: il nucleo centrale", in Hidalgo, R. e León, P. (a cura di), *Roma, Tibur, Baetica. Investigaciones adrianeas*, Siviglia, 55-83.
- CINQUE, G.E. (2020): "Villa Adriana: uno sguardo a volo d'uccello", in Hidalgo, R. et al. (a cura di.), *Adventus Hadriani: investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, 551-569.
- CIPRIANI, L., FANTINI, F. e BERTACCHI, S. (2017): "The Geometric Enigma of Small Baths at Hadrian's Villa: Mixtilinear Plan Design and Complex Roofing Conception", in *Nexus NetwJ*, 19, 427-453.
- CIPRIANI, L., RISTORI, F. e FANTINI, F. (2020): "Rilievi e analisi geometriche sulle cupole adriane", in Hidalgo, R. et al. (a cura di.), *Adventus Hadriani: investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, 551-569.
- ERAMO, E. e OTTATI, A. (2018): "Le integrazioni alla "Pianta del Centenario" 2006-2018", in Cinque, G.E. e Marconi, N. (a cura di.), *Villa Adriana. Passeggiate iconografiche*, Foligno, 159-161.

70. LUGLI, 1957, 676.

- ERAMO, E. (2020): “Gli edifici residenziali “non aulici” nella Villa Adriana di Tivoli: Caserma dei Vigili Hospitalia, Triclinio Imperiale, novità e indirizzi di analisi”, in Hidalgo, R. *et al.* (a cura di), *Adventus Hadriani: investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, 607-632.
- FANTINI, F. (2018): “Anatomia delle cupole di Villa Adriana”, in *Ananke*, 84, 81-85.
- GIULIANI, C.F. (2016): *Il quadro fessurativo nello studio dei monumenti antichi*, Tivoli.
- GUSMAN, P. (1904): *La villa impériale de Tibur. Villa Hadriana*, Parigi.
- HANSEN, E. (1960): “La “Piazza d’Oro” e la sua cupola”, in *AnalRom*, suppl. 1.
- HANSEN, E. (2000): “Il Belvedere dell’Accademia nella Villa Adriana”, in Berlingò, I. *et al.* (a cura di), *Damarato. Studi di antichità classica offerti a Paola Pelagatti*, Roma, 387-398.
- HANSEN, E., NIELSEN, J., ASSERBO J. E JESPERSEN, T. (2011): “Due Cupole a Villa Adriana. Calcoli Statici”, in *AnalRom*, 25-26, 83-100.
- HEYMAN, J. (1966): “The stone skeleton”, in *Int J Solids Struct*, 2, 2, 249-279.
- HEYMAN, J. (1995): *The stone skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture*, Cambridge.
- HEYMAN, J. (2014): *Lo scheletro di pietra. Ingegneria strutturale dell’architettura in muratura*, trad. Rugarli, P., Roma.
- JANSEN, G.C.M. (2003): “Social distinctions and issues of privacy in the toilets of Hadrian’s Villa”, in *JRA*, 16, 137-152.
- JANSEN, G.C.M. (2007): “Toilets with a view: The Luxurious Toilets of the Emperor Hadrian at his Villa near Tivoli”, in *BABesch*, 82, 165-181.
- KÄHLER, H. (1950): *Hadrian und seine Villa bei Tivoli*, Berlin.
- LANCASTER, L. (2005): *Concrete Vaulted Construction in Imperial Rome*, Cambridge.
- LANCASTER, L. (2006): “Large Freestanding Barrel Vaults in the Roman Empire: A Comparison of Structural Techniques”, in Dunkeld, M. *et al.* (a cura di), *Proceedings of the Second International Congress on Construction History, Queens’ college*, Cambridge, 2, 1829-1844.
- LUGLI, G. (1957): *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*, Roma.
- MAC DONALD, W. E PINTO, J. (1997): *Villa Adriana. La costruzione e il mito da Adriano a Luis I. Kahn*, Milano.
- MARZUOLI, B. (2009): “Nuovi risultati di ricerca nelle Piccole Terme di Villa Adriana. La sala ottagonale e il cosiddetto “Ninfeo Augusteo””, in *Gradus. Rivista di Archeologia dell’Acqua*, 4, 23-27.
- MONETI, A. (1992): “Nuovi sostegni all’ipotesi di una grande sala cupolata alla “Piazza d’Oro” di Villa Adriana”, in *AnalRom*, 20, 67-92.
- NIELSEN, J., JESPERSEN, T. E ASSERBO, J. (2011): “Investigazioni statiche sull’edificio romano della “Piazza d’Oro” a Villa Adriana”, in *AnalRom*, 25-26, 101-118.
- RAKOB, F.L. (1967): *Die Piazza d’Oro in der Villa Hadriana bei Tivoli*, Monaco.
- RIVOIRA, G.T. (1925): *Roman architecture and its principles of construction under the Empire. With an appendix on the evolution of the Dome up to the seventeenth century*, Oxford.
- PENNA, A. (1831): *Viaggio pittorico della Villa Adriana composto di vedute disegnate dal vero ed incise da Agostino Penna con una breve descrizione di ciascun monumento*, vol. 1, Roma.
- OTTATI, A. (2017): “Costruzione e ricostruzione dell’Accademia di Villa Adriana”, in *ArchCalc*, 28, 179-200.
- OTTATI, A. (2018): “Il cd. Atrio Mistilineo dell’Accademia di Villa Adriana: considerazioni su decorazione e programma statuario”, in *RM* 124, 2018, 107-150.
- OTTATI, A. (2020): “Iluminación y efectos de perspectiva en los edificios de planta central de la “Accademia” de Villa Adriana: algunas observaciones”, in Hidalgo, R. *et al.* (a cura di), *Adventus Hadriani: investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, 473-494.
- OTTATI, A. (2022): *L’accademia di Villa Adriana. Tecniche, processi di costruzione ed evoluzione architettonica del cd. Piccolo Palazzo*, Roma.
- SALZA PRINA RICOTTI, E. (2001): *Villa Adriana. Il sogno di un imperatore*, Roma.
- SILVESTRI, M. (2006): *L’Edificio con Tre Esedre: il contributo dell’ingegneria per la conoscenza e la valorizzazione*, tesi di laurea, relatore Cinque, G.E., Università degli Studi Di Roma “Tor Vergata”, Roma.
- VISCOGLIOSI, A. (2020): “L’architettura Adrianea: di Adriano, per Adriano, sotto Adriano, dopo Adriano”, in Hidalgo, R. *et al.* (a cura di), *Adventus Hadriani: investigaciones sobre arquitectura adrianea*, Roma, 11-36.
- WINNEFELD, H. (1895): *Die Villa des Hadrian bei Tivoli*, Berlino.
- WULF-RHEIDT, U. (2012): “Still Higher and More Audacious: the Architecture of the Imperial Palaces on the Palatine in Rome”, in Ousterhout, R., Holod, R. e Haselberger, L. (a cura di), *“Masons at work”*, Philadelphia.