

Arte e tecnica dei ponti romani in pietra

a cura di
Carlo Inglese e Leonardo Paris



Collana Materiali e documenti 58

Arte e tecnica dei ponti romani in pietra

a cura di
Carlo Inglese e Leonardo Paris



SAPIENZA
UNIVERSITÀ EDITRICE
2020

Il presente volume è stato pubblicato grazie al finanziamento
Progetto di Università Medio - Anno: 2015 - prot. C26A15SRLR

Gli elaborati grafici, le cui dimensioni e alta risoluzione
non sono compatibili con il formato della presente pubblicazione,
sono reperibili al seguente link: <http://www.editricesapienza.it/node/7935>

Copyright © 2020

Sapienza Università Editrice

Piazzale Aldo Moro 5 – 00185 Roma

www.editricesapienza.it

editrice.sapienza@uniroma1.it

Iscrizione Registro Operatori Comunicazione n. 11420

ISBN 978-88-9377-150-4

DOI 10.13133/9788893771504

Pubblicato a luglio 2020



Quest'opera è distribuita
con licenza Creative Commons 3.0
diffusa in modalità *open access*.

Cura redazionale: Monica Filippa

Impaginazione/layout a cura di: Carlo Inglese, Leonardo Paris, Monica Filippa

In copertina: Il Ponte di Augusto a Narni (elaborazione grafica di Leonardo Paris)

*L'eurythmia o armonia è quella bellezza
dell'insieme che risulta dal perfetto accordo
delle parti.*

*Si ottiene quando tutti i dettagli dell'opera
si corrispondono simmetricamente
in altezza, larghezza e lunghezza.*

MARCO VITRUVIO POLLIONE
De Architectura, Libro I, cap. II

Indice

Presentazione	1
<i>Carlo Bianchini</i>	
I ponti lapidei di epoca romana. Ricerca e sperimentazione interdisciplinare	3
<i>Carlo Inglese, Leonardo Paris</i>	
Prima parte	
Rilievo e modellazione digitale: acquisizione, elaborazione, interpretazione	15
<i>Carlo Inglese, Leonardo Paris</i>	
Fonti iconografiche per lo studio dei ponti di Roma: il Ponte Emilio e il Ponte Fabricio	29
<i>Paola Quattrini, Monica Filippa</i>	
Rappresentazione multimediale e interattiva per i ponti romani	59
<i>Tommaso Empler, Adriana Caldarone</i>	
La raccolta dati in ambiente QGIS per un modello territoriale nazionale dei ponti antichi	77
<i>Francesca Pierdominici</i>	
Analisi formale, costruttiva e dimensionale dei ponti romani lapidei	101
<i>Carlo Inglese, Leonardo Paris</i>	

Seconda parte

Ponte Emilio a Roma	117
<i>Giulia Umana</i>	
Ponte Fabricio a Roma	137
<i>Carlo Inglese, Daniele Maiorino</i>	
Ponte di Augusto a Narni	153
<i>Maria Laura Rossi</i>	
Ponte romano a Rieti	173
<i>Leonardo Paris</i>	
Ponte romano ad Alcántara in Spagna	189
<i>Carlo Inglese, Antonio Pizzo, Roberto Barni</i>	
Bibliografia generale	205
Autori	215

Ponte di Augusto a Narni

Maria Laura Rossi

Il contributo illustra l'esperienza di studio, in costante evoluzione e progresso¹, condotta sul celebre Ponte di Narni lungo l'antico tracciato della via Flaminia, una delle più importanti opere di infrastruttura costruite dai Romani. Varie ipotesi sono state formulate sulla possibile conformazione del ponte, sulle dimensioni delle arcate, sulle misure e sulle proporzioni originarie. In particolare si tenta di fornire possibili risposte ad alcuni persistenti interrogativi, ripercorrendo in primo luogo i passi affrontati durante la ricerca, a partire dalle azioni di rilievo e dallo studio dei rapporti tra il ponte, il Santuario della Madonna del Ponte e il tracciato della Via Flaminia; la seconda fase di approfondimento del caso di studio ha messo in relazione gli aspetti geometrici e di misura con quelli strutturali, resi evidenti dallo stato di rudere del ponte che, nel crollo, ha esposto i suoi paramenti, il nucleo e la tecnica di fissaggio dei blocchi.

1. Il ponte di Augusto e la grotta del Santuario della Madonna del Ponte

Nel 27 a.C. Augusto fece costruire un ponte per attraversare la valle del Nera collegando due rilievi montuosi, quello del Monte Sant'Angelo, a nord verso la piana ternana, alle cui pendici troviamo oggi il santuario detto della Madonna del Ponte, e quello del Monte Maggiore, a sud, appena sotto le fortificazioni murarie dell'antica città di Narnia. Si tratta di un punto strategico poiché, oltre a permettere l'attraversamento del fiume e a collegare le due sponde, funge da filtro tra il paesaggio collinare e la valle ternana. L'assetto topografico e, quindi, il rapporto del ponte con la città e con il paesaggio dopo duemila anni è praticamente immutato.

Il ponte si presenta come un'imponente opera di ingegneria in muratura con 4 arcate, da contestualizzare nell'ambito dei lavori di restauro della via Flaminia. Questa via è ancora oggi una delle principali arterie di attraversamento dell'Italia centrale e molti tratti attualmente corrispondono all'antico percorso; tuttavia non è possibile risalire con precisione all'antico tracciato nel punto in cui sorge il ponte, poiché dalla fine dell'Ottocento fino alla Seconda Guerra Mondiale quest'area ha subito importanti modifiche a seguito della costruzione di centrali idroelettriche e di assi viari alternativi.

Nel corso dei secoli sono state formulate numerose ipotesi in merito a tale questione e, a supporto delle stesse, vi sarebbero dei ritrovamenti risalenti al XVII secolo. Un'interessante preesistenza che potrebbe essere in qualche modo collegata al tracciato della via Flaminia è quella della grotta del Santuario della Madonna del Ponte, scoperta ai primi del Settecento, con all'interno pitture di epoca medievale. Di recente intorno alla grotta è stata costruita una chiesa, scavando anche parte del Monte Sant'Angelo, su quel lato che presumibilmente conservava le tracce della via Flaminia. La difficile situazione orografica nel punto di innesto tra il ponte e il Monte Maggiore, dove negli anni Sessanta del Novecento è stata realizzata una nuova strada di accesso a Narni, non ha consentito di acquisire al momento informazioni utili per indagare in maniera approfondita l'area in cui si trovava quasi sicuramente il tracciato della via Flaminia a ridosso dell'antico nucleo di Narni. La costruzione del santuario non è l'unica opera che va a incidere sull'assetto paesaggistico; lo stesso ponte è stato modificato nel 1860 per permettere il passaggio della linea ferroviaria Roma-Terni, con la demolizione di una parte della costruzione della spalla destra del ponte e la definitiva cesura tra la riva destra del fiume e la piana ternana, dove oggi si trova l'abitato di Narni Scalo. Inoltre, figurativamente, il nuovo varco funge da quinta arcata, alterando completamente la lettura complessiva e il ritmo compositivo a quattro archi del ponte romano (Fig. 1).

In realtà l'unica arcata superstite e intatta è la prima, a ridosso della spalla sinistra, rappresentata in un identico stato di conservazione da importanti artisti dei secoli scorsi.

Sebbene già nel VI secolo vi fossero già stati alcuni crolli parziali, seguiti da una ricostruzione che consentì nuovamente l'uso del ponte, dalla prima metà dell'XI secolo viene denominato nei documenti "ponte rotto", chiara indicazione sul suo stato di conservazio-

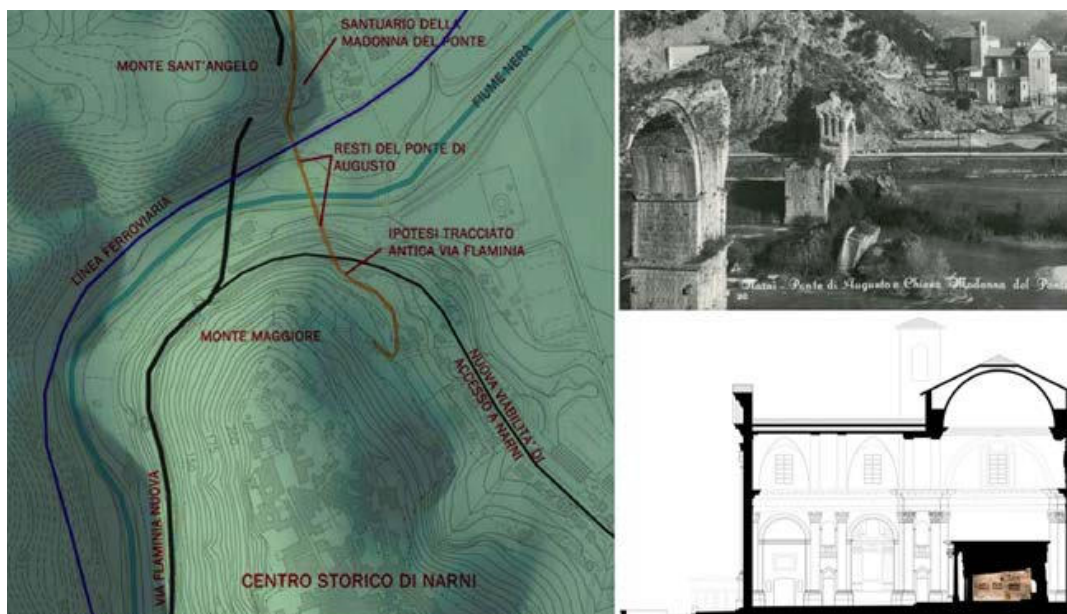


Fig. 1. A sinistra: assetto planimetrico territoriale. A destra, in alto: veduta dei ruderi del ponte e, sullo sfondo, il Santuario; in basso: vista in sezione del Santuario e della grotta con affreschi medievali (elaborazione di Maria Laura Rossi).



