

“Modello” e forma del cosiddetto tempio di Diana presso le Terme di Baia

Riccardo Florio
 Raffaele Catuogno
 Teresa Della Corte
 Anna Sanseverino
 Caterina Borrelli
 Alessandra Tortoriello

Abstract

Lo studio può considerarsi caso pilota di un progetto PRIN 2022 fondato sul concetto di accessibilità culturale applicato ai Campi Flegrei che, con l'obiettivo di connettere il patrimonio culturale e la geografia dei luoghi, intende creare una rete di siti, dove il numero di entità e relazioni sia incremmentabile nel tempo. Il lavoro ha inteso attraversare i principali step della ricerca istituendo un corretto rapporto tra tecnologie innovative e saperi teorici ed operativi consolidati e rendere disponibile per il prosieguo un processo fondato su modi e modelli innovativi di rappresentazione dei beni culturali. Per attingere e rappresentare la vera forma dell'architettura, si è indagata la forma-struttura dell'oggetto di interesse affrontando, con l'ausilio del rilievo integrato, la complessità dimensionale e geometrica dello spazio creato, insieme ad altre sue determinazioni costituenti il complesso delle proprietà strutturanti la forma e che la forma tende, di rimando, a condensare.

Il Tempio di Diana costituisce una delle massime espressioni della tensione spaziale dell'architettura imperiale romana verso la monumentalità delle misure, espressa dalla grande luce coperta dalla cupola. Lo studio delle geometrie generative della struttura ha letto in comparazione gli esiti del rilievo integrato con i risultati di alcuni studi pubblicati tra cui quelli di Rakob prima e Sinopoli e Aita dopo, pervenendo all'individuazione di un profilo basato sull'ovoide di Keplero.

Parole chiave

Rilievo integrato, geometrie generative, pseudo-cupola, ovoide, Campi Flegrei.



Vista d'inquadratura del complesso delle Terme di Baia da nuvola di punti aerofotogrammetrica. Elaborazione degli autori.

Introduzione

Lo studio proposto, avvalendosi delle tecniche e metodologie di rilievo digitale, intende capitalizzarne le precipue potenzialità, condensate nella puntualità e 'misurabilità' dei dati prelevabili ed integrabili, al fine di offrire un contributo, in termini di interpretazione del legame tra 'modello' e 'forma' dell'architettura, alla conoscenza delle costruzioni a cupola emblematiche del sito architettonico-archeologico delle Terme di Baia, presso l'attuale Comune di Bacoli.

Il complesso termale è compreso all'interno dei Campi Flegrei, un denso e singolare territorio di antica origine e caratterizzazione culturale, oggi alterato da un'espansione urbana non pianificata e connotato da problematiche compenetrazioni tra architettura, archeologia e paesaggio. Gli importanti ritrovamenti baiani risultavano già fortemente compromessi nel 1936, quando furono avviate le prime operazioni di scavo e sistemazione sotto la direzione di Amedeo Maiuri; lo studioso ne descrisse, più tardi, una condizione di grave criticità geologico-ambientale ed antropica [1] che sostanzialmente ancora permane, laddove l'insita fragilità e complessità geologica dei Campi Flegrei – rilevabile attualmente, più che mai, per la pressante minaccia dei fenomeni bradisismici – si demoltiplica in elevatissima fragilità del patrimonio archeologico, evidenziando l'urgenza di tutelare le memorie del passato attraverso mirate azioni di valorizzazione dei siti ed opportuni progetti di conoscenza.

Interfacciandosi con l'imponente sagoma del Castello Aragonese che domina l'insenatura naturale [2], le maestose aule termali emergono nel paesaggio baiano quali sorta di *landmark ante-litteram*, fin dalla loro concezione originaria intese quali paradigmi architettonici di una grande cultura e, nello stesso tempo, quali costruzioni rappresentative di un sito climaticamente privilegiato, eletto a luogo di residenza estiva dalle classi patrizie romane e dalle famiglie imperiali, che, anche attraverso la dimensione monumentale delle loro architetture, intese 'fare tendenza', tanto che Plinio il Giovane vi dedicò l'efficace definizione della *mos baianum* [3]. La loro forma, ancora vigorosamente espressa quale potenza costruttiva [4], mentre li fece definire 'templi' dai primi viaggiatori – sicuramente in ragione della carica sacrale espressa dalle loro grandiose dimensioni e, soprattutto, dall'arditezza costruttiva

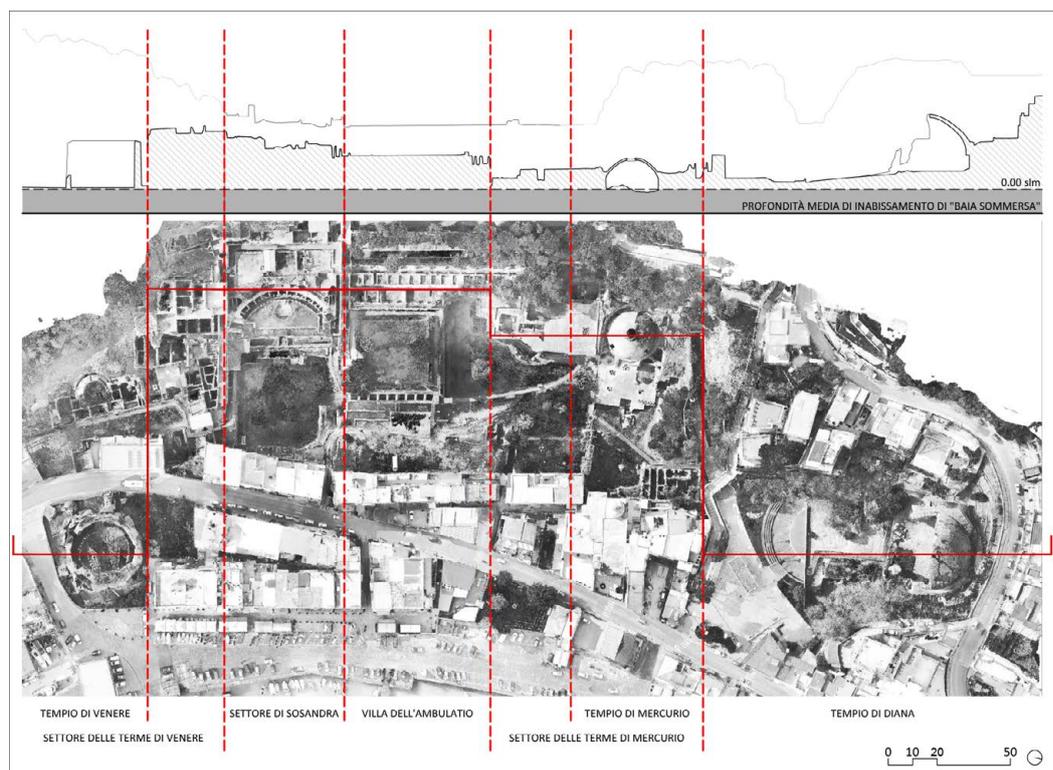


Fig. 1. In alto: sezione territoriale del complesso termale di Baia. In basso: ortoimmagine del complesso termale di Baia. Elaborazione degli autori.

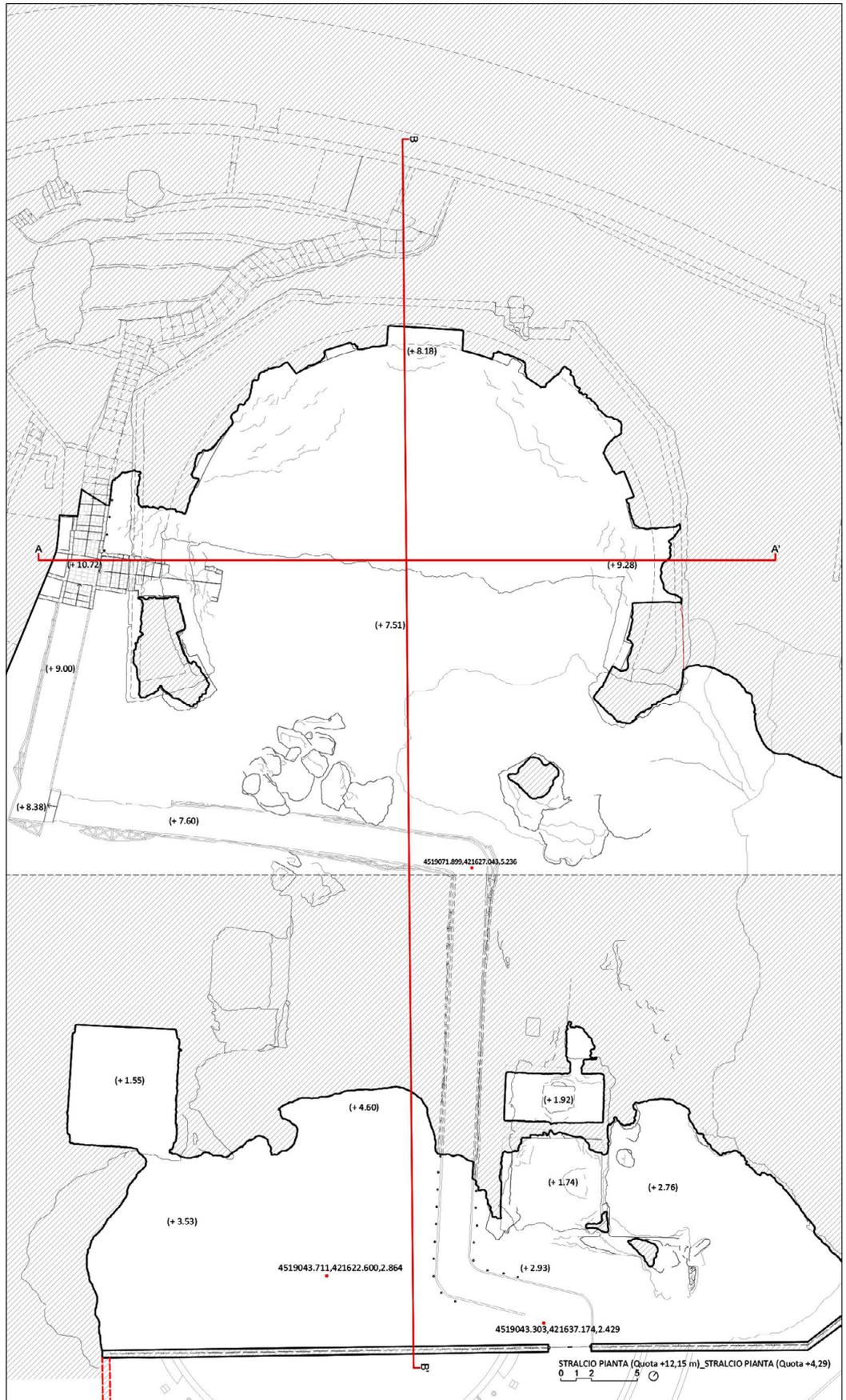


Fig. 2. Stralcio pianta a quota +12,15 m e a quota +4,29m. Elaborazione degli autori.

delle volte, capaci di generare amplissimi spazi interni privi di sostegni intermedi e di grande suggestione e forza simbolica – permane alla lettura come intensamente identitaria dell'area attualmente indicata come 'Parco archeologico delle Terme di Baia' che si estende longitudinalmente per un fronte di circa 450 metri, e trasversalmente dal piede della collina presso il porto, fino all'inerpicato crinale panoramico che traguarda il golfo di Pozzuoli e quello di Napoli, da un lato, e il vicino litorale cumano, dall'altro.

I tre 'templi' baiani connotano i rispettivi omonimi di tre dei quattro grandi settori che, insieme al settore dell'*Ambulatio*, si dispongono trasversalmente alla linea di costa e alle colline baiane conservando l'originario ordine urbanistico [Maiuri 1958], ma non più la quota di origine; questa risulta infatti interrata a causa di un lento movimento bradisismico, iniziato nel IV sec. d.C., che ha portato all'inabissamento della costa e di cospicue porzioni urbane costituenti attualmente il Parco archeologico sommerso di Baia.

L'edificazione delle tre grandi strutture termali – i cui profili di estradosso produssero nella tradizione popolare anche la denominazione di 'trugli' – rientrò nella costante sperimentazione costruttiva operata dalla cultura architettonica romana fin dagli inizi dell'epoca imperiale per la realizzazione di grandi volte a copertura di ambienti a pianta centrale. Esito della ricerca di ardite e scenografiche soluzioni atte a proporsi quali modelli di riferimento, le grandi cupole romane costituirono una vera e propria sfida costruttiva, tesa a conquistare dimensioni progressivamente più spinte.

Tale ascesa fu, come è noto, resa possibile dall'adozione dell'*opus cementicium*, il tipico apparecchio murario di invenzione romana [5]. Lo dimostrano, a Baia, le crescenti dimensioni del diametro dei tre 'templi' (21.55 metri - 26.30 metri - 29.50 metri), rispettivamente lette secondo la sequenza temporale che va dal più antico tempio di Mercurio di età Augustea (I sec. a.C.) – la cui cupola emisferica fu di riferimento per la perfezione formale del Pantheon a Roma [6] – a quello di Venere di età Adrianea (inizio II sec. d. C.), a quello di Diana di epoca severiana (fine II sec. d. C. - inizio III secolo d. C.) (fig. 1).

