

Archeologia e Calcolatori
24, 2013, 75-99

DALLA CARTOGRAFIA ARCHEOLOGICA DIGITALE AL RESTAURO VIRTUALE: RECENTI CASI DI STUDIO A HIERAPOLIS DI FRIGIA

1. LA CARTOGRAFIA ARCHEOLOGICA DIGITALE DI HIERAPOLIS: METODOLOGIE INTERDISCIPLINARI PER L'ACQUISIZIONE E LA GESTIONE DEI DATI

Dal 2003 l'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (in particolare, il Laboratorio di Topografia Antica, Archeologia e Telerilevamento) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IBAM-CNR) conduce ricognizioni archeologiche nell'area urbana e nel territorio di Hierapolis di Frigia (Turchia sud-occidentale), nell'ambito delle attività di ricerca della Missione Archeologica Italiana¹. A eccezione delle campagne 2005-2007, durante le quali le indagini hanno riguardato esclusivamente il territorio antico della città (SCARDOZZI 2011), la maggior parte delle ricerche sono consistite in ricognizioni archeologiche sistematiche condotte nell'area urbana e nelle necropoli circostanti, volte, in integrazione con gli scavi stratigrafici effettuati in vari settori della città, alla creazione della carta archeologica digitale di Hierapolis, collegata a una piattaforma GIS, e allo studio del suo impianto urbano e delle sue trasformazioni dall'età ellenistica a quella bizantina (DI GIACOMO, SCARDOZZI 2012, 203-207).

All'avvio della ricerca, nel 2003, Hierapolis disponeva di una carta archeologica digitale dell'area urbana e delle necropoli, collegata a un database geospaziale, realizzata dai ricercatori della Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino (SPANÒ 2002); in essa, l'orografia e la topografia moderna derivavano da un aerofotogrammetrico turco, mentre i layer archeologici contenevano essenzialmente informazioni provenienti dalla prima carta di Hierapolis pubblicata da P. Verzone, fondatore della Missione Archeologica, 20 anni dopo l'avvio delle ricerche (VERZONE 1977), integrati dai dati rilevati durante ricognizioni non sistematiche condotte dagli architetti del Politecnico di Torino. Nello stesso 2003 veniva inoltre pubblicata la prima carta di Hierapolis, seppure limitata ai principali monumenti, con orientamento a N (D'ANDRIA 2003, 44), a differenza delle precedenti che erano orientate a NE.

¹ Un sentito ringraziamento va al prof. Francesco D'Andria, direttore della Missione Archeologica Italiana, per aver fortemente voluto l'avvio delle ricerche di topografia antica a Hierapolis, per avermene affidato il coordinamento e per averle costantemente sostenute e incoraggiate con interesse e nuovi stimoli, anche come direttore dell'IBAM-CNR fino al 2010. Alle ricerche hanno collaborato i dottori Pierpaolo Nardelli (2003), Paolo Ciuchini (2004), Laura Castrianni (2005-2008), Giacomo Di Giacomo (2006-2011), Imma Ditaranto (2008-2011), Veronica Randino (2010) e Ilaria Miccoli (2011), ai quali va il mio particolare ringraziamento.

Le ricerche dell'IBAM-CNR sono state pertanto avviate in un contesto in cui, accanto a una conoscenza piuttosto approfondita di alcuni complessi monumentali, erano praticamente ancora sconosciuti il tessuto connettivo tra gli stessi e il loro inserimento in un quadro più generale, costituito da un impianto urbano che si era trasformato dall'epoca ellenistica a quella bizantina e selgiuchide. Per questa ragione, le prime campagne di ricognizione archeologica (2003-2004) sono state finalizzate allo studio dell'urbanistica di Hierapolis e hanno avuto come principali risultati la ricostruzione del tessuto viario urbano, la contestualizzazione dei monumenti anche in chiave diacronica e l'individuazione di alcuni portici monumentali (come quello meridionale del Ginnasio e la cd. *Stoà* di Marmo lungo la *plateia*) e soprattutto la scoperta della strada processionale che raggiungeva il *Martyrion* di San Filippo (posto sulla collina situata subito a NE della città) e degli edifici annessi, come le proto-bizantine Terme Ottagonali (SCARDOZZI 2007; cfr. anche D'ANDRIA, CAGGIA 2007 e D'ANDRIA, CAGGIA, ISMAELLI 2012). Una prima fase dell'attività di ricerca si è conclusa nel 2008 con la pubblicazione dell'*Atlante di Hierapolis di Frigia*, realizzato in collaborazione con il Politecnico di Torino (D'ANDRIA, SCARDOZZI, SPANÒ 2008); l'*Atlante* costituisce un significativo aggiornamento della cartografia archeologica del 2002 sia nell'orografia e nella topografia moderna (grazie all'estrazione di dati da un'orto-immagine satellitare QuickBird-2 del 2005), sia nei layer archeologici, organizzati secondo le quattro principali fasi di trasformazione della città, per la prima volta visualizzate anche in carte diacroniche (età ellenistica-prima età imperiale; media e tarda età imperiale; età proto-bizantina; età medio-bizantina, selgiuchide e ottomana).