Fig. 2. A sinistra: vista dei resti del ponte e, a destra, schematizzazione della configurazione del ponte pre e post crollo del secondo pilone (modellazione di Wissam Wababeh).

ne. Alcuni storici² riconducono la causa del crollo del secondo, terzo e quarto arco ad una piena del fiume Nera, evento che si è ripetuto numerose volte nei secoli; Alberto Cecchi³, tuttavia, sulla base di analisi e studi condotti sul ponte, riconduce le cause del collasso a un progressivo insabbiamento delle fondamenta del secondo pilone.

Dopo il crollo della seconda e della terza arcata, il 17 luglio 1885 anche il secondo pilone che le sosteneva seguì la medesima sorte a causa della spinta delle acque del fiume, sezionandosi in tre macro blocchi che hanno perso qualsivoglia riferimento rispetto alla loro posizione originaria. Questo secondo pilone e la perdita di informazioni rispetto alla sua configurazione iniziale rappresenta la

principale causa dell'avvicinarsi di ipotesi ricostruttive per lo più contrastanti tra loro (Fig. 2).

2. Rilievo digitale integrato a supporto e verifica delle ipotesi ricostruttive

Il paesaggio in cui si innesta il Ponte di Augusto, particolarmente suggestivo sia a livello naturalistico che per le rovine stesse del ponte, ha nel corso dei secoli attratto molti artisti e studiosi e proprio per questi motivi si dispone di un consistente repertorio iconografico databile dalla seconda metà del Seicento alla fine dell'Ottocento, con immagini che documentano i luoghi e nelle quali il ponte non è un'opera di ingegneria ma è esso stesso paesaggio⁴. Tra i tanti artisti, ve ne sono alcuni che si sono concentrati principalmente sulla rappresentazione del manufatto, come se fosse esso stesso il fulcro dell'immagine e che hanno dato maggiore evidenza all'aspetto ingegneristico dell'opera, con rappresentazioni molto realistiche dal valore documentale, particolarmente utili per riuscire a comprendere tutte le modifiche che nel tempo esso ha subito (Fig. 3). Inoltre molti di questi studiosi, a causa dei crolli e dell'instabilità insita nelle opere murarie rimanenti, si videro affidare il compito di rilevare il ponte per programmarne i lavori di consolidamento. Tale patrimonio iconografico dunque non annovera soltanto rappresentazioni artistiche ma anche scientifiche che, nella maggior parte di casi, sono accompagnate da ipotesi sulla conformazione originaria.

Tra le varie ipotesi configurative quella dell'ing. Giuseppe Riccardi, del 1837, appare essere la più accurata scientificamente e metodologicamente, almeno dal punto di vista della rappresentazione, potendo confrontare pianta e alzato: si noti la differenza del piano d'imposta della grande arcata, la pendenza della strada, il disallineamento dei piloni in pianta⁵.

Il rilievo più recente di cui disponiamo, eseguito con strumentazioni innovative topografiche e fotogrammetriche, è stato curato da Alberto Cecchi nel 2003⁶, il quale risponde a molti interrogativi in maniera motivata e convincente tralasciando però alcune questioni fondamentali. Egli, come molti studiosi prima di lui, propone una diversa soluzione ricostruttiva scaturita da un'attenta lettura dei dati rilevati; sulla base di rilievi geometrici e considerazioni costruttive storiche egli ritiene che la configurazione originale fosse quella con



Fig. 3. Piccolo estratto delle fonti iconografiche relative al Ponte di Augusto: a) d) Philipp Jacob Hackert (incisore Georg Abraham), *Première, Deuxième vue des ruines du pont d'Auguste sur la Nera a Narni*, 1795, 1779; b) Peter Stephens (incisore James Forrester), *Les ponts de Narni*, 1760; c) Carlo Labruzzzi, *Ponte di Narni*, datazione 1760-1800; e) L. Rumi (incisore Ambrogio Centenari), *Avanzi del Ponte di Cesare Augusto sulla Nera, presso Narni*, 1864; f) Jean-Baptiste-Camille Corot, *The Augustan Bridge at Narni*, datazione 1826-1827 (©Philippe Bousquet, <artifexinopere.com>).

4 archi con le imposte del secondo arco alla stessa altezza, così da avere un arco a tutto sesto similmente agli altri, contraddicendo le ipotesi costruttive che lo hanno preceduto nelle quali si è spesso accarezzata l'idea di un arco principale impostato su due diversi livelli di quota (Fig. 4). L'abbassamento di circa 2,9 m dei blocchi di imposta del secondo pilone, secondo Cecchi, sarebbe giustificato dall'insabbiamento della fondazione del pilone stesso avvenuto durante i duemila anni della sua storia.

Su queste premesse, e in considerazione anche del fatto che il rilievo di Cecchi poteva essere integrato da nuove acquisizioni re-

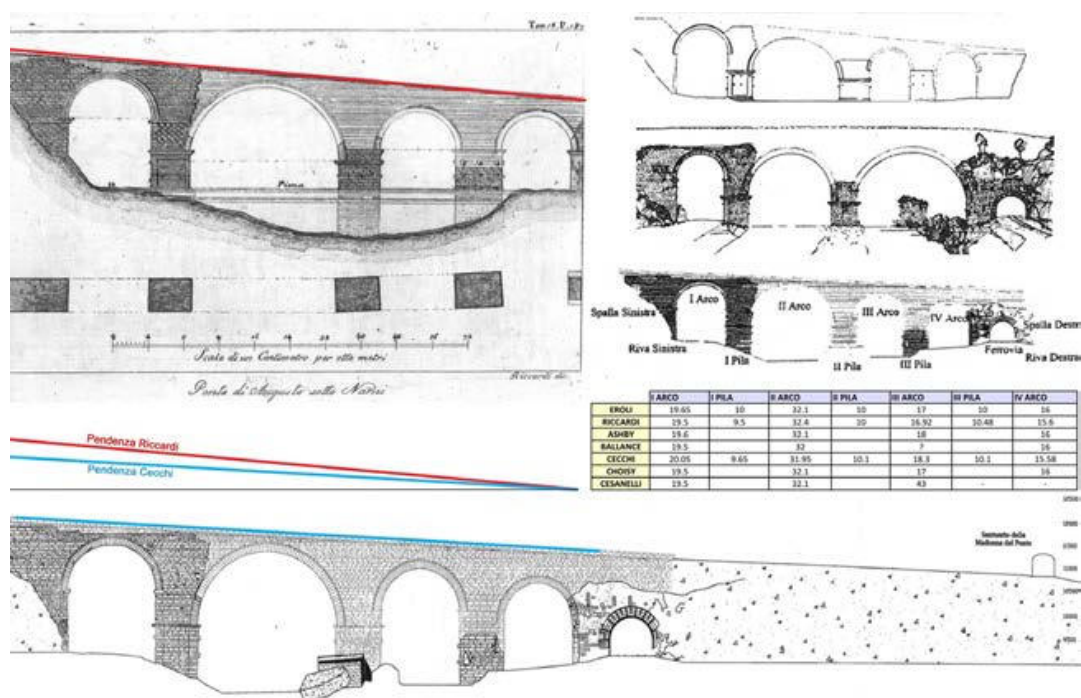


Fig. 4. Alcune ipotesi ricostruttive. Confronto tra la configurazione di Riccardi (1837), in alto a sinistra, e quella di Cecchi (2003), in basso. Sulla destra: ipotesi a quattro archi di Eroli, ricostruzione a tre archi di Cesanelli, ipotesi a 4 archi di Ashby, Fell, Ballance.

alizzate con scanner laser e fotogrammetria, il gruppo di ricerca ha ritenuto utile eseguire una nuova campagna di rilevamento digitale.

Il primo obiettivo da perseguire nella prima fase del rilievo è stato quello di acquisire un'unica *points cloud*, integrata da valori RGB fotografici e da punti di controllo topografici⁷, che comprendesse non solo i resti del ponte da una sponda all'altra del fiume (Fig. 5), ma anche tutta l'area del Santuario della Madonna del Ponte. Ciò ha consentito di elaborare un modello che fosse in grado di mettere in relazione diretta tutta la valle del fiume Nera con i resti del ponte e l'interno della grotta.

Le stazioni di ripresa, partendo proprio da quest'ultima, hanno interessato l'interno e l'esterno del santuario fino a raggiungere la sommità della spalla destra del ponte, da cui è stato possibile effettuare una ripresa dall'alto di tutta l'area, superare i binari della ferrovia, rilevare i resti sulla riva destra del fiume e acquisire infine la grande arcata ancora integra sulla riva sinistra. Come si è detto, il secondo pilone è crollato nel 1885 durante una piena, probabilmente a causa di una combinazione di eventi: la sua particolare posizione al centro del letto del fiume, la spinta improvvisa e poderosa di una piena, la totale assenza di frangiflutti. La struttura, che nel crollare si



Fig. 5. In alto: viste delle rovine del ponte dalle due sponde del Nera. In basso: registrazione delle macronuvole: la prima arcata da un lato del fiume, le restanti strutture dall'altro (elaborazione di Maria Laura Rossi).

è frazionata in tre blocchi, risulta anche traslata dalla sua posizione originaria sotto l'effetto della pressione dell'acqua. Il terzo pilone è ben conservato, stabile nella posizione originaria e conserva perfettamente i paramenti esterni anche se privo della cornice superiore. La seconda e la terza arcata, poggianti sui piloni sopra descritti, risultano crollate nel 1053, sempre a causa di una piena del Nera. Da allora, sul ponte “rotto” di Augusto venne costruito un impalcato in legno, come dimostrano i fori di alloggiamento, per assicurare il passaggio. Fu una soluzione temporanea tanto che si preferì deviare il passaggio su un nuovo ponte, costruito nel 1217 a poca distanza.