Rappresentazione per la conoscenza: forma e modello

Lo studio qui avviato deve considerarsi come primo caso pilota di un progetto PRIN 2022 [7] fondato sul concetto di 'accessibilità culturale' ed esteso a tutti i Campi Flegrei che, perseguendo l'obiettivo di connettere il patrimonio culturale con la geografia dei luoghi, intende creare una rete (virtuale e fisica) di siti il cui numero di entità e relazioni sia incrementabile nel tempo.

Il lavoro condotto ha inteso attraversare i principali step della ricerca, dal prelievo dei dati, alla gestione e integrazione dei dati, alla creazione di modelli descrittivi ed interpretativi, istituendo un corretto rapporto tra le attuali tecnologie e saperi teorici ed operativi consolidati. Innestando il potenziale delle *Information and Communication Technologies* (ICT) nel processo conoscitivo di tipo tradizionale, ci si è avvalsi della accuratezza delle strumentazioni innovative e della peculiarità comparativa dei metodi di stratificazione informativa, rappresentazione e fotomodellazione digitale, mirando a costruire, e rendere disponibile per il prosieguo, un processo fondato su modi e modelli innovativi di rappresentazione dei beni culturali (figg. 2-5).

Per attingere e rappresentare la 'vera forma' dell'architettura, al di là della molteplicità di immagini percepibili, della pluralità delle possibili interpretazioni soggettive, della grande mole dei dati prelevabili, si sono utilizzati gli esiti del rilievo integrato per indagare la 'forma-struttura' dell'oggetto di interesse, affrontando, insieme alla complessità dimensionale e geometrica dello spazio creato, altre sue determinazioni (quali quelle fisico-costruttive, materiche, estetiche e funzionali) costituenti l'insieme delle proprietà strutturanti la forma e che la forma tende, di rimando, a condensare.

Lavorando quindi sinergicamente con gli strumenti del sapere consolidato, le tecnologie di acquisizione e visualizzazione digitale, dimostrando la loro fondamentale, irrinunciabile, capacità di contribuire alla valenza ermeneutica e 'costruttiva' da sempre peculiare del disegno, hanno reso possibile non solo 'ricomporre' rigorosamente le consistenze superstiti concen-

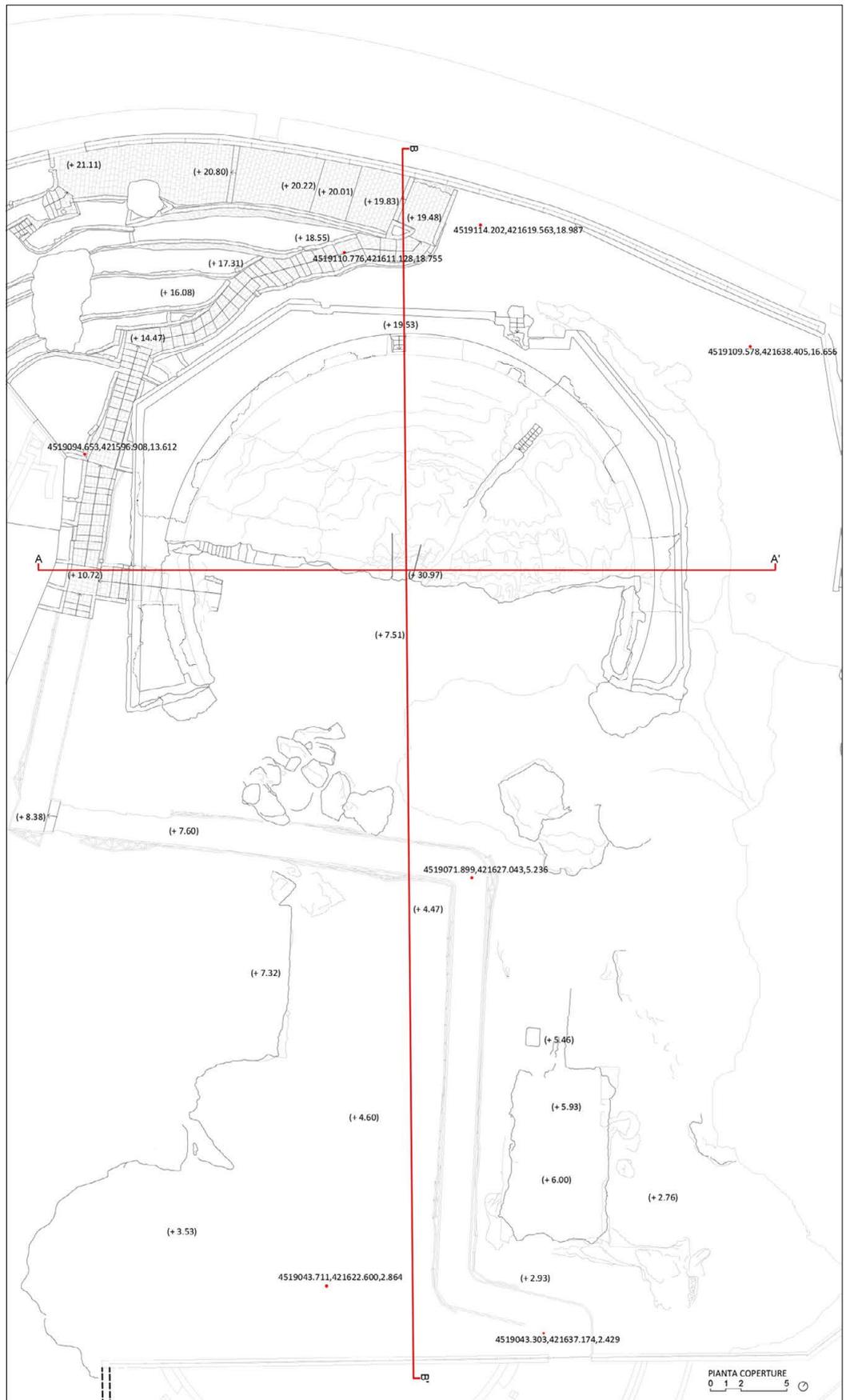


Fig. 3. Pianta delle Coperture del Tempio di Diana. Elaborazione degli autori.

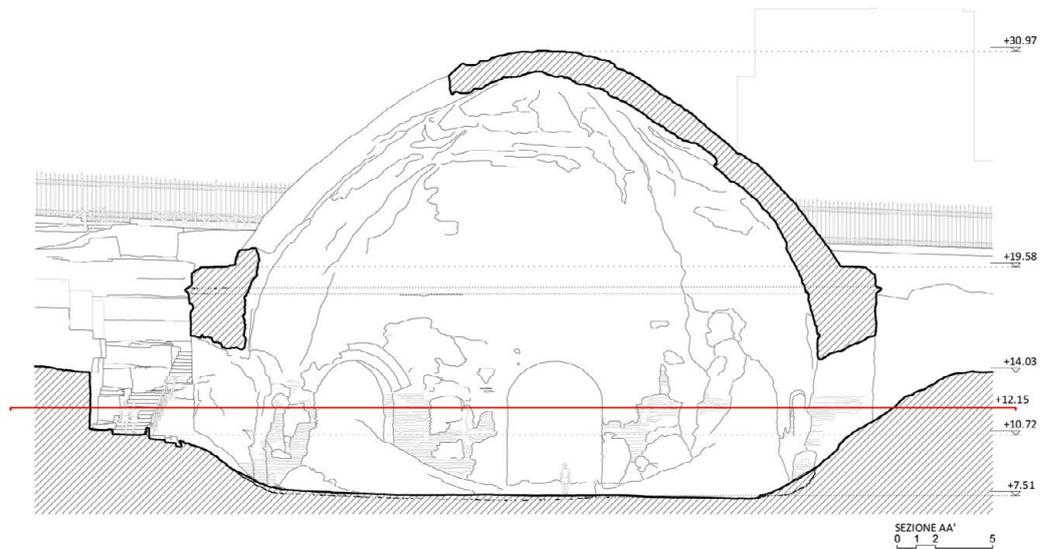


Fig. 4. Sezione trasversale AA' del Tempio di Diana. Elaborazione degli autori.

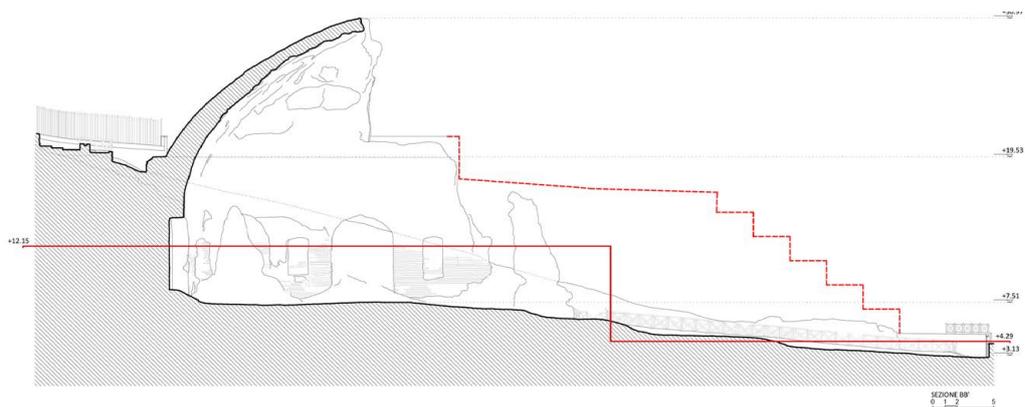


Fig. 5. Sezione longitudinale BB' del Tempio di Diana. Elaborazione degli autori.

trate nei resti del maestoso manufatto, ma anche il valore delle tracce *in situ* più latenti, quali per esempio quelle materiche e cromatiche, in grado di rivelare 'le ragioni della forma' e anche rendere attendibilmente ipotizzabili gli assetti sedimentati nello spazio e nel tempo. L'integrazione di metodi e procedimenti deve assumere questo importante ruolo critico nella lettura dei siti perché "affinché [...] la *mimēsis* della rappresentazione sia effettiva ed efficace [...] occorre che descriva l'opera nella sua specifica consistenza di «opera architettonica» [...]. La rappresentazione [...] presuppone l'assunzione dell'opera di architettura [...] tramite la selezione e l'interpretazione degli elementi e dei rapporti ritenuti effettivamente caratterizzanti, ovvero tramite una sua riduzione a modello" [Ugo 2008, p. 19].

Metodologia e operazioni di rilievo integrato

Il complesso è stato inquadrato in una rete di punti GPS di 10 GCP (*Ground Control Point*) materializzati con target RAD (*Ringed Automatically Detected*), individuando una rete di inquadramento di appoggio al rilievo fotogrammetrico SAPR (*Sistema Aeromobile a Pilo-taggio Remoto*) e di ausilio al *matching* per la registrazione con il rilievo laser-scanner TLS (*Terrestrial Laser Scanner*).

Mediante il software di pianificazione di volo Autel Explorer si è mappata l'area da rilevare, anche attraverso il posizionamento di *waypoints* che definiscono il percorso, in modo da determinare la quota di volo del drone in funzione del GSD (*Ground Sample Distance*) e

della camera montata sul SAPR. Si è stimato il numero di fotogrammi da scattare nelle cinque missioni necessarie all'acquisizione dei dataset utilizzati durante la successiva ricostruzione nell'ambiente software di modellazione fotogrammetrica Agisoft Metashape. Il drone impiegato per i voli è stato l'Autel EVO II che si è rivelato particolarmente adatto in quanto la camera con risoluzione 6K ha consentito di volare a 60 metri mantenendo una GSD molto alta.

Il *dataset* relativo al Tempio di Diana è composto di 968 fotogrammi, quota di volo media di 60 metri, *overlap* e *sidelap* del 70%, permettendo così di ottenere ortoproiezioni con GSD di 1.18 cm/px. Si è tenuto conto dei fattori operativi ed ambientali in modo da assicurare,



Fig. 6. Ortoimmagine del Tempio di Diana inserito nel contesto. Elaborazione degli autori.

in fase di restituzione, la massima copertura della zona (fig. 6). Per l'acquisizione TLS si sono battuti i punti di controllo, utilizzando un laser scanner a differenza di fase, modello Focus 3D X330 della CAM2.

I punti di stazione per le 132 scansioni effettuate (risoluzione 6.136 mm @10 m, qualità 2X, durata 6 minuti) sono stati individuati in modo che presentassero il minor numero di occlusioni possibili, mentre per alcune zone non accessibili al posizionamento di *target* è stato impiegato il metodo di allineamento basato sull'algoritmo *iterative closest point (cloud to cloud)*. Il sistema costituito dall'unione delle singole nuvole di punti di scansione in un unico modello tridimensionale è stato quindi georeferenziato assegnando le coordinate in comune dei *target* (figg. 7-9).



Fig. 7. Vista prospettica Sud-Ovest della nuvola di punti SfM del Tempio di Diana. Elaborazione degli autori.