Dal 2008 l'IBAM-CNR ha avviato l'aggiornamento della carta archeologica digitale di Hierapolis (Fig. 1) e della collegata piattaforma GIS, mediante ricognizioni archeologiche sistematiche e supportate da metodologie e tecnologie multidisciplinari di ricerca (DI GIACOMO, SCARDOZZI 2012, 207-212; SCARDOZZI 2012a, con bibliografia precedente)². Tutte le strutture e i monumenti dell'area urbana e delle necropoli posti al di fuori delle aree di scavo sono stati sistematicamente indagati e rilevati mediante GPS differenziale di alta precisione; è stata così acquisita una ricca documentazione su monumenti in precedenza non studiati sistematicamente, come la cd. Fortezza Selgiuchide e il cd. *Bouleuterion*, o il Teatro Nord (SCARDOZZI 2012b) e la cinta muraria proto-bizantina, per la quale è stato realizzato anche uno specifico geodatabase degli elementi architettonici che vi sono stati reimpiegati (CASTRIANNI *et al.* 2010). Le ricognizioni sistematiche hanno poi permesso di

² Nella carta confluiscono inoltre gli aggiornamenti derivanti dalle planimetrie elaborate nelle varie aree di scavo nel corso delle successive campagne.

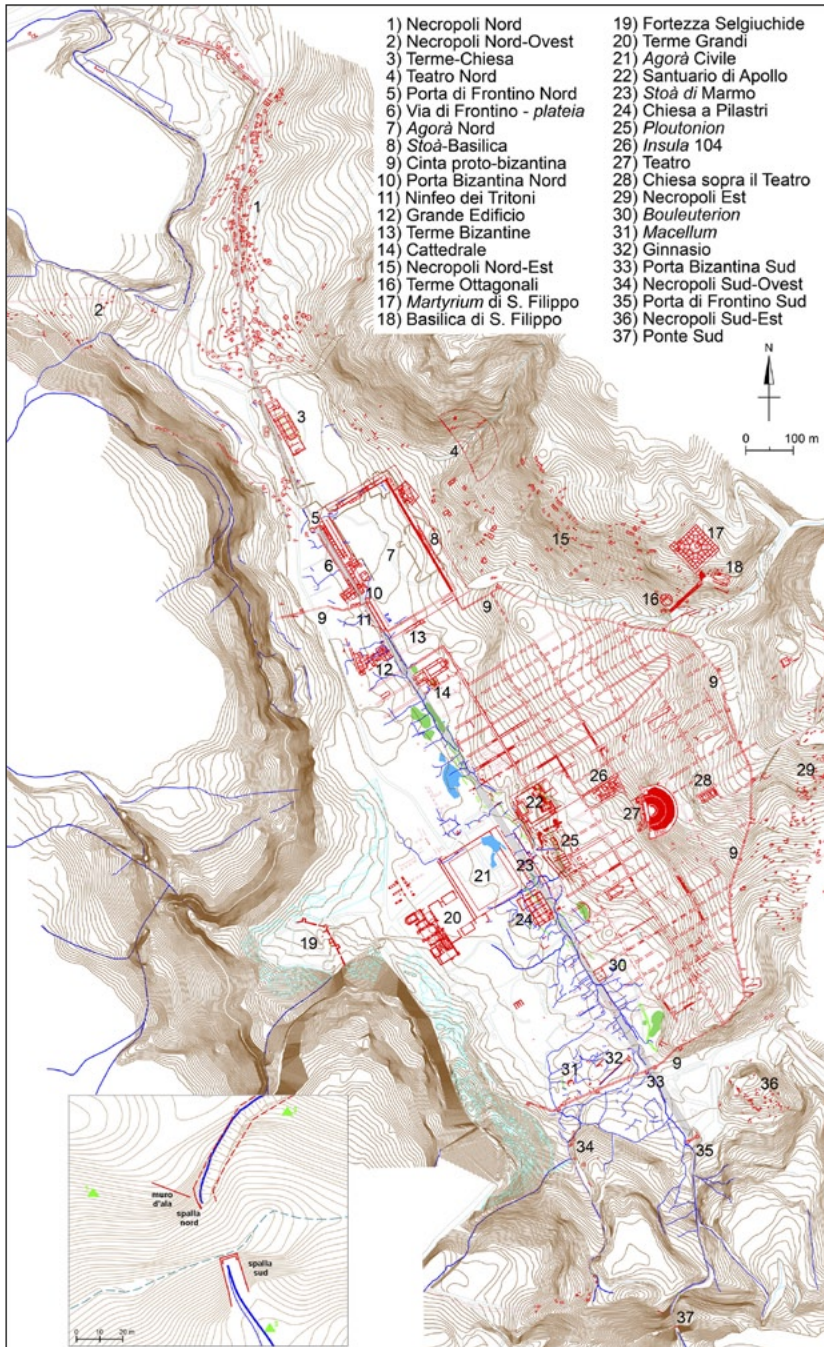


Fig. 1 – Carta archeologica di Hierapolis: in grigio è evidenziato l'importante asse viario che attraversava la città (*plateia*) e lungo il quale, a S dell'area urbana, fu costruito il cd. Ponte Sud, documentato in dettaglio nel riquadro, dove sono riportati anche i tre nuovi *survey points* utilizzati per il rilievo del monumento.

individuare, tra il 2008 e il 2009, alcuni complessi monumentali precedentemente non conosciuti, come il cd. *Macellum* e soprattutto il Santuario delle Sorgenti-*Ploutonion* e la Chiesa di San Filippo con la tomba dell'Apostolo, su cui si sono successivamente concentrate le indagini di scavo stratigrafico (D'ANDRIA 2012, 480-481 e 483-484). Le ricerche hanno anche riguardato le necropoli: in quella settentrionale, in particolare, sono stati documentati tutti i sarcofagi in marmo e travertino (circa 2000), in precedenza non rilevati, ed è in corso di implementazione uno specifico geodatabase delle numerose iscrizioni funerarie (circa 500) presenti in questo esteso contesto.