In totale sono state realizzate 31 scansioni con una risoluzione strumentale di circa 10.000 punti sul piano equatoriale. Per la collimazione delle diverse *points cloud* nella maggior parte dei casi si è proceduto con l'apposizione di sfere a riconoscimento automatico tra scansioni contigue. In alcuni casi si è proceduto manualmente tramite riconoscimento di target di coordinate note rilevate topograficamente.

Le prime fasi di elaborazione della *points cloud* hanno consentito di fare alcune prime considerazioni: è stato possibile dedurre che la grotta del santuario non ha nulla a che vedere con il ponte, né per posizione planimetrica né per elevazione, qualunque possa essere la pendenza dello stesso. Inoltre è possibile notare che i piloni sono tutti allineati, quindi non ha valore alcuno l'ipotesi di

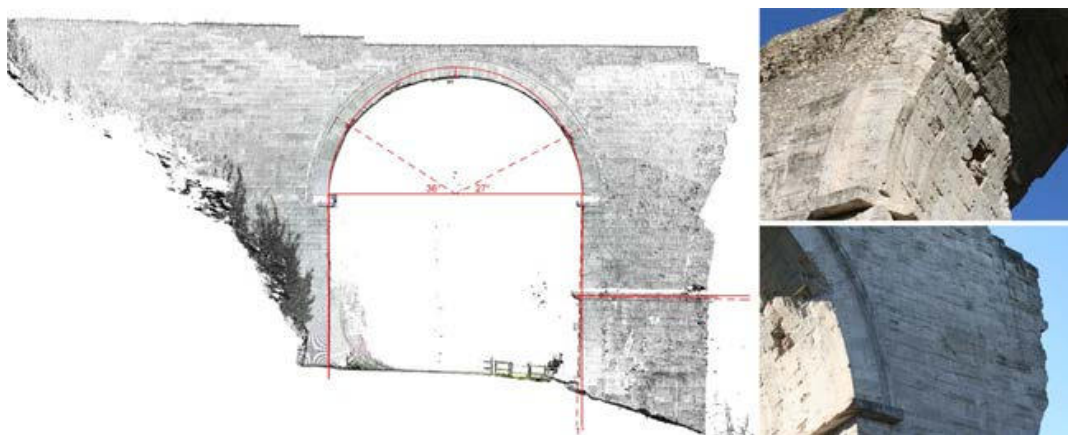


Fig. 6. Analisi delle fratture alle reni, 36° a sinistra e 27° a destra, della prima arcata, e conseguente rotazione di un grado sulla verticale in direzione dell'arcata mancante; a destra: particolari delle fratture alle reni (elaborazione di Maria Laura Rossi).

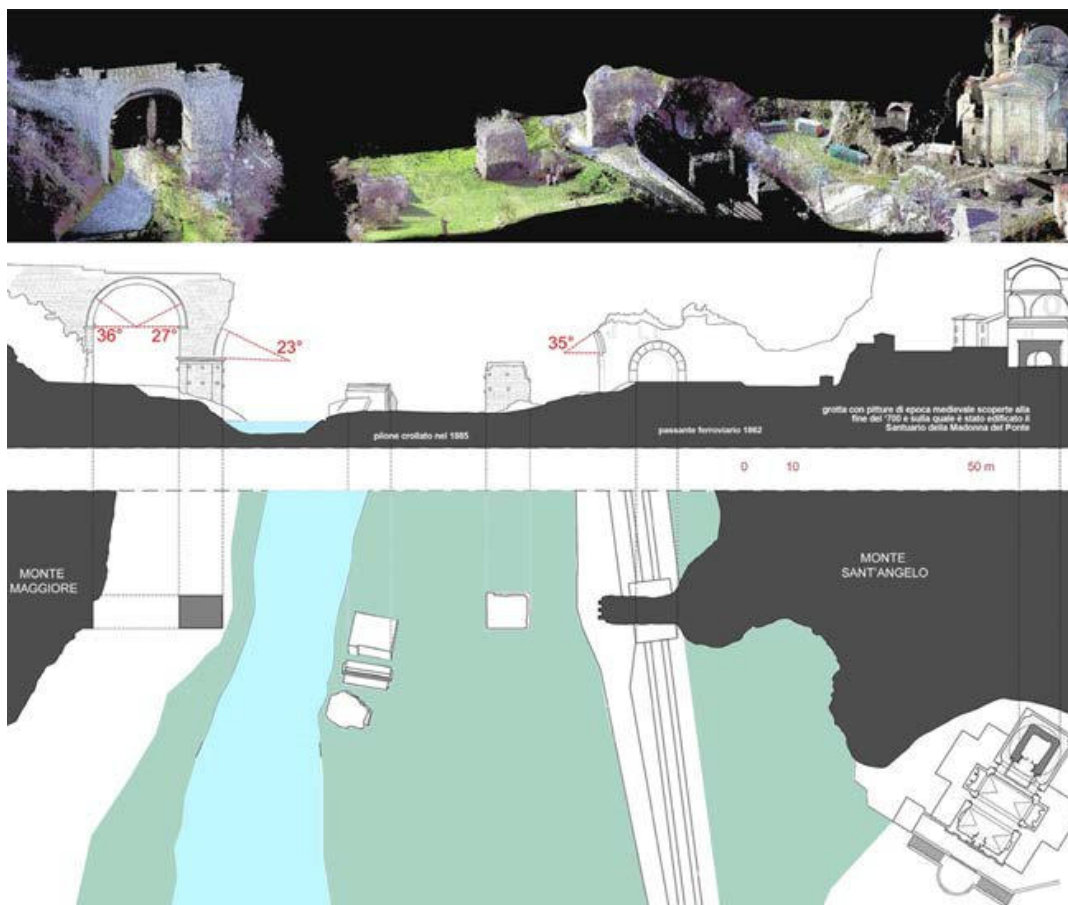


Fig. 7. In alto: point cloud. In basso: restituzione in pianta e prospetto del ponte e del Santuario della Madonna del Ponte (elaborazione di Maria Laura Rossi).

un cambio di giacitura in pianta che era stata paventata in alcune prime ricostruzioni. Il primo arco presenta delle fratture alle reni, similmente al comportamento di rottura che hanno subito gli altri due archi; tuttavia, se la seconda e la terza arcata sono crollate a causa dell'insufficiente resistenza del pilone alla pressione dell'ac-

qua, il primo pilone dovrebbe esserne stato escluso poiché si trova in una posizione rialzata rispetto al livello più alto mai registrato durante una piena. Oggi l'arco presenta un abbassamento in chiave e fratture in corrispondenza delle reni a 36° e 27° sul piano di imposta, rispettivamente lato spalla e lato pilone. Dai resti si ha nozione della curvatura della seconda arcata per circa 23° sul piano di imposta (Fig. 6). Tale piano non è più orizzontale poiché il pilone ha subito una rotazione di 1° sulla verticale. Di conseguenza è possibile affermare che l'arcata superstite presenta questo genere di fratture a causa dell'improvvisa assenza del secondo arco, il più grande nella configurazione originaria, che svolgeva un ruolo principale nel bilanciamento delle spinte. In seguito a tale crollo, il primo pilone si è inclinato in quella direzione a colmare la mancanza, estendendo e rendendo visibili gli effetti della conseguente rotazione sull'arco (Fig. 7).

La spalla destra, a nord, si presenta come la parte maggiormente degradata del ponte: mostra il nucleo, essendo quasi totalmente priva di rivestimento lapideo, rimosso in occasione del traforo ferroviario. La disposizione dei blocchi di paramento residuo appare simile a quella della parte inferiore della spalla sinistra. Tuttavia da un'analisi delle strutture rimaste risultano evidenti differenze costruttivo-tipologiche: dai resti dell'arcata che si interrompe in corrispondenza delle reni a 35° sul piano di imposta, si nota una diversa tecnica di posa in opera, probabilmente successiva alle altre, con l'alternanza di 5 anelli paralleli invece di un arco dall'intradosso costante⁸. L'arcata superstite poggia sulla spalla sinistra e sul terzo pilone. Quest'ultimo ha uno zoccolo in fondazione e non possiede rostri; presenta un paramento caratterizzato dalla regolarità della disposizione alternata per testa e per taglio dei filari, e da una accentuata smussatura della bugnatura, simile alla parte bassa della spalla; su due delle quattro facce sono presenti delle paraste negli spigoli.

3. I modelli del ponte per un'ipotesi ricostruttiva: dal modello discreto al modello parametrico

Come si è detto in precedenza, lo scopo principale del gruppo di ricerca è stato quello di verificare le diverse interpretazioni e versioni dello stesso oggetto, tramite gli attuali modelli 2D e 3D a servizio della conoscenza dell'architettura. Nel precedente paragrafo si è eviden-

ziato l'uso del modello numerico discontinuo in questo percorso di conoscenza e dalle analisi svolte è stato possibile costruire un modello matematico continuo, sintesi di interpretazioni a carattere prevalentemente geometrico. È questo dunque un modello di compromesso tra il dato numerico, una riproduzione fedele della realtà, e un modello geometrico ideale rappresentativo dell'idea progettuale.