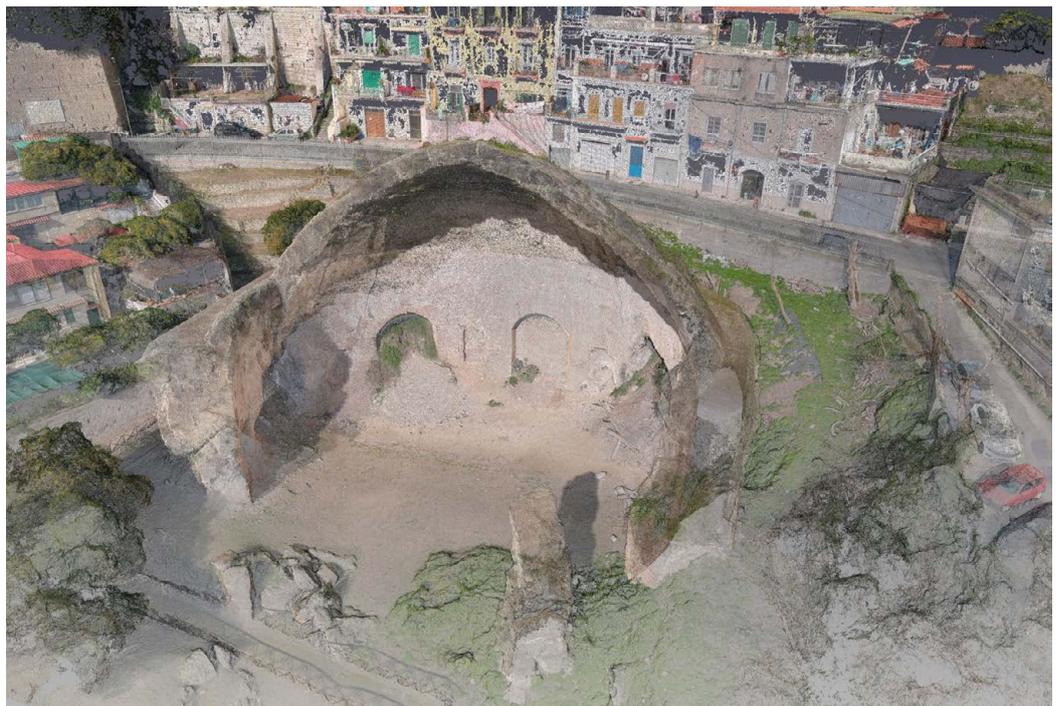


Fig. 8. Vista prospettica Sud-Est della nuvola di punti SfM del Tempio di Diana. Elaborazione degli autori.



Fig. 9. Vista prospettica Nord-Ovest della nuvola di punti SfM del Tempio di Diana. Elaborazione degli autori.

Geometria, misura e forma nel 'Tempio' di Diana

Il contributo propone un *focus* di sperimentazione scientifica sulla 'forma' nel cosiddetto 'Tempio' di Diana [8], costituito in origine da un corpo recante profilo planimetrico circolare all'intradosso e ottagonale all'estradosso e da una cupola a sesto rialzato realizzata nella parte inferiore in opera vittata (tufi e laterizi alternati) e superiormente in blocchetti irregolari di tufo allettati nella malta e gradualmente sporgenti. La costruzione risulta parzialmente interrata a causa di un consistente strato di detriti che, obliterando la quota di calpestio originaria (di alcuni metri più in basso), sono sedimentati fino all'altezza dei finestroni; essa risulta crollata per circa metà del volume originario e significativamente lesionata e degradata nelle strutture superstiti e nelle superfici [9].

Il 'Tempio' di Diana costituisce una delle massime espressioni della tensione spaziale dell'architettura imperiale romana verso la monumentalità delle misure, qui espressa non solo dalla grande 'luce' coperta dalla cupola – realizzata mediante “[...] anelli progressivamente aggettanti, costruiti con schegge di tufo e laterizio nella zona sopra l'imposta, e di soli tufi porosi, più leggeri, nella parte superiore” [De Caro, Greco 1993, p. 62] – ma anche da qualcosa di meno atteso.

Nell'analisi dei resti, tuttora imponenti, dell'antica grande sala termale che sfruttava i benèfici effluvi dei vapori naturali provenienti dal suolo [10], il puntuale rilievo recentemente effettuato dagli autori [11], mentre ha potuto confermare la tipica tendenza romana ad impreziosire il muro portante esterno – qui aumentata dalla scenografica alternanza di nicchie murali e finestroni realizzati nella parete curva secondo un gusto proprio dell'età severiana – ha intercettato anche una complessiva profonda enfaticizzazione simbolica della dimensione liminale, dove l'arditezza delle misure sembra aver dialogato con la ricerca di una smaterializzazione dello spazio interno, legata ai valori spirituali riconoscibili nelle modulazioni della luce sulle superfici e nella prossimità dell'acqua, elemento caratterizzante l'originaria funzione. Sembrano sfiorati, in questo senso, quegli orizzonti 'oltremisura', dove la differenza

di scala tra l'uomo e le sue costruzioni disegna misure nello spazio e nel tempo "[...] misure le cui dimensioni sono sempre ascrivibili a più sistemi di lettura, a quel 'metro' complesso e oscillante che coincide col nostro stesso raziocinare [...] che da una parte tende a sistematizzare le cose così da appropriarsene, da un'altra parte ha presente quell'assoluto cui aspira e che si inverte nel concetto stesso di infinito" [Baculo Giusti 1989, p. 3].

Non a caso l'icastico enunciato di Protagora di Abdera "l'uomo è misura di tutte le cose" trovò una delle sue più importanti trasposizioni nel testo di Vitruvio *De Architectura*, dove l'individuazione di un referente analogico, col quale poter stabilire opportuna *comparatione* di tutte le parti di un'opera architettonica affinché essa risulti unitariamente concepita, trae le sue regole dalla natura e si ispira, quasi ineluttabilmente, proprio alle proporzioni del corpo umano.

Lo studio delle geometrie generative della struttura ha comparato gli esiti del rilievo integrato condotto con i risultati pubblicati da Friedrich Rakob [Rakob 1988; Rakob 1992] (fig. 10), e dei contributi scientifici di Anna Sinopoli e Danila Aita [Sinopoli et al. 2018; Sinopoli, Aita 2021], studiosi che a loro volta si erano confrontati con i più datati studi di Guglielmo De

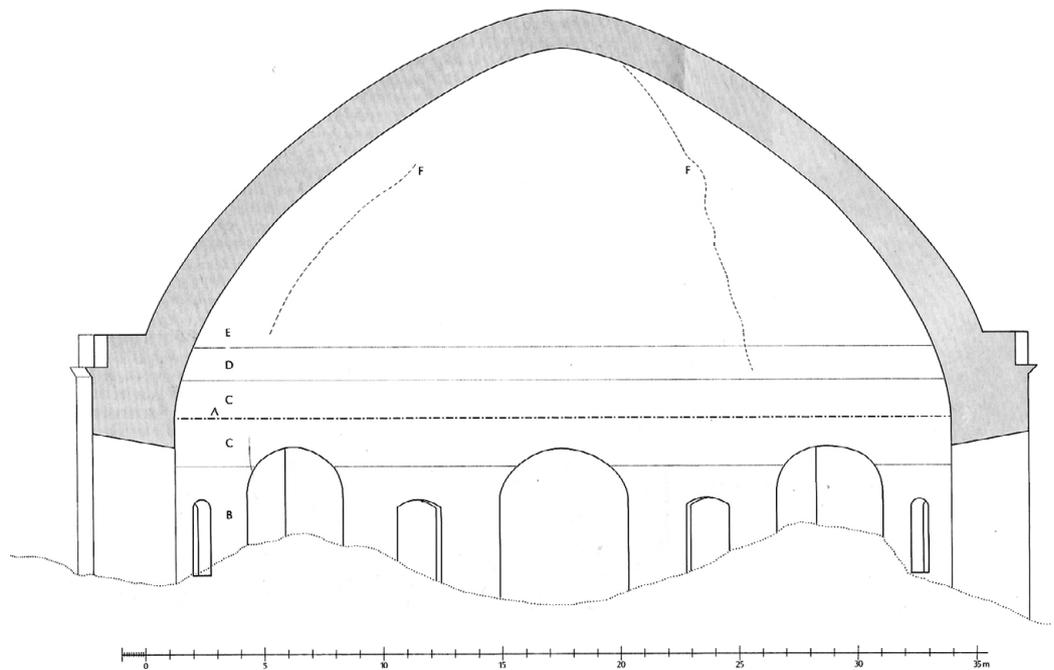


Fig. 10. Profilo del Tempio di Diana (da: Rakob 1988, p. 276).

Angelis d'Ossat [12] (fig. 11). In particolare, l'interrogazione della nuvola integrata TLS-SAPR ha permesso alle due studiose di strutture, Sinopoli e Aita, di ipotizzare in maggior dettaglio il profilo geometrico meridiano adottato dai Romani per la cupola di Diana e di verificarne quindi gli scostamenti rispetto al profilo policentrico proposto da Rakob.

Questi aveva dedotto il suo risultato lavorando comparativamente su una curva ellittica, una curva parabolica e una policentrica pensando di poter dimostrare in tal modo come la sapienza costruttiva nell'area flegrea avesse individuato nel profilo policentrico quello che consentiva le sperimentazioni più spinte e il raggiungimento di traguardi tecnologici sempre più avanzati.

Anche se gli studi di Rakob hanno messo in evidenza la mancanza di corrispondenza tra l'impianto idealmente ottagonale del 'tempio' e l'effettiva geometria delle strutture che sono state realizzate, soprattutto per quanto riguarda la capacità della fabbrica di resistere alle sollecitazioni causate da eventi sismici o più in generale da tutti i meccanismi di dissesto che ne hanno causato il crollo, la sua soluzione per la forma della cupola di Diana presenta effettivamente alcune incongruenze riguardanti, in particolare, il posizionamento ideale

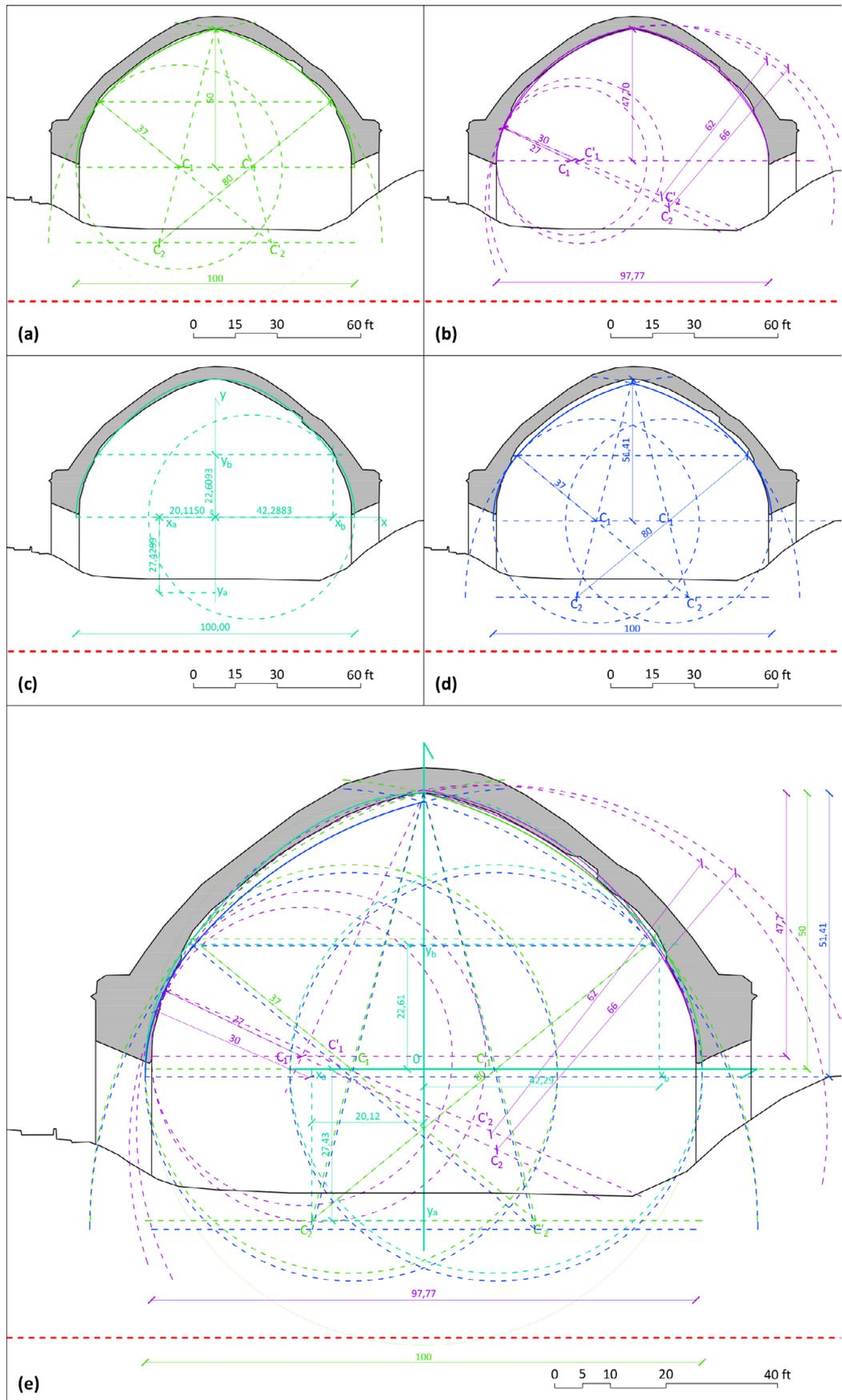


Fig. 11. Elaborazione dei profili della cupola proposti da: Rakob (a) (da: Rakob 1988); Valenti e Romor (b) (da: Sinopoli e Aita 2018); i due di Sinopoli e Aita sulle considerazioni di Rakob (c) (da: Sinopoli, Aita 2021) e sempre sulle considerazioni di Rakob trasandone la freccia massima da 50ft a 51.41ft (d). Quadro riassuntivo, in basso (e). Elaborazione degli autori.

dei centri degli archi superiori e la presunta presenza di una cuspidè in alto, non visibile all'estradosso. In considerazione del particolare sistema costruttivo e a valle degli ulteriori approfondimenti condotti su strutture di copertura affini [Incerti 2022, pp. 700-719; Roca et al. 2024], ci si è proposti di ricercare una curva numericamente descrivibile che permettesse di approssimarla al meglio.