Per risalire alla conformazione della seconda arcata, e di conseguenza dedurre l'esatto posizionamento del secondo pilone, si è proceduto con una lettura comparata tra i dati rilevati sulla prima arcata integra e le parti di arco ancora esistenti. Tenendo conto della non orizzontalità del piano di imposta, degli spancamenti dei paramenti e della curvatura dell'arco fino al punto di rottura in corrispondenza delle reni, sono stati calcolate lungo lo spessore del primo arco superstiti un cospicuo numero di circonferenze passanti per terne di punti desunte dalla *points cloud*. La geometria unica risultante è la circonferenza media tra tutte quelle calcolate sulla totalità dello spessore, per il quale si è proceduto con piani verticali distanziati di 10 cm. È questo dunque un dato fondamentale che non solo genera l'arco ma fornisce contemporaneamente una soluzione di posizionamento del pilone crollato: essendo quest'ultimo il più importante fattore di incertezza, le arcate successive vengono determinate di conseguenza generando la configurazione complessiva del ponte.

Prima del crollo delle arcate, il ponte aveva un ritmo compositivo a quattro archi, ognuno con similitudini e diversità, e l'ipotesi di ricostruzione che segue è supportata non solo da ipotesi geometriche, avendo analizzato giaciture e curvature dei resti delle arcate, ma anche dal fattore "misura" delle geometrie stesse. A differenza dei precedenti studi, anziché riproporre ipotesi di soluzione metrico decimale i cui valori, come abbiamo detto, derivano da una lettura dello stato attuale che ha subito alterazioni anche molto significative nel corso dei secoli, si è cercata una soluzione che fosse in qualche modo compatibile e che avesse un riscontro in termini di unità di misura del tempo, cioè il piede romano (29,65 cm). Viene applicata tale metodologia poiché in molte opere di architettura di rilevanti dimensioni, e a maggior ragione per opere infrastrutturali antiche, si è spesso riscontrata una forte corrispondenza con i valori interi dell'unità di misura. Si è anche determinata una misura della prima arcata perfettamente compatibile con la terza. Uno stesso valore del diametro delle arcate sarebbe pienamente giustificato in un'ottica di ottimizzazione del

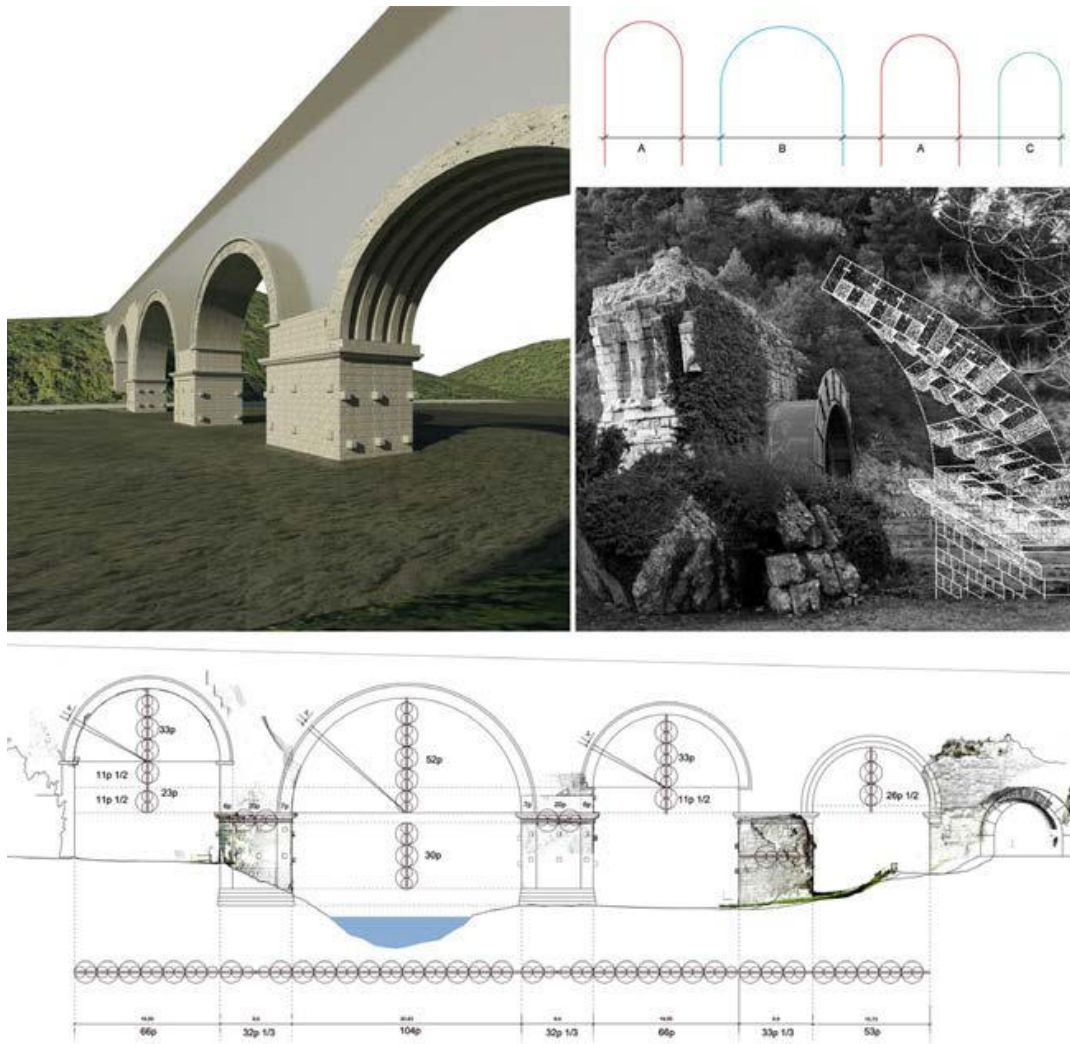


Fig. 8. In alto, a sinistra: vista del modello digitale di ricostruzione del ponte nella sua configurazione a 4 archi con la quarta arcata ad intradosso non costante; a destra: vista dell'arcata ad anelli alternati di rinforzo e ricostruzione di Galliazzo (GALLIAZZO 2004, fig. 13). In basso: ipotesi ricostruttiva sulla base della lettura proporzionale e metrologica (elaborazione di Maria Laura Rossi).

cantiere, potendo riutilizzare gran parte delle opere provvisorie di centinatura del primo arco. Si ipotizza pertanto che queste due arcate avessero un diametro di 66 piedi romani (pari a 19,57 m) e che l'arcata più grande avesse un diametro di 104 piedi (30,83 m) con una quarta arcata dal diametro di soli 53 piedi (15,71 m) (Fig. 8). Dette misure risultano perfettamente congruenti con quanto rilevato.

Lo studio delle pendenze del viadotto ha portato a una ipotesi intermedia tra quella calcolata dall'ing. Riccardi nel 1837, oggettivamente troppo ripida per il passaggio dei carri, e quella ridisegnata da Cecchi nel 2003, incompatibile sia nel raccordo verso Narni sia nel prolungamento verso la piana ternana con il posizionamento della grotta troppo in alto.

Una volta determinate forme, geometrie e misure di massima, si è cercato di approfondire anche gli aspetti di dettaglio a partire dall'apparecchiatura costruttiva. Come già detto, dalle prime indagini visive è parso subito evidente che tra i resti della prima campata e quelli della quarta vi sono delle differenze sostanziali: il primo arco a tutto sesto presenta un intradosso costante, così come, da quanto si evince dai resti e dall'apparato iconografico in nostro possesso, il secondo e il terzo. I resti della quarta arcata sono invece completamente differenti: è presente un intradosso non costante formato da 5 anelli di rinforzo, tecnica costruttiva che permette di avere la stessa valenza strutturale ma con un risparmio di materiale. Questa metodologia induce a ipotizzare che il quarto arco sia stato modificato rispetto al progetto originario o creato in un momento successivo rispetto agli altri.

Anche il terzo pilone risulta essere dissimile dagli altri, differente soprattutto se confrontato con il primo pilone che, a monte e a valle, presenta delle specchiature ed è più sottile, con una sezione che misura 9,90x7,50 m. Il terzo pilone è regolare, senza specchiature, e presenta una sezione di 9,90x8,00 m; anche questo fattore ci fa pensare a un rifacimento in un momento altro rispetto a quello della costruzione.

Singolarmente, il secondo pilone ha molti più fattori in comune con il terzo pilone che non con il primo pilone: non presenta specchiature, può essere considerato a sezione regolare di 9,90x7,50 m se non per alcuni ricorsi basamentali che gli consentono di raggiungere la sezione di 9,90x8,00 m. Questi dati sembrano supportare l'ipotesi secondo la quale il quarto arco sarebbe stato modificato nel tempo o effettivamente costruito dopo gli altri.

Pertanto si è portati a concludere che la conformazione originaria del ponte fosse a tre arcate, la prima e la terza delle medesime dimensioni e la seconda molto più grande.