In luogo di una descrizione puramente geometrica del profilo generatore [Migliari 1995, pp. 93-102] si è individuata una curva desunta dal cosiddetto "ovoide di Keplero" [13] disegnata

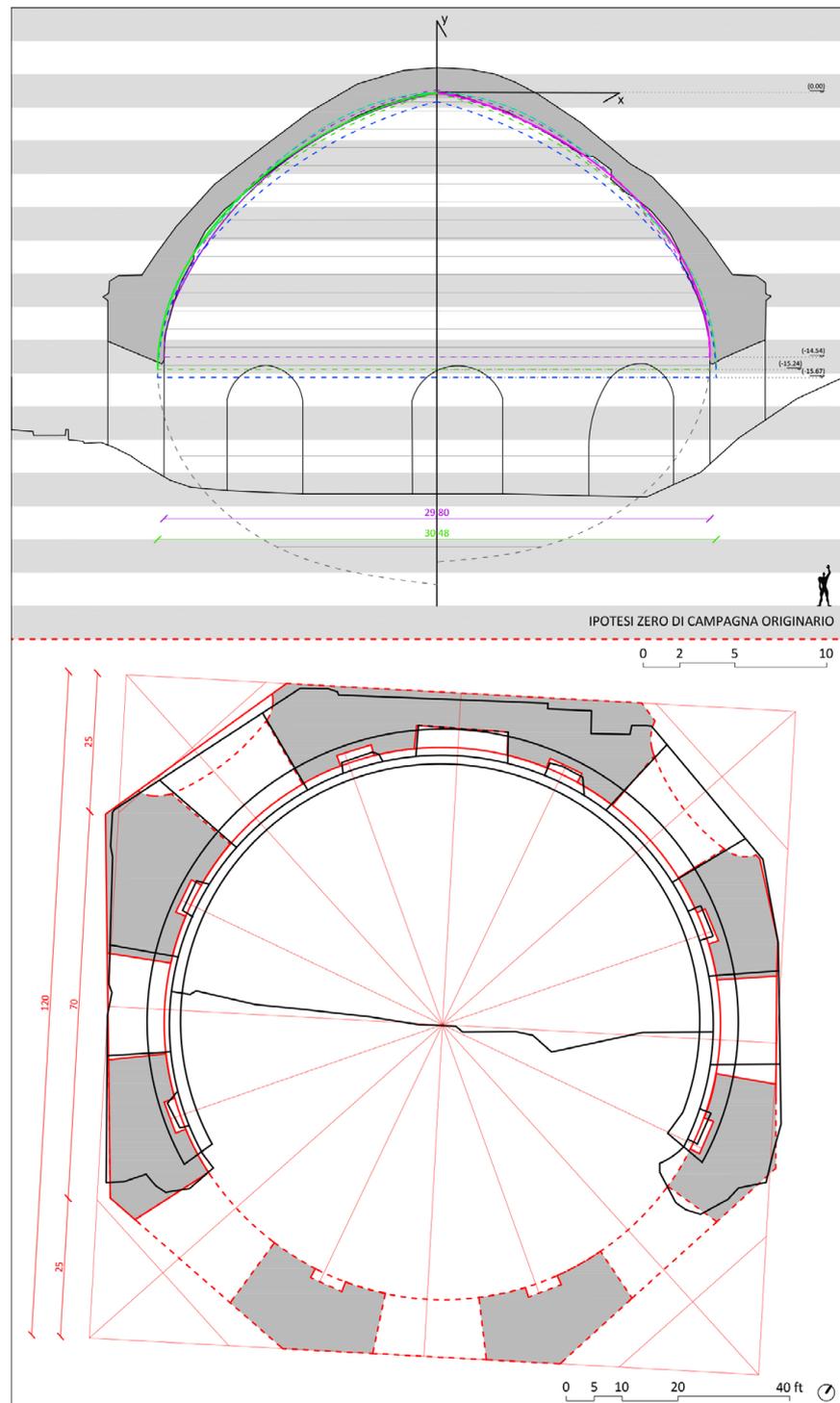


Fig. 12. Elaborazioni dei profili bibliografici e delle curve di Keplero per $'b'=0.3168$ ($a=25.83\text{m}$, $y_{\text{max}}=-14.54\text{m}$, $x_{\text{max}}=14.90\text{m}$, dx) – e per $'b'=0.3327$ ($a=27.07\text{m}$, $y_{\text{max}}=-15.24\text{m}$ (50 ft), $x_{\text{max}}=15.24\text{m}$, sx) – riferiti alla misura umana (1.83m), in alto. Planta attuale di Diana (nero) e ipotesi di Rakob (rosso), in basso. Elaborazione degli autori.

in un piano cartesiano con origine fissata nella sommità della cupola, asse y positivo verso l'alto e asse x positivo verso destra. La curva originariamente descrive il profilo di un uovo potendo variare soltanto la longitudine totale all'incremento della variabile 'a' mantenendo i rapporti proporzionali fissi.

Si è pensato dunque di introdurre un secondo coefficiente 'b' che permettesse di variare il raggio massimo lungo l'asse x [14].

Per poter disegnare la curva è stato necessario determinare un valore opportuno di 'b'; ricavato, quindi, empiricamente il rapporto di proporzionalità sussistente tra l'ordinata (y_{max}) che individua il raggio massimo (x_{max}) e la lunghezza totale in direzione dell'asse y [15], si è potuta risolvere l'equazione dell'ovoide al variare del coefficiente 'b' tra un minimo di 0 (non incluso) e un massimo di 1 così da evidenziare il rapporto di proporzionalità inversa tra il suddetto 'b' e x_{max} . Ponendo quindi la freccia massima della cupola pari al valore assoluto di y_{max} e la luce massima pari al doppio di x_{max} è stato possibile determinare, per iterazioni successive, il valore di 'b', per cui è possibile 'plottare' le curve matematiche che sembrano rappresentare con buona approssimazione l'intradosso del 'tempio' di Diana (fig. 12).

Conclusioni

Gli studi condotti si sono concentrati sugli aspetti formali della grande 'rotonda' più che sulle tecniche costruttive e i meccanismi di dissesto, permettendo di concludere che l'accertamento del profilo geometrico di una cupola non sia solo una questione di misure, ma anche di contesto storico, di conoscenze geometriche e di tradizioni costruttive.

Il presente lavoro ha inteso avvicinarsi alle conoscenze geometriche e costruttive presumibilmente acquisite al momento della costruzione della cupola di epoca tardo severiana, ricercando la soluzione tecnico-analitica più probabile per la sua genesi in un profilo a curva unica molto prossimo a quello ovoidale; di fondamentale importanza si è inoltre rivelato l'approfondimento condotto sugli studi comparativi inerenti al funzionamento delle strutture di coperture realizzate per filari orizzontali sovrapposti a dimostrazione del fatto che i Romani erano empiricamente consapevoli del comportamento meccanico della cupola in relazione alle diverse fasi costruttive e alle conseguenti soluzioni adottate.

Note

[1] "Baia romana era in parte sommersa nel mare a causa del lento sprofondamento del lido per fenomeno di bradisismo, in parte seminfossata entro terra, in parte interrata e sepolta dai vigneti. [...] Quel che restava (sale termali, cisterne, portici e muri archeggiati di sostegno) era diventato masseria, stalla, cellaio. Né troppo propizie le condizioni dell'abitato moderno, pur fortunatamente limitato alla stretta fascia litoranea. Una fila di case ha finito per far da schermo alla vista dei molti ruderi [...]; la ferrovia Cumana ha tagliato il complesso monumentale del "Tempio di Diana" dal resto della città termale [...]. A ciò s'aggiunga l'industria delle cave di pozzolana che, non sorvegliate e disciplinate, col tagliare pendici, aprire crateri, scavare gallerie [...] costituisce il più grave pericolo all'integrità del più classico e storico paesaggio del golfo di Napoli [...]" [Maiuri 1951, p. 359].

[2] L'insenatura di Baia era anticamente occupata da un lago (*Baianus locus*) comunicante con il mare aperto tramite un ampio canale.

[3] A Baia le fonti letterarie tramandano una vera e propria moda, intrapresa dalla borghesia romana, di trascorrere dei periodi in completo relax, i cosiddetti *otia baiana*, lontano dal peso delle attività quotidiane e spesso anche delle regole della vita civile: lusso, promiscuità e libertà dei costumi divengono in epoca imperiale romana uno stile di vita, reso possibile dalla particolarità del luogo e dall'occasionalità della sua frequentazione [Truesdell Merrill 1922].

[4] In proposito si veda una significativa ed icastica riflessione di Wittgenstein che definisce la forma come "possibilità della struttura" [Wittgenstein 1964, p. 8].

[5] Generalmente costituita da pietre di tufo allettate con malta, la tecnica costruttiva dell'*opus cementicium* acquisì nelle costruzioni baiane una ulteriore peculiarità potendosi avvalere della locale pozzolana (*pulvis puteolanus*) come legante. La *pulvis puteolanus* era un materiale vulcanico aereo, in grado di sopportare grandi pesi, resistente alla trazione, leggero ed economico, duttile e quindi particolarmente adatto per la costruzione di volte curvilinee. Rinvenibile a quote poco profonde, ma ormai esaurito, viene descritto da Aveta che ne indica localizzazioni proprio nelle cave flegree di Bacoli e del Monte di Procida, dove erano presenti, tra l'altro, pozzolane più "forti" ed aspre al tatto, diverse dalle pozzolane vesuviane che erano invece "dolci" e dotate di qualità idrauliche meno accentuate, oltre ad essere più fini e dolci al tatto [Aveta 1987, p.17].

[6] Altre grandi cupole di epoca romana dalle dimensioni particolarmente smisurate sono costituite dal cosiddetto Tempio di Apollo, realizzato nel I sec. d.C. su un diametro di circa 38,20 metri, i cui resti si trovano presso il Lago D'Averno all'interno della stessa area dei Campi Flegrei, e dal *calidarium* delle Terme di Caracalla a Roma, costruito durante il III sec. d.C. su un diametro di 38,5 metri.

[7] Lo studio è condotto nell'ambito delle attività di ricerca del progetto PRIN 2022 SPLASCH (Smart Platform and Application for Southern Cultural Heritage) e del Progetto PE0000020 CHANGES, finanziati dall'Unione Europea – Next Generation EU.

[8] La costruzione del 'Tempio' che, secondo la tradizione antiquaria, si deve al rinvenimento di bassorilievi in marmo raffiguranti animali selvatici e forse un'iscrizione con il nome 'Diana' [Amalfitano 1990, p. 231] che originariamente decoravano una sala di trattenimento o un ninfeo [Sgobbo 1977, p. 289], viene ritenuta attribuibile al programma edilizio di Alessandro Severo.

[9] Oltre ai danni causati probabilmente da importanti eventi sismici (terremoto di Pithecusa del 1275 ed eruzione del 1538 che originò il Monte Nuovo), le cause del crollo sono state ricondotte dallo studioso Friedrich Rakob ad un diffuso errore di costruzione e, in particolare, all'uso di materiali poco resistenti nel muro esterno in corrispondenza dell'imposta della volta a cupola [Rakob 1992, p. 254].

[10] Ancora oggi nell'area a sud delle strutture di pertinenza delle terme di Diana affiora l'acqua di una sorgente interrata.

[11] Le operazioni di rilievo integrato *in situ* sono state concluse nel gennaio 2024.

[12] "Non sappiamo se il profilo della cupola - che non è mai stato rilevato - corrisponda a una o più curve (catenaria, parabola, archi di cerchio). Tuttavia, il tipico andamento curvilineo che abbiamo definito ovoidale, si osserva di solito nelle volte di tutto l'Oriente antico, a partire dai rari e significativi esempi egiziani di volte a botte" [De Angelis d'Ossat 1977, p. 256].

$$[13] (x^2 + y^2)^2 + ay^3 = 0$$

$$[14] (bx^2 + y^2)^2 + ay^3 = 0$$

$$[15] a = -y_{\max} / 0.563$$

Ringraziamenti

Cogliamo l'occasione per ringraziare il Direttore dell'Ufficio Tutela e Gestione delle Aree Archeologiche, dei Monumenti e delle Collezioni del Parco Archeologico dei Campi Flegrei Dott. Fabio Pagano, la responsabile del Museo Archeologico dei Campi Flegrei nel Castello di Baia Arch. Maria Pia Cibelli, la responsabile del Parco Archeologico delle Terme di Baia Arch. Angela Klein, al responsabile del Parco Sommerso e delle Terme di Baia Dott. Enrico Gallochio per aver autorizzato e favorito le operazioni di rilievo del Parco Archeologico delle Terme di Baia. Si ringrazia, inoltre, l'Ing. Antonio Giacomo Elia Florio per i solviti con drone dell'intera area del Parco Archeologico delle Terme di Baia.

Riferimenti bibliografici

Amalfitano P., Camodeca M. (1990). *I Campi Flegrei. Un itinerario archeologico*. Venezia: Marsilio.

Aveta A. (1987). *Materiali e tecniche tradizionali nel napoletano*. Napoli: Arte Tipografica.

Baculo Giusti A. (1989). Orizzonti oltremisura. In *Quaderni Di. Smisurate misure! Differenze di scala di fattura di ruolo informativo di significato*. N.9/1989, p. 3.

De Angelis D'Ossat G. (1977). L'architettura delle terme di Baia. In *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia. Atti dei Convegni dei Lincei* 33. Roma, 4-7 maggio 1976, p. 256. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

De Caro S., Greco A. (1993). *Campania*. Bari: Laterza.

Incerti M. (2022). La proiezione centrale come sistema di tracciamento sulle pseudo-cupole del V secolo/The central projection as a tracing system on the fifth century pseudo-domes. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visibilità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visibility. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers*, pp. 700-719. Milano: FrancoAngeli.

Maiuri A. (1951). Terme di Baia, scavi, restauri e lavori di sistemazione. In *Bollettino d'arte*, 36-IV, p. 359. Roma: Libreria dello Stato.

Maiuri A. (1958). *I Campi Flegrei*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Libreria dello Stato.

Migliari R. (1995). Ellissi e ovali: epilogo di un conflitto. In *PALLADIO*, N.16, pp. 93-102.

Rakob, F. (1988). Römische Kuppelbauten. In *Baiae, Die Gewölbepprofile. Mitteilungen Des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung* 95, pp. 257-301.

Rakob F. (1992). Le cupole di Baia. In Gigante M. (a cura di). *Civiltà dei Campi Flegrei. Atti del convegno internazionale*. Pozzuoli (NA), 18-21 ottobre 1990, pp. 254. Napoli: Giannini Editore.

Roca A., Juan-Vidal F., Cipriani L., Fantini F. (2024). On Vaulting: Heron's Manuals and Their Role in Roman Dome Design. In *Nexus Network Journal. Architectures and Mathematics*, 2 aprile 2024. <<https://doi.org/10.1007/s00004-024-00771-2>> (consultato il 6 febbraio 2024).

Sgobbo I. (1977). I templi di Baia. In *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia. Atti dei Convegni dei Lincei* 33. Roma, 4-7 maggio 1976, p. 289. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

Sinopoli A., Valenti G. M., Bruno M., Conti C., Romor J., Martines G. (2018). Primato romano delle volte: Il tempio di Diana a Baia. In D'Agostino S., d'Ambrosio Alfano F. R. (a cura di) *International Conference on History of Engineering, 7° Convegno di Storia dell'Ingegneria. Atti del convegno internazionale*. Napoli, 23-24 aprile 2018. Vol. 1, pp. 57-72. Napoli: Cuzzolin.

Sinopoli A., Aita D. (2021). The dome of the Temple of Diana in Baiae: Geometry, mechanics and architecture. In Roca P., Pelà L., Molins C. (a cura di). *12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC)*. Barcellona 29-30 settembre/1 ottobre 2021, pp. 433-444. Barcellona: International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE).

Truesdell Merrill E. (1922), (a cura di). *Plinio il Giovane. Epistularum libri decem*. Lipsia: B.G. Teubneri. Libro IX. 7.3..

Ugo V. (2008). *Mimēsis. Sulla critica della rappresentazione dell'architettura*. Milano: Maggioli Editore, p. 19.

Wittgenstein L. (1964). *Tractatus logico-philosophicus*. Torino: Einaudi.

Autori

Riccardo Florio, Università degli Studi di Napoli "Federico II", riflorio@unina.it

Raffaele Catuogno, Università degli Studi di Napoli "Federico II", raffaele.catuogno@unina.it

Teresa Della Corte, Università degli Studi di Napoli "Federico II", teresa.dellacorte@unina.it

Anna Sanseverino, Università degli Studi di Napoli "Federico II", anna.sanseverino@unina.it

Caterina Borrelli, Università di Salerno, cborrelli@unisa.it

Alessandra Tortoriello, Università degli Studi di Napoli "Federico II", al.tortoriello@studenti.unina.it

Per citare questo capitolo: Riccardo Florio, Raffaele Catuogno, Teresa Della Corte, Anna Sanseverino, Caterina Borrelli, Alessandra Tortoriello (2024). 'Modello' e forma del cosiddetto tempio di Diana presso le Terme di Baia/'Model' and form of the so-called temple of Diana by the Terme of Baia. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1395-1494.

‘Model’ and form of the so-called temple of Diana by the Therme of Baia

Riccardo Florio
Raffaele Catuogno
Teresa Della Corte
Anna Sanseverino
Caterina Borrelli
Alessandra Tortoriello

Abstract

The study is a pilot case of a PRIN 2022 project based on the concept of cultural accessibility and applied to the Phlegraean Fields; it aims to connect the cultural heritage and its spatial organisation within a network of sites, possibly increasing the number of entities and relations over time. The work intended to trace the main steps of the research by establishing a well-balanced relationship between innovative technologies and consolidated theoretical and operational knowledge in order to develop a workflow based on novel ways and models of representing cultural heritage.

To capture and represent the true form of architecture, the form-structure of the case study was investigated by addressing, employing the integrated survey, the dimensional and geometric complexity of the built space, together with its other features altogether comprising the complex of properties that shape the form and that the form tends to summarise in return.

The Temple of Diana stands as one of the highest expressions of the spatial tension of Roman imperial architecture towards the monumentality of measures, as expressed by the great span of the dome. The study of the generative geometries of the structure compared the outcomes of the integrated survey with the findings of several published studies, including those of Rakob, first, and Sinopoli and Aita, later, leading to the definition of a profile based on Kepler’s ovoid.

Keywords

Integrated survey, generative geometries, pseudo-dome, ovoid, Phlegraean Fields.



Photogrammetric overview of the Thermae of Baia complex. Elaboration by the author.

Introduction

The proposed study exploits the potential of digital survey techniques and methodologies, encapsulated in the precision and 'measurability' of the data that can be gathered and integrated, in order to contribute to the interpretation of the link between 'model' and 'shape' of architecture and, thus, to the comprehension of the emblematic dome structures of the architectural-archaeological site of the Thermae of Baia, in the modern-day municipality of Bacoli.

The thermal complex lies within the Phlegraean Fields, a dense and singular territory characterised by its ancient origins and cultural features, which today has been altered by unplanned urban expansion and problematic permeations between architecture, archaeology and landscape.

The major findings in Baia were already severely compromised in 1936 when Amedeo Maiuri undertook the first excavation and settlement operations. He later described a condition of severe geological-environmental and anthropic criticality [1] that essentially still persists, where the inherent geological fragility and complexity of the Phlegraean Fields – currently more evident than ever due to the pressing threat of bradyseismic phenomena – is reflected in the extremely fragile nature of the archaeological heritage; this highlights the urgency to preserve the memories of the past by means of specific actions aimed at valorising the sites and suitable projects for increasing awareness.

Against the impressive outline of the Aragonese Castle dominating the natural inlet [2], the majestic thermal baths emerge from the landscape of Baia as an *ante-litteram* landmark. Since the moment they were originally conceived, the Thermae were meant to be architectural paradigms of a great civilisation and, at the same time, representative constructions for a climatically privileged site, also chosen by the Roman patricians and imperial families as their summer residence; indeed, their monumental architectural scale was designed to 'set trends', to the extent that Pliny the Younger gave them the telling definition of the *mos baianum* [3].

Their shape, still vividly embodying the Romans construction capabilities [4], caused early

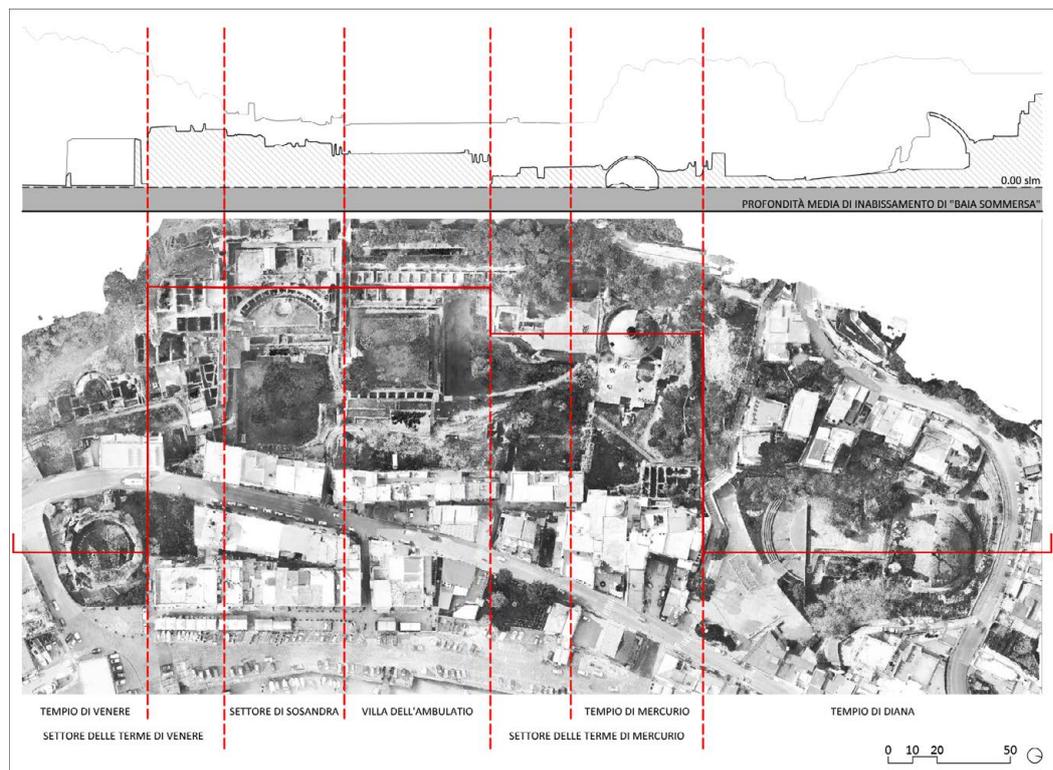


Fig. 1. Territorial section of the Baia thermal complex, top; orthoimage of the Baia thermal complex, bottom. Elaboration by the authors.

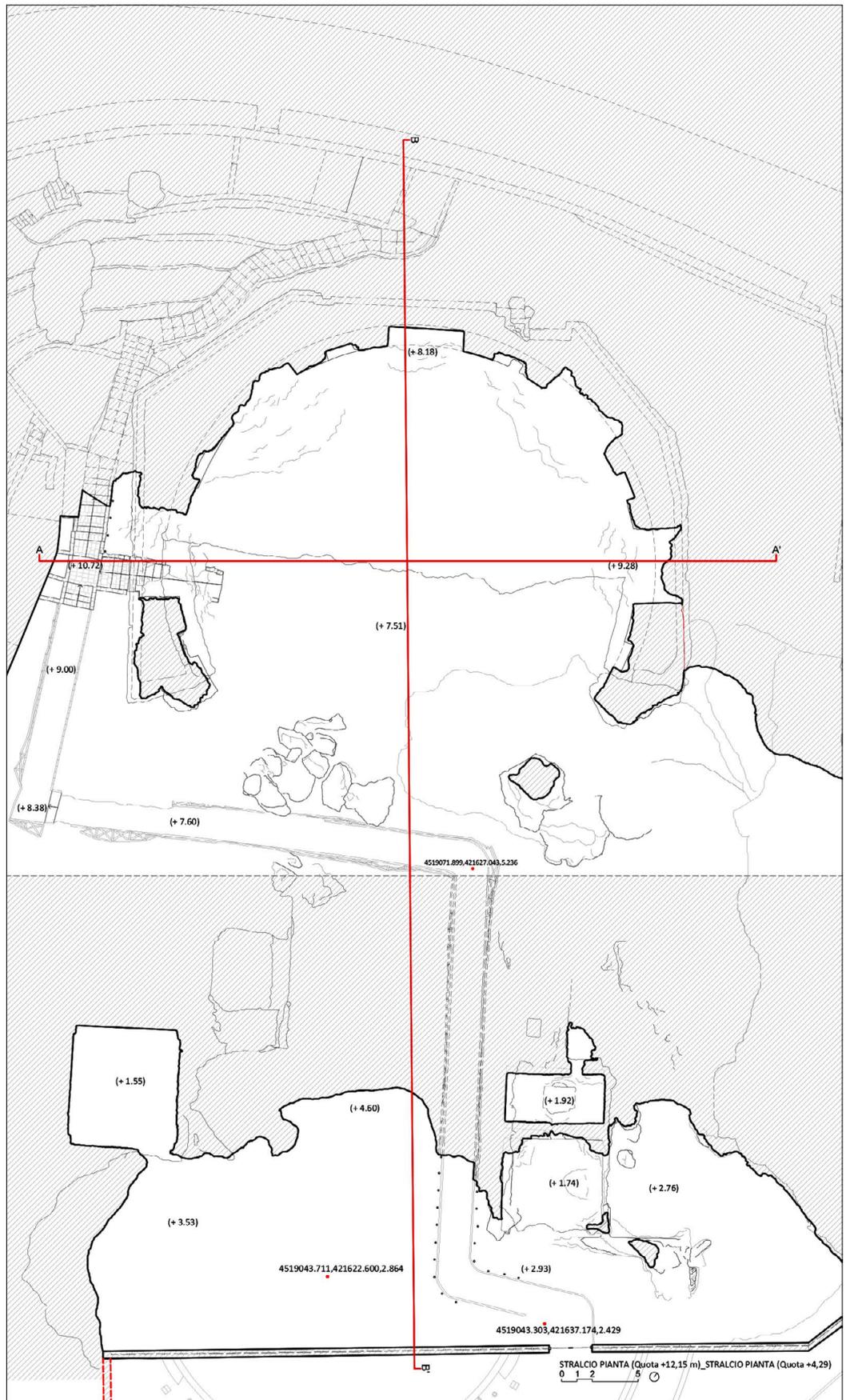


Fig. 2. Plan view at levels +12.15m and +4.29m. Elaboration by the authors.

travellers to refer to them as 'temples', certainly because of the sacred charge expressed by their imposing dimensions and, most notably, by the structural audacity that characterises their vaults; it is precisely the vast spaces generated in their interior without any intermediate support that still express the grandeur and symbolic power of these buildings today. Indeed, the *Thermae* outline is still perceived as intensively identifying the area of the present-day Archaeological Park of the Baths of Baia', which spans longitudinally for approximately 450 metres, while transversally stretching, on one side, from the foot of the hill near the port to the steep panoramic ridge overlooking the Gulf of Pozzuoli and the Gulf of Naples and, on the other side, to the nearby Cumaean coastline. The three 'temples' of Baia respectively designate three homonymous sectors of the total four and, together with the *Ambulatio* sector, are arranged across the coastline and the hills, retaining the original urbanistic layout [Maiuri 1958], but no longer the elevation. As a matter of fact, their original ground level has slowly subsided due to a bradyseismic movement that, since the 4th century A.D., has caused the sinking of the coastline and of large portions of the urban area that currently form the Submerged Archaeological Park of Baia.