Tale convincimento, estremo rispetto alle conclusioni degli studi che hanno preceduto questa ricerca, non può tuttavia basarsi solo sul confortevole ritmo compositivo A-B-A che governa le grandi masse, ma spinge a cercare ulteriori fondamenta e motivazioni che abbiano anche un riscontro funzionale nel contesto ambientale il cui il ponte è inserito. Il cedimento del secondo pilone, così come afferma Cecchi ma documentato già nel Rinascimento, unito al fatto che non è mai stata riscontrata la presenza di rostri, avvalora l'ipotesi per la quale il fiume Nera originariamente potesse avere una sezione

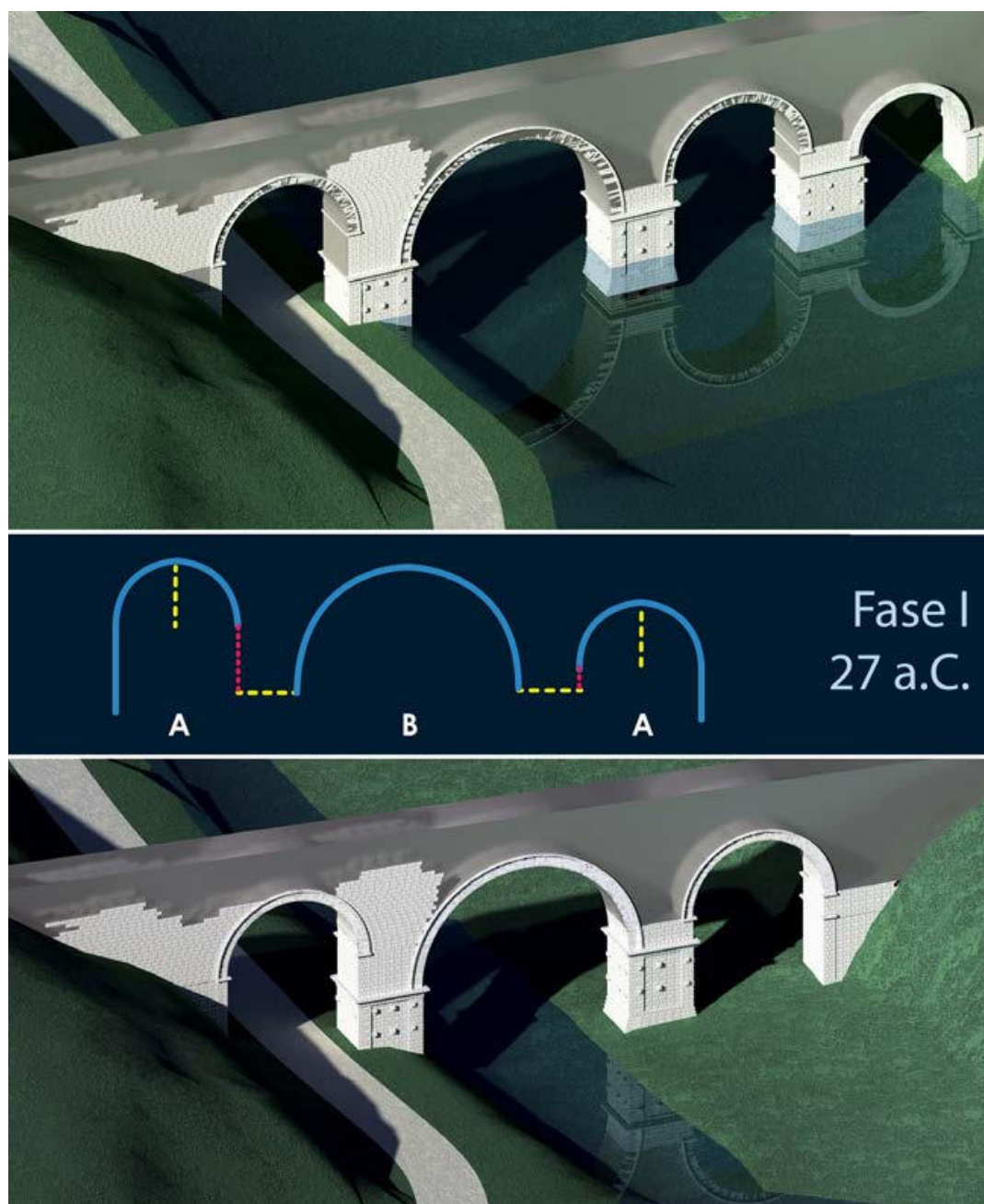


Fig. 9. Ipotesi ricostruttive: quattro arcate in presenza di un alveo del fiume più ampio, e tre arcate in presenza di una sezione più ristretta (elaborazione di Maria Laura Rossi).

fluviale molto più piccola e che interessasse solo la luce compresa tra il secondo e terzo pilone (Fig. 9).

Questo giustificherebbe l'uso di un'unica grande arcata centrale. A seguito di importanti modificazioni geologiche l'alveo del fiume potrebbe essersi allargato tanto che il secondo pilone avrebbe subito un importante abbassamento e un incessante logorio dovuto alle correnti, spesso impetuose, del fiume Nera. Nel momento in cui il nuovo alveo si fosse regolarizzato potrebbe essere sopraggiunta la possibilità di aprire una nuova arcata per garantire la continuità della

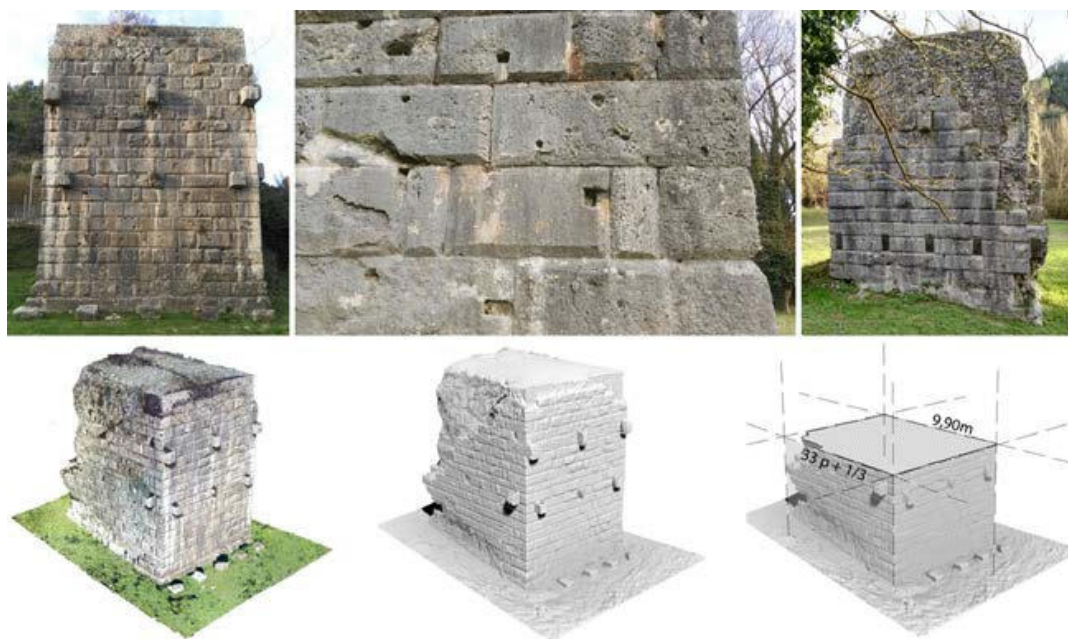


Fig. 10. Vedute del terzo pilone e dei blocchi in pietra nei quali risulta evidente la posizione incoerente dei solchi di sollevamento. In basso: gestione e analisi metrica del dato numerico di rilievo (foto di Maria Laura Rossi, elaborazioni di Wissam Wahbeh).

riva sinistra e anche per consentire un maggiore deflusso delle acque nei momenti di maggiore piena.

Tornando all'analisi di elementi attuali e concreti, grazie ai dati acquisiti con lo scanner laser è stato possibile rilevare le misure principali dei resti dei piloni ma anche i più piccoli particolari dell'apparecchiatura muraria. Lo studio dell'apparecchiatura costruttiva non si è fermato all'analisi dei paramenti ma, grazie soprattutto alla condizione del secondo pilone che si è frazionato in tre parti in seguito al crollo, è stato possibile non avere incertezze sulla struttura e sulla tecnica di fissaggio dei blocchi di pietra. Il ponte si presenta, dunque, come una robusta opera a sacco e paramento a vista in opera quadrata con conci e cunei bugnati di travertino locale; gli ammortamenti sono creati con graffe metalliche tra blocco e blocco, fino al nucleo interno cementizio formato da calce, sabbia, pietre e schegge di travertino. Esistono rigide regole nel taglio e nell'apparecchiatura dei conci: i filari sono alti ciascuno 2 piedi romani (59,3 cm) e sono disposti in maniera alternata di taglio, sempre di due moduli così da avere un blocco quadrato di 2x2 piedi romani, e di fascia, di dimensioni variabili ma sempre nell'unità di misura. È evidente che questa rigidità nell'apparecchiare i blocchi è rispettata prevalentemente nel primo pilone piuttosto che non nel terzo, di epoca successiva e eretto con blocchi di riuso (Fig. 10).

Per rappresentare al meglio il livello di conoscenza fin qui acquisito si è scelto di modellare la struttura del ponte per mezzo di un modellatore parametrico. Questa metodologia ha generato il modello in maniera molto simile alla vera e propria costruzione del ponte in cantiere, componendo blocco dopo blocco, filare dopo filare.

4. La modellazione parametrica e l'archeologia

Il processo di costruzione per via parametrica dei blocchi strutturali del Ponte di Augusto è stato impostato basandosi sulla trasformazione di elementi geometrici elementari, seguendo come unità di misura il piede romano e creando delle famiglie⁹ assoggettate alle rigide regole geometriche e di misura finora individuate.

L'analogia tra la costruzione del manufatto reale e quella del suo modello virtuale consente di trasporre le regole costruttive all'interno dell'ambiente digitale di modellazione. Il processo di costruzione dei blocchi viene ottimizzato attraverso la definizione di vincoli imposti e la possibilità di generare modifiche a cascata partendo da un'unica variazione parametrica¹⁰ (Fig. 11).

La struttura e l'applicazione di vincoli procede in maniera gerarchica, a partire dai rapporti riscontrati nelle grandi masse, per giungere a quelli che sussistono tra i vari blocchi. L'elemento preso a riferimento è il primo pilone, relativo a una prima fase di costruzione del ponte, il quale può quindi essere rappresentativo del progetto. Il principio costruttivo del pilone si evolve a partire da un volume monolitico su base regolare di 33 piedi +1/3 (9,90 m) per ogni lato, misurato immediatamente sotto l'imposta dell'arco e che ritroviamo in maniera costante nel terzo pilone. A questa misura fondamentale man mano si sottraggono dei volumi le cui dimensioni sono multipli di 1/3 di piede romano. Il piano della specchiatura si trova alla distanza di 1/3 dalla modanatura che segna il piano di imposta dell'arco, e il piano retrostante incorniciato a distanza di 2/3 dalla specchiatura stessa. Si arriva quindi a una misura minima di 32 piedi +1/3 pari a 9,60 m. Infine, ci sono dei filari basamentali che aggiungono ognuno 1/3 dello spessore del piede romano fino ad arrivare a terra. Questi dati dimostrano come i due piloni, pur partendo da una stessa dimensione, siano stati realizzati secondo principi differenti: nel primo c'è un'evoluzione dal punto di vista compositivo della forma che procede per sottrazione di volume, nel terzo la dimensione rimane costante per necessità funzionali e pratiche, essendo

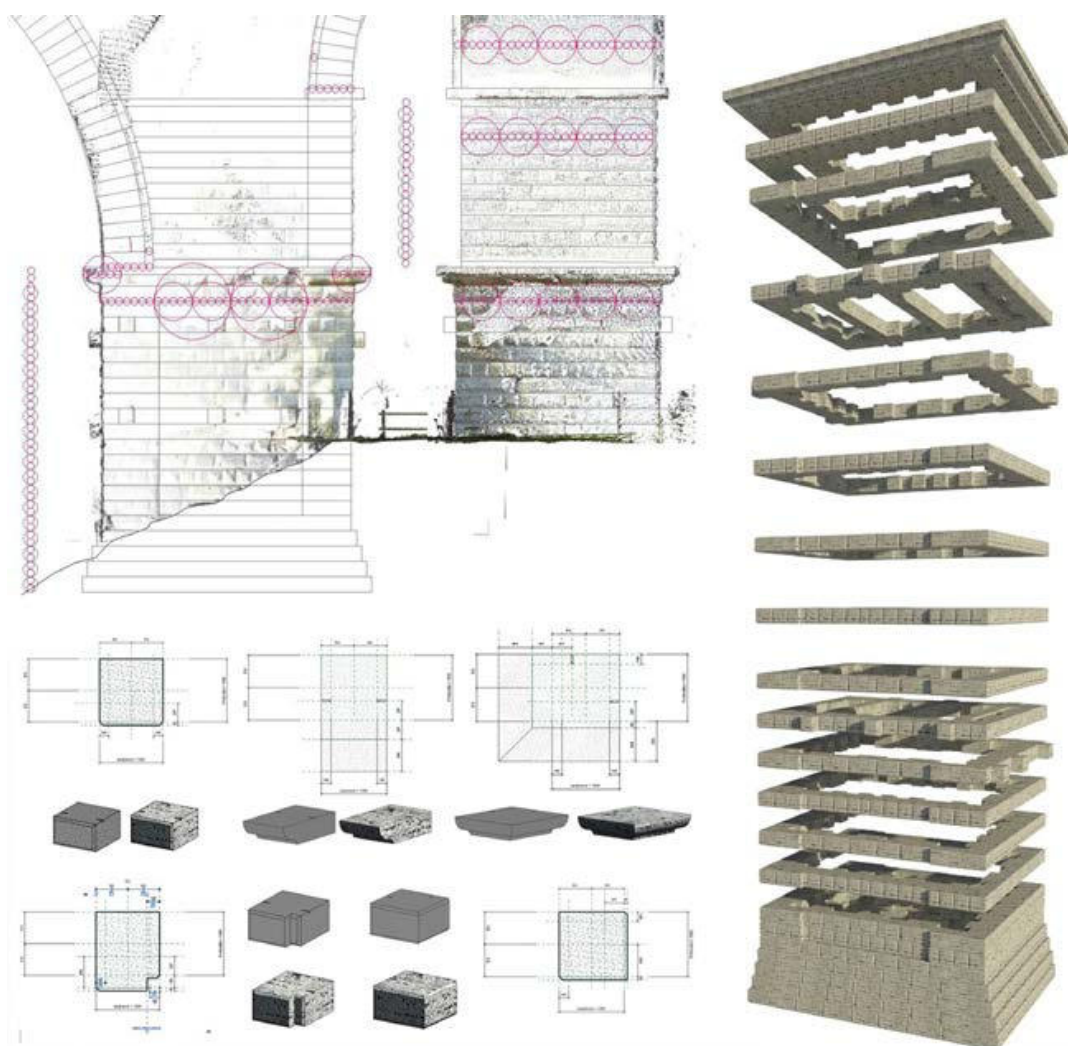


Fig. 11. In alto: proporzionamento del primo pilone tramite analisi metriche (piede romano) dei filari: vista del fronte ovest e sud (est e nord sono uguali rispettivamente). In basso: modellazione parametrica nel cantiere digitale: i conci sono blocchi elementari adattabili al sistema di regole dedotto dal rilievo. A destra: modellazione e sistema di sovrapposizione delle strutture del pilone (elaborazione di Maria Laura Rossi).

legato all'utilizzo di blocchi di riuso. Il secondo pilone presenta una zoccolatura che lo ha reso oggetto, nel corso degli anni, di numerose ipotesi interpretative. Il basamento infatti si trova a una distanza dall'imposta dell'arco che è molto più breve rispetto a quella che troviamo nel primo pilone, ed è per questo che tanti studiosi hanno negli anni ipotizzato un disallineamento delle imposte e un arco non a tutto sesto. Tuttavia l'apparecchiatura dei blocchi è simile a quella del terzo pilone che abbiamo assunto come postumo.

È noto, inoltre, che in seguito al crollo delle arcate nel 1053 è stata costruita una passerella di legno sul ponte in pietra per assicurare l'attraversamento; si è dunque ipotizzato che il secondo pilone, in seguito a un cedimento nel terreno, potesse essere stato riadat-

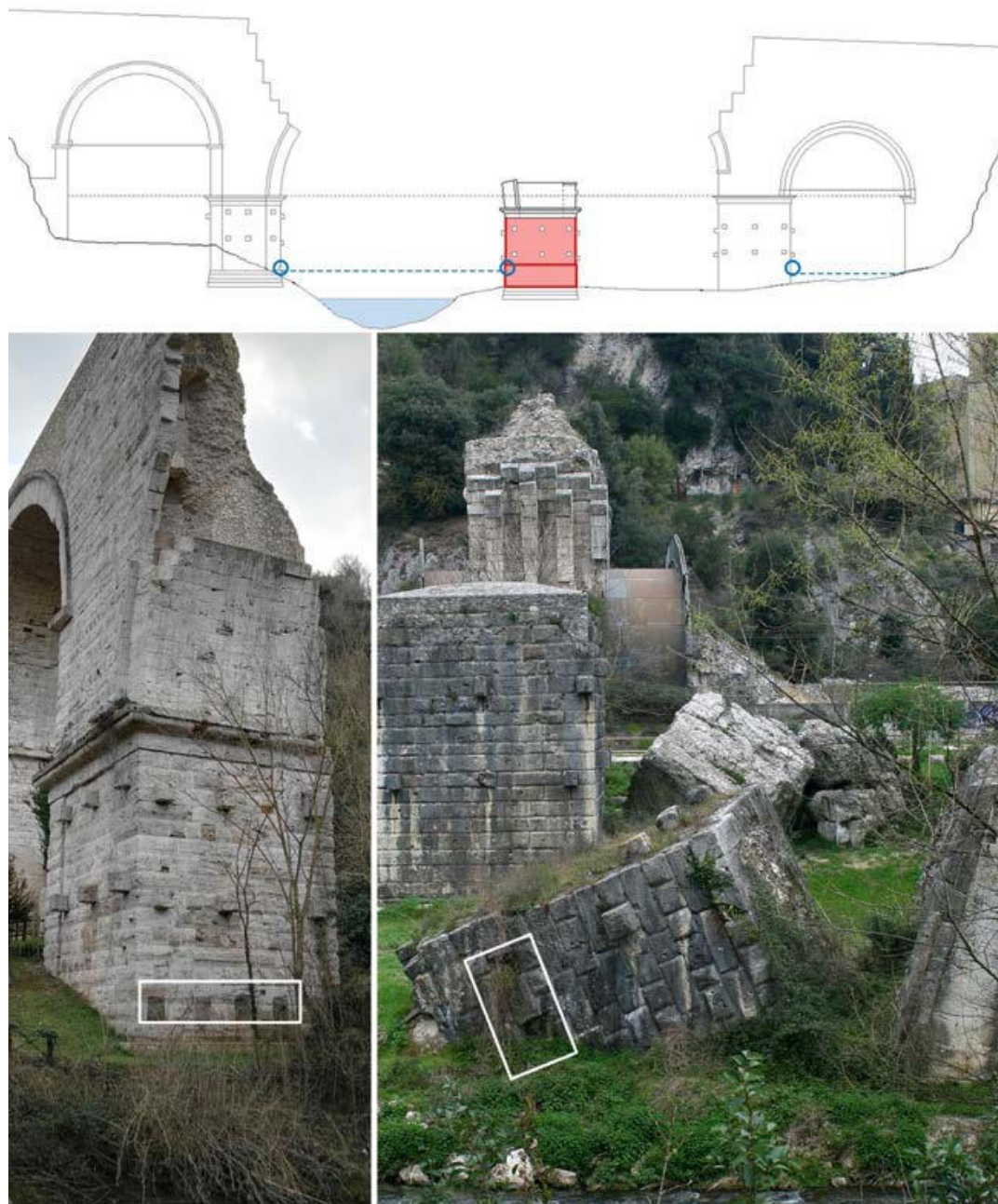


Fig. 12. L'allineamento dei fori di alloggiamento delle centine lignee evidenzia il corrispondente disallineamento delle due imposte del secondo arco. In alto: schematizzazione del posizionamento dei fori. In basso, viste del ponte; a sinistra: fori di alloggiamento sul lato destro del primo pilone; a destra: fori di alloggiamento sul lato sinistro del secondo pilone (elaborazione di Maria Laura Rossi).

tato per sorreggere le strutture temporanee di questo ponte ligneo. Nella zoccolatura sono infatti presenti dei fori di alloggiamento che malgrado risultino allineati a quelli esistenti nel primo pilone non parrebbero avere la stessa funzione: se fossero stati realizzati per sorreggere le centine di costruzione dell'arco indicherebbero la contemporaneità dei due piloni, in netta contrapposizione con le grandi differenze nell'apparecchiatura dei blocchi.