The building of the three large thermal structures – whose extrados outlines also earned them the name '*trugli*' in popular tradition – fell within the continuous constructive experimentation that characterised Roman architectural practice since the beginning of the imperial age and aimed at the realisation of grand vaults covering central plan rooms. As a result of the pursuit of bold and scenic solutions to serve as reference models, the great Roman domes represented a real constructive challenge, striving for progressively wider dimensions. It is well known that such an advancement was made possible by employing the *opus cementicium*, the traditional masonry device invented by the Romans [5]. This is proved, in Baia, by the increasing dimensions in diameter of the three 'temples' (21.55 metres - 26.30 metres - 29.50 metres), respectively interpreted according to the temporal sequence from the earliest 'temple' of Mercury of the Augustan age (1st century B. C.) – whose hemispherical dome even provided a reference for the formal perfection of the Pantheon in Rome [6] – to the Hadrian age Venus one (beginning of the 2nd century A. D.), to the Severan age Diana one (end of the 2nd century A. D. – beginning of the 3rd century A. D.) (fig. 1).

Representation for understanding: shape and model

The study hereby presented is intended as a pilot case of a PRIN 2022 [7] project based on the concept of 'cultural accessibility' and applied to the Phlegraean Fields with the purpose of connecting the cultural heritage and its spatial organisation within a (virtual and physical) network of sites whose number in terms of entities and relations can be increased over time.

The carried-out work follows the key steps of research activity, from data collection to data management and integration and the creation of descriptive and interpretative models, thereby setting up a balanced relationship between current technologies and established theoretical and operational knowledge. By incorporating the potential of Information and Communication Technologies (ICT) into the traditional cognitive process, we took full advantage of the accuracy of innovative tools and the distinctive comparative nature of their information layering, representation, and digital photo-modelling capabilities so as to define and make available for further use, a workflow based on novel representation methods and models for cultural heritage (figs. 2-5).

In order to capture and represent the 'true form' of architecture, beyond the many perceptible images, the plurality of possible subjective interpretations, and the large amount of collected data, the outcomes of the integrated survey were used to investigate the 'shape-structure' relationship of the case study. Its peculiar features (such as the physical-constructive, material, aesthetic, and functional ones) were addressed along with the dimensional and geometric complexity of the created space, altogether constituting the set of properties shaping the form and that the form tends to summarise back.

By working in synergy with the tools of consolidated knowledge, the technologies of digital acquisition and visualisation have demonstrated their fundamental and undeniable ability to

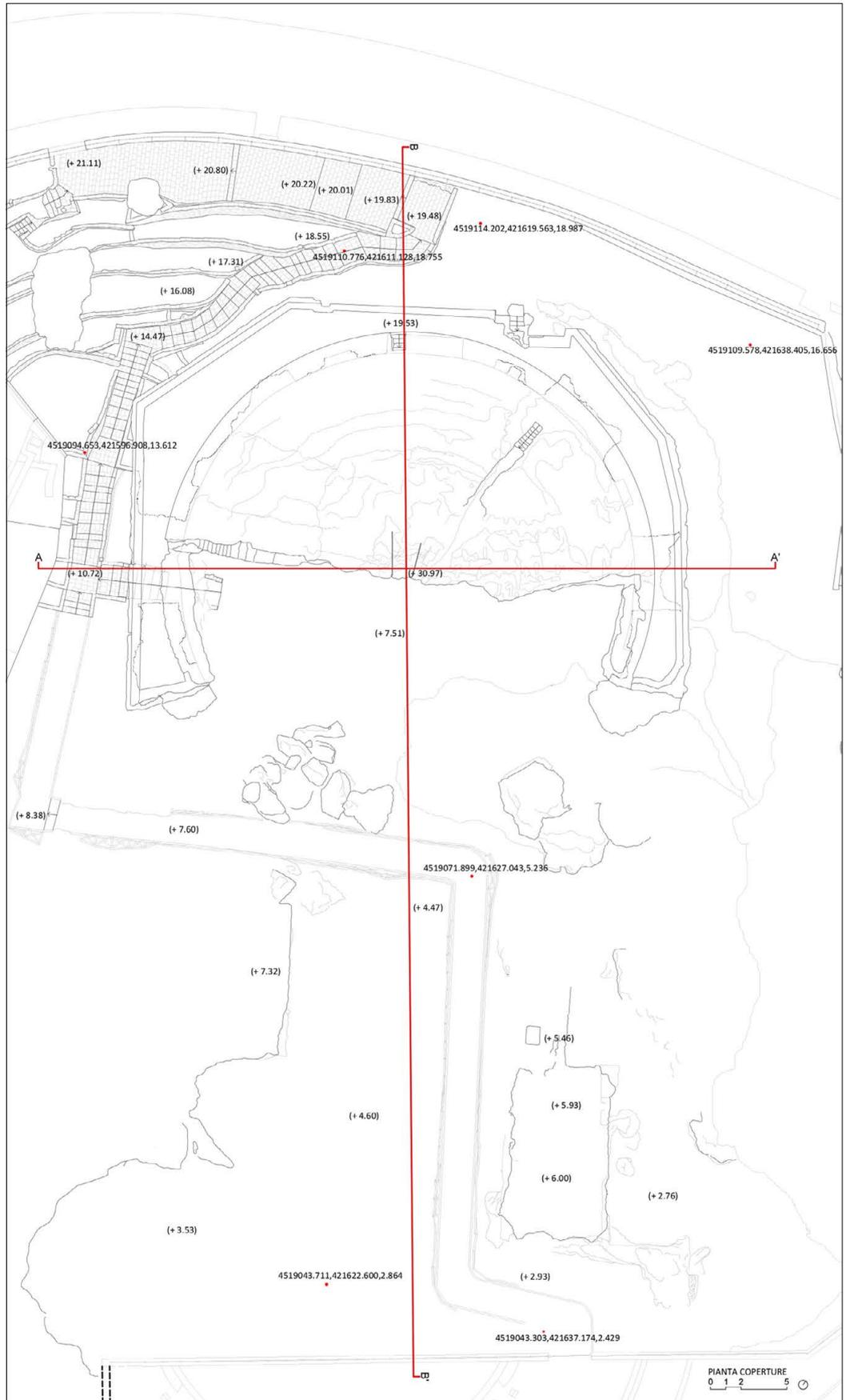


Fig. 3. Roof plan view of the Temple of Diana. Elaboration by the authors.

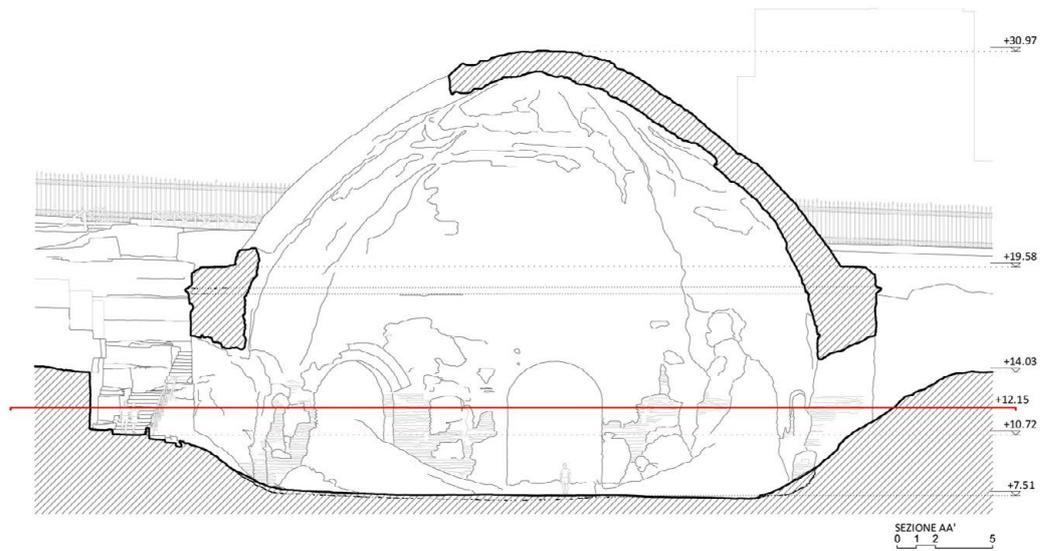


Fig. 4. Cross-section AA' of the Temple of Diana. Elaboration by the authors.

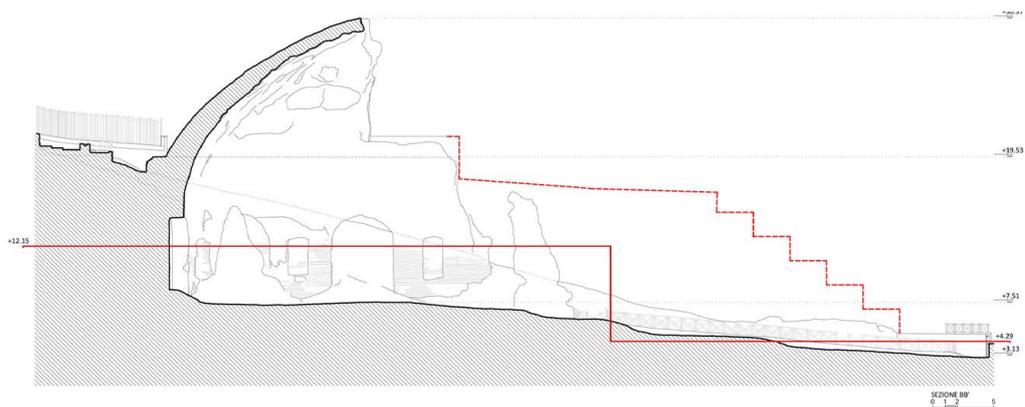


Fig. 5. Longitudinal cross-section BB' of the Temple of Diana. Elaboration by the authors.

contribute to the hermeneutic and 'constructive' value characteristic of drawing. Additionally, they have made it possible not only to rigorously 're-assemble' the surviving remains of the majestic artefact, but also the value of the innermost in-situ traces, such as the material and chromatic features, which can reveal 'the reasons behind the shape' and also support a reliable hypothesis concerning the structures that have settled through space and time. The integration of methods and procedures should take on this critical role in the reading of sites since 'for [...] the *mimēsis* of the representation to be effective and efficient [...] it needs to describe the work in its specific consistency as an «architectural work» [...]. The representation [...] implies the assumption of the work of architecture [...] through the selection and interpretation of the elements and relationships deemed effectively characterising, i.e., through its reduction into a model' [Ugo 2008, p. 19].

Integrated survey methodology and procedures

The complex was outlined via a GPS network consisting of 10 GCPs (Ground Control Points) materialised using RAD (Ringed Automatically Detected) targets, providing a framing grid to support the UAS (Unmanned Aerial System) photogrammetric survey also used for pairing with the TLS (Terrestrial Laser Scanner) laser-scanner survey. Through the Autel Explorer flight planning software, we mapped the area to survey, additionally placing path-defining waypoints, in order to determine the flight altitude of the

drone based on the required GSD (Ground Sample Distance) and the camera mounted on the UAS. Keeping in mind the subsequent reconstruction in the Agisoft Metashape photogrammetric modelling software environment, it was possible to estimate the number of frames to be gathered over the five flights necessary for the acquisition of the intended datasets.