I fori di alloggiamento delle strutture lignee si trovano alla medesima quota su piloni diversi, in corrispondenza della seconda arcata (lato interno destro primo pilone - lato interno sinistro secondo pilone) e della quarta (lato interno destro terzo pilone - interno spalla Monte sant'Angelo); i fronti laterali dei piloni a sostegno della prima arcata e della terza non presentano fori. Questo utilizzo delle centine poggianti sulla struttura e non a terra avvalsa l'ipotesi del cambiamento dell'alveo del fiume nel tempo: i fori di alloggiamento sul primo pilone dovrebbero risalire alla prima fase costruttiva in cui il fiume presenta una sezione ridotta; i fori presenti sul secondo pilone sono successivi all'insabbiamento dello stesso in corrispondenza con quelli del primo pilone; infine, i fori della quarta arcata, evidentemente postuma alle altre, indicano che il livello del fiume fosse tale da non poter impostare il cantiere a terra (Fig. 12).

5. Risultati e conclusioni

In definitiva questo studio giunge a ipotizzare due conformazioni del Ponte di Augusto: la prima con sole tre arcate, dal ritmo A-B-A, e una seconda a quattro arcate, in cui la quarta presenta una luce C (diversa da A e da B) ed è esito di lavori postumi alla prima realizzazione.

In entrambe le ricostruzioni si dimostra che il primo e il terzo arco sono uguali per tecnica costruttiva e dimensioni, così da avere un vantaggio nel riutilizzo delle medesime centine in cantiere; la luce del secondo arco, il più grande e inizialmente il centrale, potrebbe trovare ragion d'essere nel dover superare un fiume con un letto di dimensioni inferiori a quelle patite dalle strutture in fase di piena. Inoltre, la distanza tra il piano di imposta degli archi minori e la propria chiave corrisponde alla larghezza dei piloni, $33+1/3$ piedi romani (9,90 m).

La rielaborazione degli elementi architettonici attraverso il modello parametrico consente di indagare alcune tipologie di architetture storiche per le quali risulta particolarmente evidente il processo di standardizzazione del procedimento edilizio, anche nel caso in cui queste siano in stato di rudere. Si viene a costituire così un modello parametrico comparabile con il modello reale, nel rispetto delle caratteristiche di unicità di ogni monumento storico, e del quale ne manifesta non solo l'intenzione progettuale, ma mantiene memoria anche della storia evolutiva della forma.

Questo studio dimostra che i resti di un antico ponte sono spesso testimonianze strategiche di un ambiente che può evolvere molto nel tempo. In particolare, il ponte antico che collega due rive di un fiume, oggetto difficile da rilevare per la specificità dei fattori ambientali in cui è inserito, può essere testimone sia della propria storia evolutiva ma anche di quella del proprio contesto.

Il gruppo di ricerca si è interessato nello specifico degli antichi ponti romani per individuare un percorso metodologico che potesse restituire un'omogeneità di risultati e consentire una lettura comparata di questi, tenendo conto delle diversità storiche, architettoniche, geografiche, con il fine di procedere all'analisi, alla conservazione e alla promozione del patrimonio culturale, partendo dal progetto iniziale dell'opera, dall'organizzazione del lavoro in cantiere, fino a giungere al completamento dell'opera stessa.

¹ Questo lavoro è stato presentato in alcuni convegni tra i quali: “Il terzo centenario del Santuario della Madonna del Ponte: una giornata di studio” a Narni (17 aprile 2015), a cura del Centro Studi Storici di Narni, relativo a una prima fase di analisi alla quale hanno partecipato anche Wissam Wahbeh, post-doc FHNW University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, e Pamela Maiezza, student-phd Università degli Studi dell'Aquila, e durante la quale è stato condotto un rilievo digitale integrato del ponte e del Santuario e relativa restituzione. La seconda fase di analisi delle geometrie e delle proporzioni svolta sui modelli del ponte, bidimensionali e tridimensionali, finalizzate a definire un'ipotesi ricostruttiva, è stata presentata al convegno internazionale “APEGA2016: Dibujar, Construir, Sonar. Investigaciones en torno a la expresion grafica aplicada a la edification” presso l'Universitat Jaume I a Castellon de la Plana, Spagna (1-2-3 dicembre 2016). Un primo approccio alla modellazione parametrica come strumento di analisi per il patrimonio costruito storico è stato presentato ai convegni internazionali: “Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA2017): Digital Archaeologies, Material Worlds (past and present)”, presso la Georgia State University in Atlanta, GA, USA (14-15-16 marzo 2017); “XVII EGA2018 International Conference”, presso l'Universidad de Alicante, Spagna (30-31 maggio - 1 giugno 2018).

² Cfr. GALLIAZZO 1994, CECCHI 2003.

³ CECCHI 2003.

⁴ TATTOLI 2000.

⁵ TATTOLI 2000, tav. 15, p. 182.

⁶ CECCHI 2003.

⁷ PARIS 2015.

⁸ GALLIAZZO 1995, fig. 13, p. 15.

⁹ Gruppo di elementi caratterizzati da proprietà e rappresentazioni grafiche comuni.

¹⁰ TEDESCHI 2010.

Romani furono maestri nell'edificazione dei ponti in pietra a partire soprattutto dall'età augustea. Il nostro territorio è costellato da numerose presenze archeologiche riconducibili a ponti lapidei romani, alcuni dei quali ancora funzionanti, nonostante le modificazioni susseguites nei secoli; tra questi il ponte augusteo di Narni rappresenta ancora oggi una delle opere di ingegneria più imponenti. Numerosi esempi si trovano anche nelle Province dell'Impero, segni tangibili di un approccio culturale fondato anche sulla diffusione dell'arte e della tecnica delle costruzioni.

Il volume raccoglie gli esiti di una ricerca finalizzata alla definizione di un quadro metodologico per l'implementazione di una piattaforma informativa multidisciplinare e multiscalare condivisa. I cinque casi di studio – i ponti Emilio e Fabricio a Roma e di Augusto a Narni, i ponti romani di Rieti e di Alcántara (Spagna) – si basano su un'attività di rilievo digitale e di ricerca storico-documentale e soprattutto di analisi critica e di approfondimento tecnico-costruttivo sulle caratteristiche principali del progetto, della sua realizzazione e della sua trasformazione nel corso di ben due millenni di storia.

Il volume diventa così l'occasione per intraprendere un affascinante viaggio nel tempo, per immergersi con l'immaginazione nel pieno di un periodo, quello dell'Impero Romano, sempre affascinante, coinvolgente e a volte misterioso.

Carlo Inglese, architetto, PhD, professore associato della Sapienza Università di Roma. Si occupa delle discipline della rappresentazione e rilievo in ambito architettonico e archeologico, attraverso l'applicazione delle nuove tecnologie informatiche al rilievo integrato complesso. Ha realizzato numerose campagne di rilievo ed è autore di pubblicazioni inerenti il *Cultural Heritage*.

Leonardo Paris, architetto, PhD, professore associato della Sapienza Università di Roma. La sua attività di ricerca è incentrata sullo studio della forma e della geometria nell'architettura, nell'ingegneria e nel design. Si occupa da anni di rilievo digitale integrato e modellazione tridimensionale. Ha curato numerosi rilievi nell'ambito dei Beni Culturali.

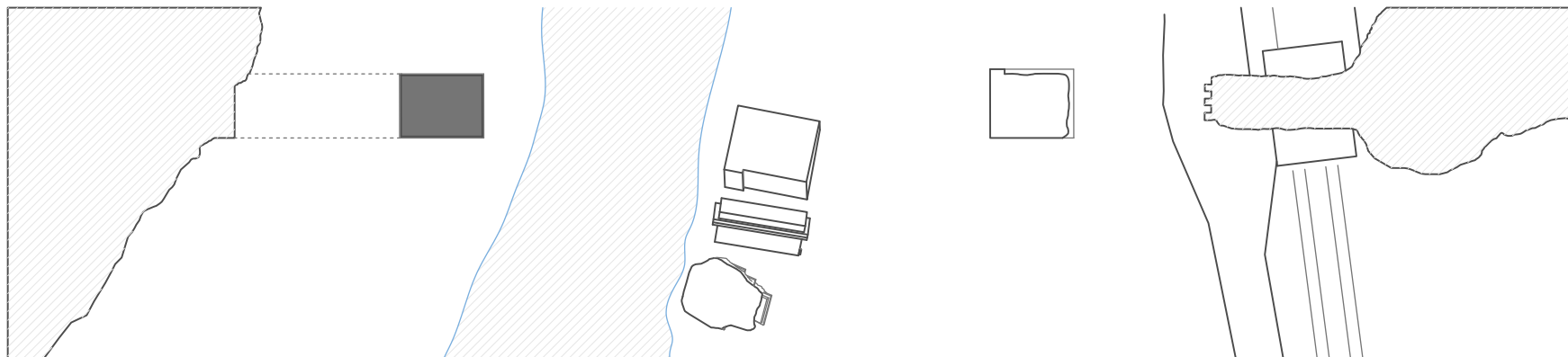
ISBN 978-88-9377-150-4



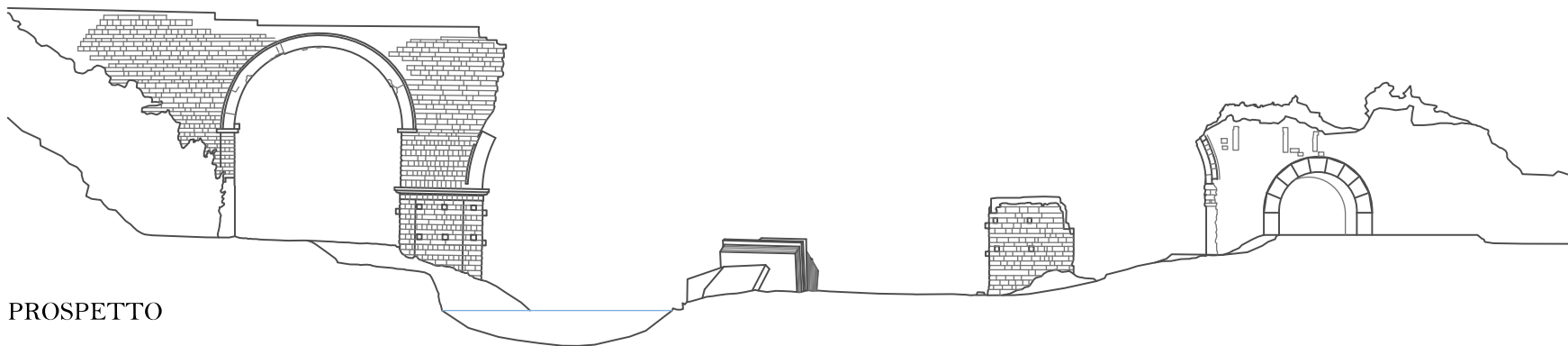
9 788893 771504



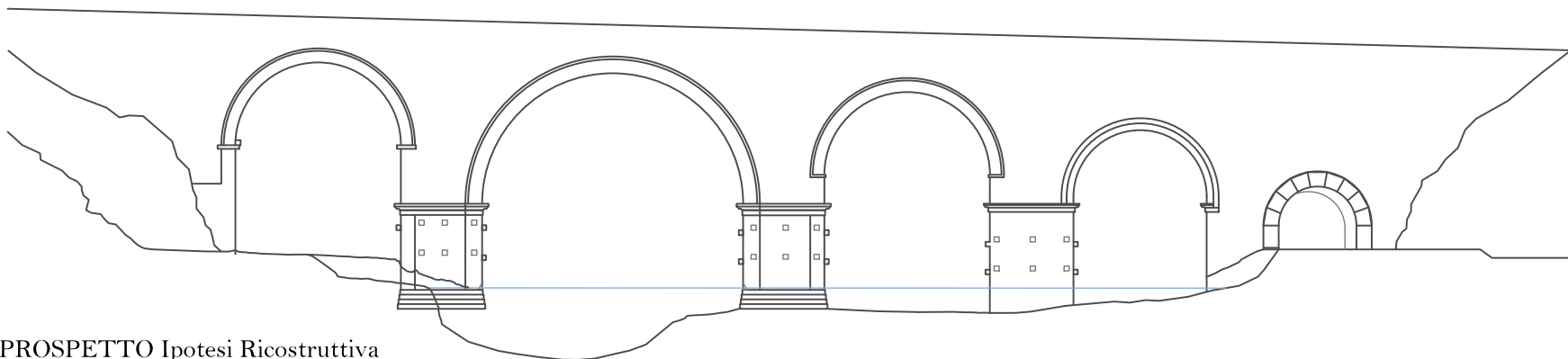
PONTE AUGUSTO A NARNI - ARCHITETTONICO / PIANTA - PROSPETTI



PIANTA

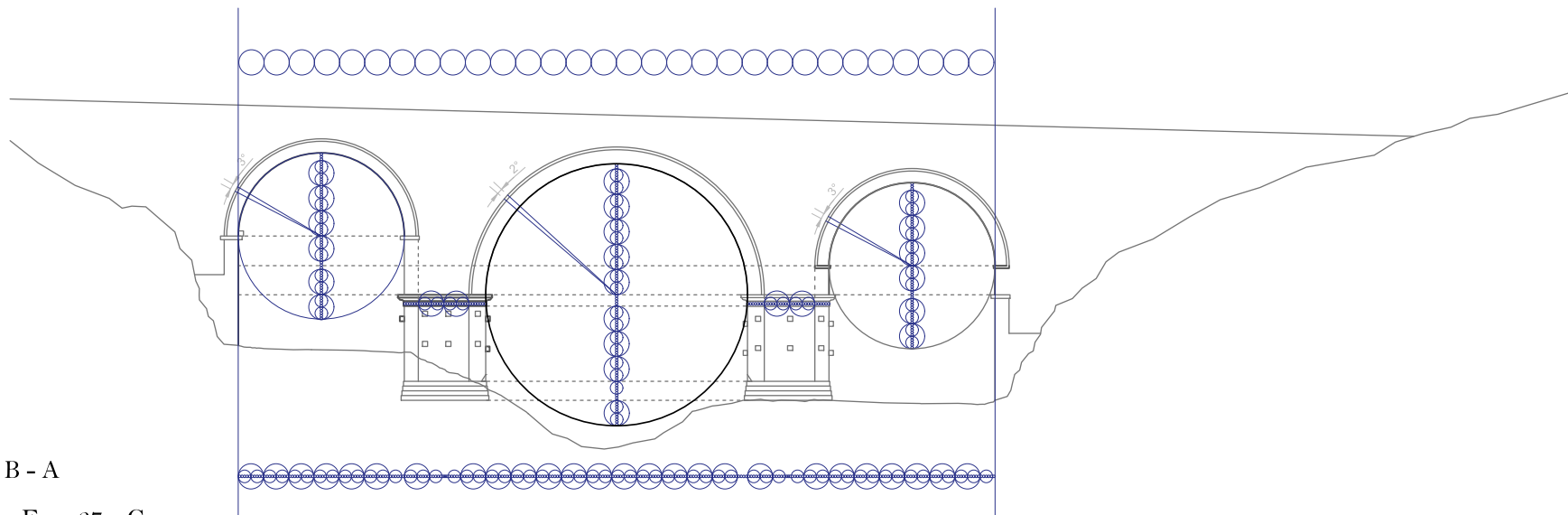


PROSPETTO



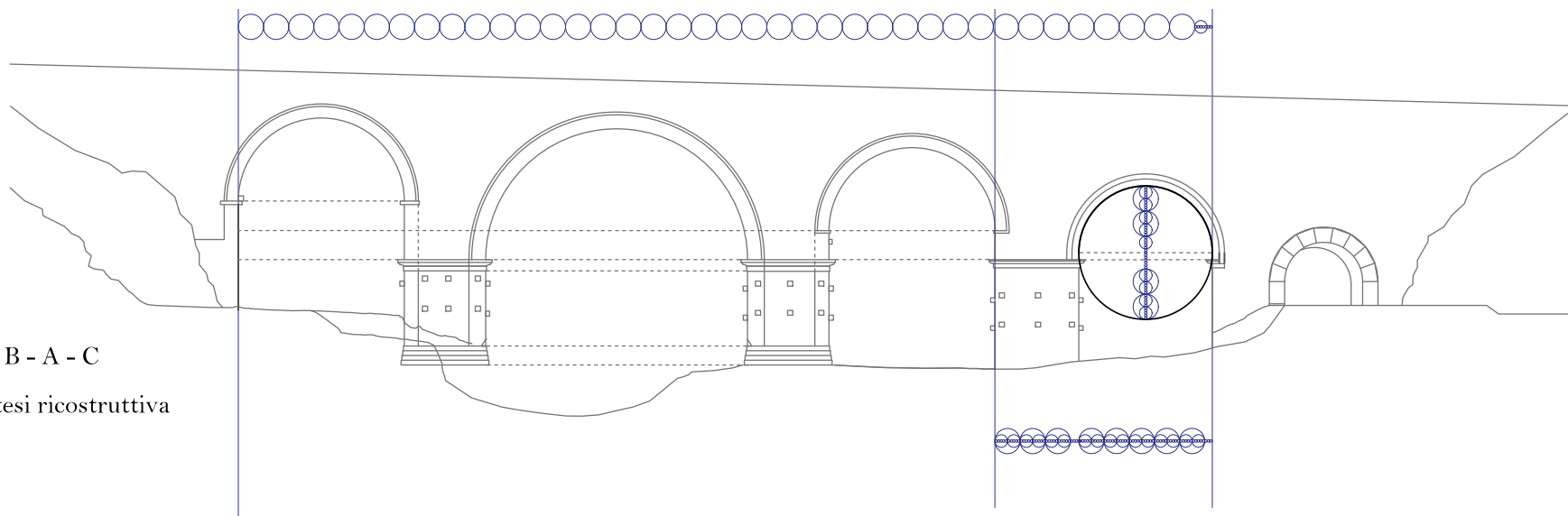
PROSPETTO Ipotesi Ricostruttiva

PONTE AUGUSTO A NARNI - GEOMETRICO PROPORZIONALE / PROSPETTI



A - B - A

Prima Fase 27 a.C.
Ipotesi ricostruttiva

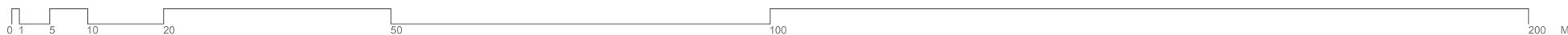


A - B - A - C

Ipotesi ricostruttiva

1 Piede Romano .

10 Piedi Romani 



Elaborato Grafico di Maria Laura Rossi