The drone used for the flights was the Autel EVO II, which proved to be particularly suitable as its 6K resolution camera allowed it to fly at 60 metres whilst achieving a very high GSD. The dataset for the Temple of Diana comprised 358 frames, average flight altitude of 60 metres, overlap and sidelap of 70%, allowing for orthoprojections with a GSD of 1.18 cm/



Fig. 6. Orthoimage of the Temple of Diana within the urban context. Elaboration by the authors.

px. Operational and environmental factors were taken into account to ensure maximum coverage of the area during the post-processing (fig. 6). For the TLS acquisition, control points were scanned using a phase shift laser scanner, the CAM2's Focus 3D X330 model. The stations for the 132 scans carried out (resolution 6.136 mm @10 m, 2X quality, six-minute time) were identified to reduce the number of occlusions as much as possible, while the alignment method based on the iterative closest point (cloud to cloud) algorithm was used for some areas that were not accessible for target positioning. The system consisting of the union of the individual scan point clouds into a single three-dimensional model was then georeferenced by assigning the coordinates of the communal targets (figs. 7-9).



Fig. 7. SfM South-West perspective view of the Temple of Diana. Elaboration by the authors.



Fig. 8. SfM South-East perspective view of the Temple of Diana. Elaboration by the authors.



Fig. 9. SfM North-West perspective view of the Temple of Diana. Elaboration by the authors.

Geometry, measure, and shape of the 'Temple' of Diana

The paper proposes a focus on scientific experimentation regarding the 'shape' of the so-called 'Temple' of Diana [8], which originally consisted of a main volume bearing a plan profile circular at the intrados and octagonal at the extrados, and a pointed dome, whose lower part was built in opus vittata (alternating tufa and clay bricks) while the upper part was made from irregular tufa blocks embedded in mortar and gradually protruding.

The building is partially buried due to a substantial layer of debris that blocked the original walking level (placed a few metres below) and sedimented up to the level of the wide openings. The dome has collapsed for approximately half of its original volume and its surviving structures and surfaces are significantly damaged and degraded [9].

The 'Temple' of Diana stands as one of the greatest expressions of the spatial tension of Roman imperial architecture towards monumental measures which here is expressed not only by the wide 'span' covered by the dome – realised in '[...] progressively overhanging rings, built using tufa and clay-brick fragments near the spring, and just porous and lighter tufa in the upper part' [De Caro, Greco 1993, p. 62] – but also by something somewhat unexpected. Upon examining the still imposing remains of the once great thermal hall that benefited from the natural steam effluvia coming from the ground [10], our recent accurate survey [11] allowed us to confirm the classic Roman tendency to embellish the external load-bearing wall – here enhanced by the scenographic alternation of wall niches and wide windows opened in the curved wall, according to a Severan taste – and to detect an overall deep symbolic emphasis on the liminal dimension. Surely, the boldness in size seemingly engaged in a dialectic exchange with the pursuit of a dematerialisation of the interior space, which is linked to the spiritual values of the light modulations on the surfaces and the proximity to water; the element marking the original function.

From this point of view, we seem to approach those 'beyond measure' horizons, where the size difference between man and his constructions draws measures through space and time;

'[...] the proportions of those measures always refer to several interpretation systems, to that complex and oscillating 'metre' that reflects our own reasoning [...] which, on the one hand, tends to systematise things so as to claim them as its own, and, on the other hand, is conscious of that absolute it aspires to and that is inherent in the very concept of the infinite' [Baculo Giusti 1989, p. 3].

It is no surprise that Protagoras of Abdera's figurative statement 'man is the measure of all things' was transposed into Vitruvius' *De Architectura*. Here, the identification of an analogical benchmark, against which to appropriately compare all aspects of an architectural artwork to ensure that it appears as a harmonious whole, draws its principles from nature and is almost inevitably inspired by the proportions of the human body.

The study on the generative geometries of the structure compared the results of the conducted integrated survey with the results published by Friedrich Rakob [Rakob 1988; Rakob 1992] (fig. 10), and the scientific contributions of Anna Sinopoli and Danila Aita [Sinopoli 2018; Sinopoli, Aita 2021], who had themselves commented on the previous research of Guglielmo De Angelis d'Ossat [12] (fig. 11).

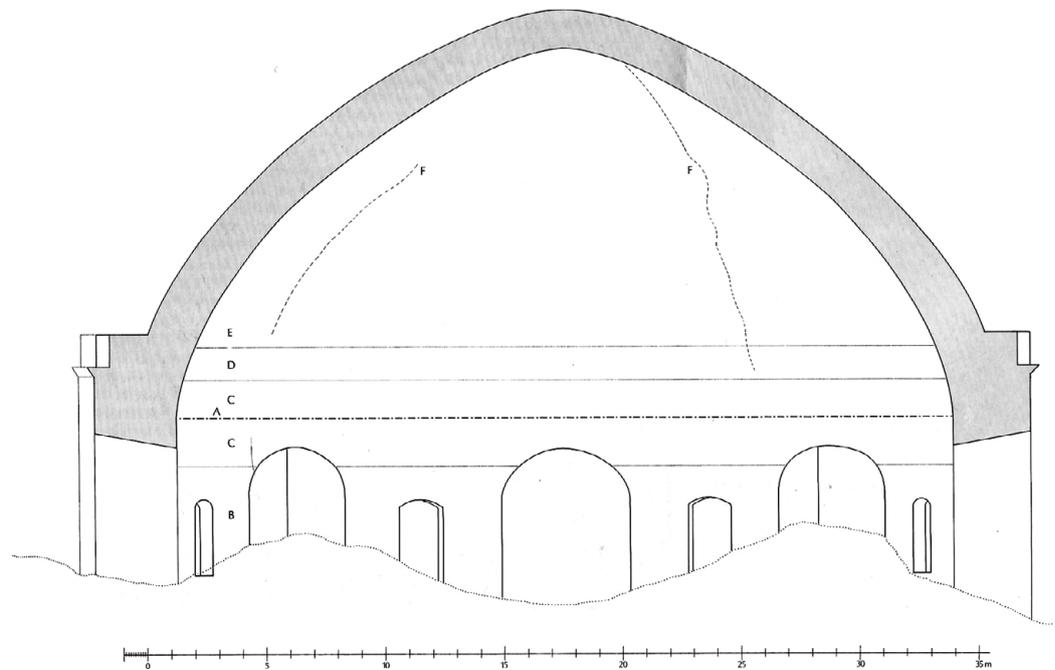


Fig. 10. Profile of the Temple of Diana (from: Rakob 1988, p. 276).

Namely, querying the integrated TLS-UAS cloud allowed the two structural researchers, Sinopoli and Aita, to deduce in further detail the geometric meridian profile adopted by the Romans for the dome of Diana and thus to verify its deviations from the polycentric profile proposed by Rakob. Rakob had deduced his result by working comparatively on an elliptic curve, a parabolic curve, and a polycentric one, thinking that he could thereby demonstrate how the building expertise in the Phlegraean area had found the polycentric profile to be the one enabling the most far-reaching experimentation and the achievement of increasingly advanced technological goals.

Although Rakob's own research highlighted the lack of correspondence between the ideally octagonal layout of the 'temple' and the actual geometry of the built structures – especially in terms of the building's resistance to the stresses caused by seismic events or, more generally, by all the instability mechanisms that caused its collapse – his solution for the shape of Diana's dome does indeed present some inconsistencies particularly concerning the ideal placement of the centres of the upper arches and the alleged presence of a cusp at the top, undetectable at the extrados.

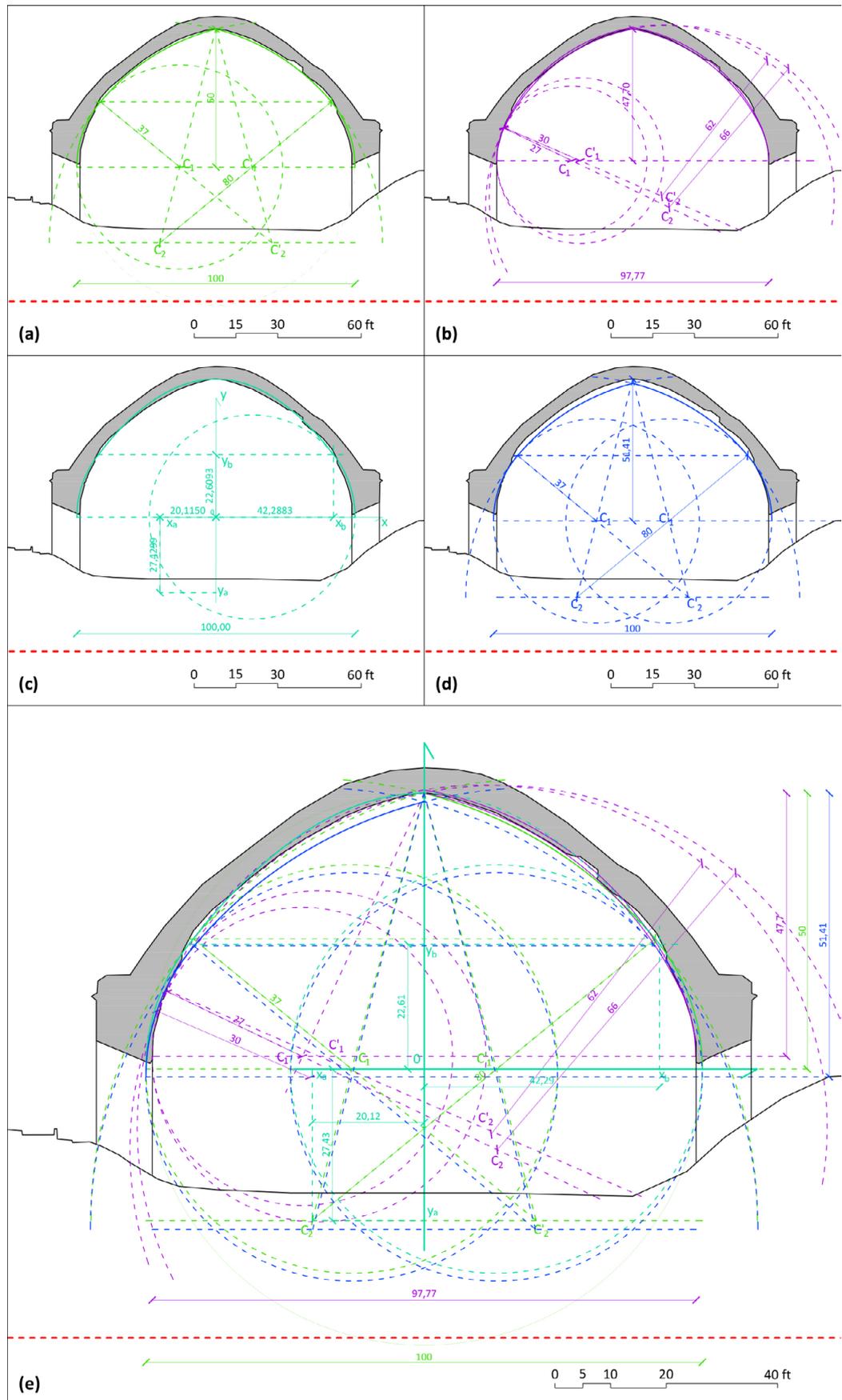


Fig. 11. Elaboration of the dome profiles proposed by: Rakob (a) (from: Rakob 1988); Valenti and Romor (b) (from: Sinopoli 2018); the two by Sinopoli and Aita on Rakob's considerations (c) (2021) and, always on Rakob's considerations, shifting the max. rise from 50ft to 51.41ft (d). Overview at the bottom (e). Elaboration by the authors.

Taking into consideration the particular construction system and following further investigations conducted on similar roof structures [Incerti 2022, pp. 700-719; Roca et al. 2024], we attempted to find a numerical curve capable of best approximating it. Instead of a purely geometric description of the generating profile [Migliari 1995, pp. 93-102], we identified a curve derived from the so-called 'Kepler ovoid' [13]; it is drawn in a Cartesian plane with its origin set at the top of the dome, positive y-axis upwards and positive x-axis to the right.

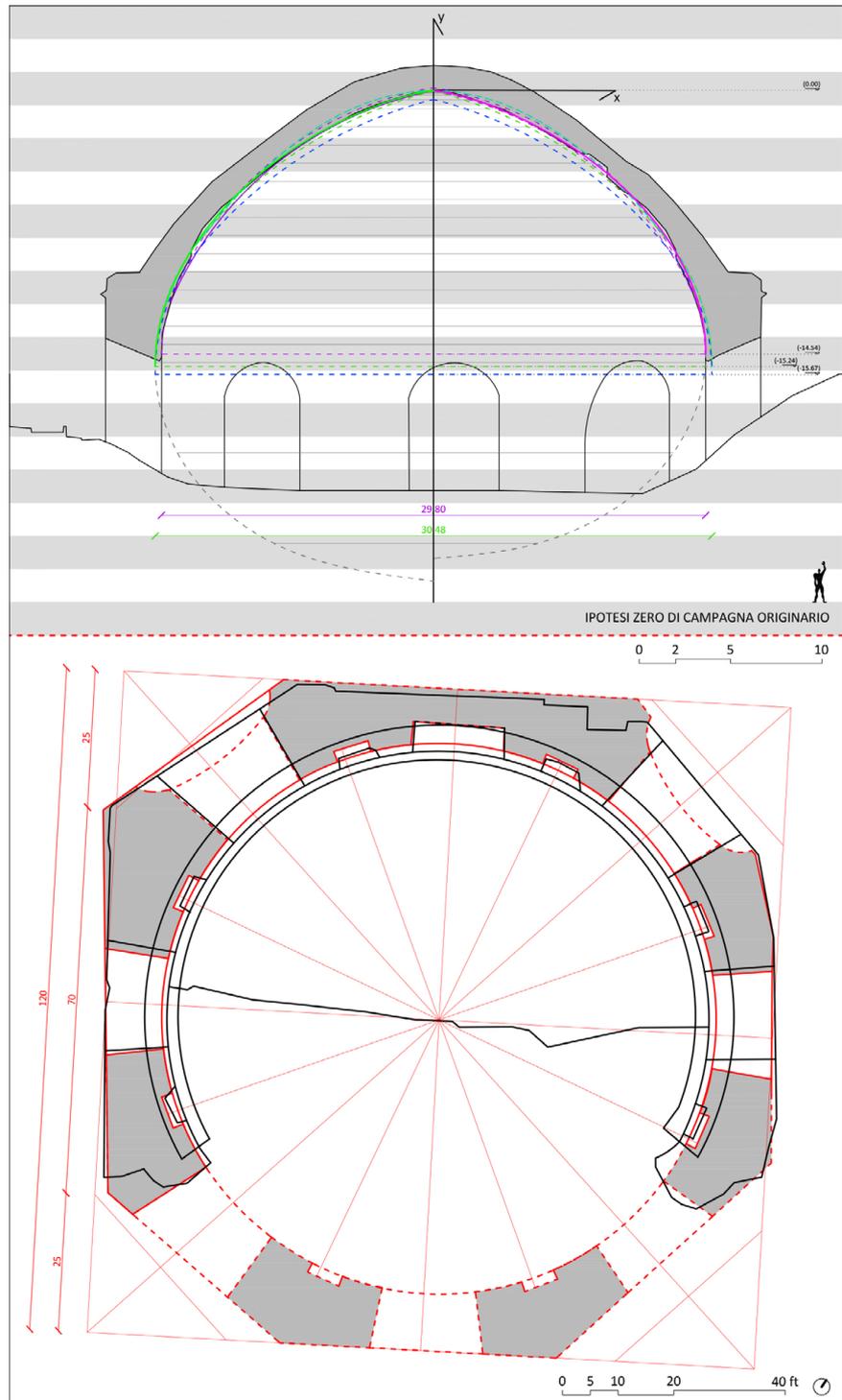


Fig. 12. Elaborations of the literature profiles and Kepler curves for 'b'=0.3168 (a=25.83m, $y_{max}=-14.54m$, $x_{max}=14.90m$, dx) – and for 'b'=0.3327 (a=27.07m, $y_{max}=-15.24m$ (50ft), $x_{max}=15.24m$, sx) – against the human scale (1.83m) (top). Present-day plan of Diana (black) and Rakob's hypothesis (red) (bottom). Elaboration by the authors.

The original curve describes the profile of an egg allowing for just the total longitude to vary as the 'a' variable increases while keeping the proportional ratios constant. The idea was therefore to introduce a second coefficient 'b' that would allow the maximum radius to vary along the x-axis [14].

To draw the curve, it was necessary to determine an appropriate value of 'b'; thus, having empirically derived the proportional quotient between the ordinate (y_{\max}) which identifies the maximum radius (x_{\max}) and the total length in the direction of the y-axis [15], it was possible to solve the equation of the ovoid as the coefficient 'b' varied between a minimum of 0 (not included) and a maximum of 1, so as to highlight the inverse ratio between the aforementioned 'b' and ' x_{\max} '. Therefore, by assuming the maximum rise of the dome equal to the absolute value of y_{\max} and the maximum span equal to double x_{\max} , it was possible to determine the value of 'b' by successive iterations, thus making it possible to 'print' the mathematical curves that seem to fit quite well the intrados of the 'temple' of Diana (fig. 12).

Conclusions

The presented research focused mainly on the formal aspects of the great 'rotunda' rather than on construction techniques and collapse mechanisms, leading to the conclusion that determining the geometric profile of a dome is not only a question of measurements, but also of historical context, geometric knowledge, and construction traditions.

The present work aimed to approach the geometric and constructive knowledge presumably acquired at the time of the construction of the dome in the late Severan period, searching for the most plausible technical-analytical solution for its genesis in a single-curve profile very close to the ovoidal one.

The in-depth analysis conducted on the comparative studies concerning the functioning of roof structures built in overlapping horizontal rows also proved to be crucial, demonstrating that the Romans were empirically aware of the mechanical behaviour of the dome depending on the different construction phases and the resulting solutions adopted.

Notes

[1] 'Roman Baia was partly submerged in the sea due to the slow sinking of the shore owing to the phenomenon of bradyseism, partly semi-submerged within the earth, and partly buried by vineyards. [...] What remained (thermal baths, cisterns, porticoes and supporting arched walls) had become a farmhouse, stable, and cellar. Nor there were too many favourable conditions for the modern settlement, although fortunately limited to the narrow coastal strip. A row of houses ended up shielding the view of the many ruins [...]; the Cumana railway cut off the monumental complex of the 'Temple of Diana' from the rest of the spa town [...]. To this must be added the pozzolan quarry industry which, unsupervised and unregulated, by cutting slopes, opening craters and digging tunnels [...] constitutes the greatest danger to the integrity of the most classic and historic landscape of the Gulf of Naples [...]' [Maiuri 1951, p. 359].

[2] The inlet of Baia was formerly occupied by a lake (*Baianus locus*) connected to the open sea by a wide channel.

[3] In Baia, literary sources report a real trend, adopted by the Roman bourgeoisie, to spend time in complete relaxation, the so-called *otia baiana*, away from the burden of daily activities and often also away from the rules of civil life: luxury, promiscuity, and moral liberty became a lifestyle in the Roman imperial era, made possible by the uniqueness of the place and the casual attendance [Truesdell Merrill 1922].

[4] In this regard, see a significant and figurative reflection by Wittgenstein, who defines shape as one of the 'possibilities of structure' [Wittgenstein 1964, p. 8].

[5] Generally made of tufa stones laid with mortar, the construction technique of *opus cementicium* acquired a further peculiarity in the buildings of Baia by using the local pozzolana (*pulvis puteolanus*) as a binder: *Pulvis puteolanus* was a volcanic dust, capable of bearing great weight, tensile resistant, light, and inexpensive, ductile and therefore particularly suitable for the construction of curved vaults. Found at shallow depths, but now exhausted, it is described by Aveta, who indicates its location in the Phlegraean quarries of Bacoli and Monte di Procida, where there were also 'stronger' and rougher pozzolans, different from the Vesuvian ones that were instead 'softer' and had weaker hydraulic qualities, as well as being finer and softer [Aveta 1987, p.17].

[6] Some other domes of the Roman era presenting particularly huge dimensions are the so-called Temple of Apollo, built in the 1st century A.D. with a diameter of about 38.20 metres, whose remains can be found near Lake Avernus inside the same area of the Phlegraean Fields, and the *calidarium* of the Thermae of Caracalla in Rome, built during the 3rd century A.D. with a diameter of 38.5 metres.

[7] The study is part of the research activities of the PRIN 2022 project SPLASCH (Smart Platform and Application for Southern Cultural Heritage) and the PE0000020 project CHANGES, both funded by the European Union - Next Generation EU.

[8] The construction of the 'Temple', which, according to antiquarian tradition, is due to the discovery of marble bas-reliefs depicting wild animals and possibly an inscription with the name 'Diana' [Amalfitano 1990, p. 231] that originally decorated a recreation room or nymphaeum [Sgobbo 1977, p. 289], is considered attributable to the building schedule of Alexander Severus.

[9] In addition to the damage probably caused by major seismic events (the Pithecusa earthquake of 1275 and the 1538 eruption that resulted in the Monte Nuovo), the causes of the collapse have been traced by the researcher Friedrich Rakob to a widespread construction error and, in particular, to the use of low-strength materials for the outer wall at the dome vault spring level [Rakob 1992, p. 254].

[10] Still today, water from an underground spring emerges in the southern area of the Thermae of Diana

[11] The integrated in-situ survey operations were completed in January 2024.

[12] 'We do not know whether the profile of the dome - which was never surveyed - corresponds to one or more curves (catenary, parabola, circular arcs). However, the typical curvilinear profile, which we defined as ovoid, is usually observed in vaults throughout the Ancient East, starting with the rare and remarkable Egyptian examples of barrel vaults' [De Angelis d'Ossat 1977, p. 256].

$$[13] (x^2 + y^2)^2 + ay^3 = 0$$

$$[14] (bx^2 + y^2)^2 + ay^3 = 0$$

$$[15] a = -y_{\max} / 0.563$$

Acknowledgements

We take this opportunity to thank Dr Fabio Pagano, Director of the 'Ufficio Tutela e Gestione delle Aree Archeologiche, dei Monumenti e delle Collezioni del Parco Archeologico dei Campi Flegrei', Arch. Maria Pia Cibelli, Head of the 'Museo Archeologico dei Campi Flegrei' hosted in the Castle of Baiae, Arch. Angela Klein, Head of the 'Parco Sommerso e delle Terme di Baia', Dr Enrico Gallochio for providing authorisation and support in the survey activities carried out in the Archaeological Park of the Thermae of Baia. Furthermore, we express our appreciation to Eng. Antonio Giacomo Elia Florio for the drone surveys of the entire area of the Archaeological Park of the Thermae of Baia.

References

Amalfitano P., Camodeca M. (1990). *I Campi Flegrei. Un itinerario archeologico*. Venezia: Marsilio.

Aveta A. (1987). *Materiali e tecniche tradizionali nel napoletano*. Napoli: Arte Tipografica.

Baculo Giusti A. (1989). Orizzonti oltremisura. In *Quaderni Di. Smisurate misure! Differenze di scala di fattura di ruolo informativo di significato*. N.9/1989, p. 3.

De Angelis D'Ossat G. (1977). L'architettura delle terme di Baia. In *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia. Atti dei Convegni dei Lincei* 33. Roma, 4-7 maggio 1976, p. 256. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

De Caro S., Greco A. (1993). *Campania*. Bari: Laterza.

Incerti M. (2022). La proiezione centrale come sistema di tracciamento sulle pseudo-cupole del V secolo / The central projection as a tracing system on the fifth century pseudo-domes. In Battini C., Bistagnino E. (Eds.). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers*, pp. 700-719. Milano: FrancoAngeli.

Maiuri A. (1951). Terme di Baia, scavi, restauri e lavori di sistemazione. In *Bollettino d'arte*, 36-IV, p. 359. Roma: Libreria dello Stato.

Maiuri A. (1958). *I Campi Flegrei*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Libreria dello Stato.

Migliari R. (1995). Ellissi e ovali: epilogo di un conflitto. In *PALLADIO*, N.16, pp. 93-102.

Rakob, F. (1988). Römische Kuppelbauten. In *Baiae, Die Gewölbepprofile. Mitteilungen Des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung* 95, pp. 257-301.

Rakob F. (1992). Le cupole di Baia. In Gigante M. (Ed.). *Civiltà dei Campi Flegrei. Atti del convegno internazionale*. Pozzuoli (NA), 18-21 ottobre 1990, pp. 254. Napoli: Giannini Editore.

Roca A., Juan-Vidal F., Cipriani L., Fantini F. (2024). On Vaulting: Heron's Manuals and Their Role in Roman Dome Design. In *Nexus Network Journal. Architectures and Mathematics*, 2 aprile 2024. <<https://doi.org/10.1007/s00004-024-00771-2>> (accessed 6 February 2024).

Sgobbo I. (1977). I templi di Baia. In *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia. Atti dei Convegni dei Lincei* 33. Roma, 4-7 maggio 1976, p. 289. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

Sinopoli A., Valenti G. M., Bruno M., Conti C., Romor J., Martines G. (2018). Primato romano delle volte: Il tempio di Diana a Baia. In D'Agostino S., d'Ambrosio Alfano F. R. (Eds.) *International Conference on History of Engineering, 7° Convegno di Storia dell'Ingegneria. Atti del convegno internazionale*. Napoli, 23-24 aprile 2018. Vol. I, pp. 57-72. Napoli: Cuzzolin.

Sinopoli A., Aita D. (2021). The dome of the Temple of Diana in Baiae: Geometry, mechanics and architecture. In Roca P., Pelà L., Molins C. (Eds.). *12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC)*. Barcellona 29-30 settembre/1 ottobre 2021, pp. 433-444. Barcellona: International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE).

Truesdell Merrill E. (1922). (Ed.). *Plinio il Giovane. Epistularum libri decem*. Lipsia: B.G. Teubneri. Libro IX. 7.3.

Ugo V. (2008). *Mimēsis. Sulla critica della rappresentazione dell'architettura*. Milano: Maggioli Editore, p. 19.

Wittgenstein L. (1964). *Tractatus logico-philosophicus*. Torino: Einaudi.

Authors

Riccardo Florio, Università degli Studi di Napoli "Federico II", riflorio@unina.it

Raffaele Catuogno, Università degli Studi di Napoli "Federico II", raffaele.catuogno@unina.it

Teresa Della Corte, Università degli Studi di Napoli "Federico II", teresa.dellacorte@unina.it

Anna Sanseverino, Università degli Studi di Napoli "Federico II", anna.sanseverino@unina.it

Caterina Borrelli, Università di Salerno, cborrelli@unisa.it

Alessandra Tortoriello, Università degli Studi di Napoli "Federico II", al.tortoriello@studenti.unina.it

To cite this chapter: Riccardo Florio, Raffaele Catuogno, Teresa Della Corte, Anna Sanseverino, Caterina Borrelli, Alessandra Tortoriello (2024). 'Modello' e forma del cosiddetto tempio di Diana presso le Terme di Baia/Model and form of the so-called temple of Diana by the Terme of Baia. In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1395-1424.