Le ricerche degli ultimi anni hanno preso in considerazione anche gli aspetti idrogeologici e sismici del sito di Hierapolis, permettendo di aggiungere ulteriori layer tematici alla carta archeologica. In particolare, sono state individuate e documentate le sorgenti termali presenti all'interno dell'area urbana, lungo la faglia sismica che attraversa in senso NO-SE tutta la città, ed è stata rilevata l'intera rete di "canali in calcare", realizzati con spallette in muratura e successivamente accresciutisi per il costante deposito calcareo delle acque (CAMPAGNA, SCARDOZZI c.s.); questa rete risale in parte all'epoca romana, quando le acque venivano convogliate per le terme e per l'irrigazione dei campi posti nella pianura sottostante il terrazzo di Hierapolis, e in parte all'età bizantina, quando invece, venuta meno dopo un forte terremoto della metà del VII sec. d.C. una sua gestione centralizzata, i canali furono condotti con tracciati irregolari su tutta la parte centro-occidentale dell'area urbana, tra i ruderi e le nuove abitazioni che vi si impiantarono.

Anche tutte le evidenze legate alla faglia sismica (per es. spaccature e fessurazioni nel terreno o nelle strutture, murature in crollo, etc.) sono state documentate e catalogate in uno specifico geodatabase, mentre è stato avviato uno studio di micro-zonazione sismica della città³. Questo aspetto del progetto di ricerca è strettamente integrato con il survey geologico di Hierapolis, che ha portato alla realizzazione di una carta geologica di dettaglio e alla ricostruzione delle caratteristiche geomorfologiche del sito e delle dinamiche di formazione del terrazzo di travertino su cui fu costruita la città⁴. La ricerca geo-archeologica ha così documentato alcune irregolarità dell'impianto urbano (in particolare, aree lasciate inedificate ed edifici ruotati di alcuni gradi rispetto al tessuto ortogonale) dovute alle caratteristiche geologiche e tettoniche del sito e, in integrazione con gli scavi stratigrafici, ha evidenziato il ruolo centrale svolto dalla faglia sismica nell'ubicazione delle principali aree di culto della città pagana (Santuario di Apollo e Santuario delle Sorgenti/*Ploutonion*) e nelle peculiari manifestazioni rituali che vi si svolgevano,

³ Alla ricerca sull'arqueo-sismologia di Hierapolis collabora il dott. Fabrizio Terenzio Gizzi dell'IBAM-CNR.

⁴ Il survey geologico del sito di Hierapolis è stato condotto dal dott. Stefano Marabini del Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra dell'Università della Calabria.

legate alle attività cleromantiche e al supposto accesso all'Ade (MARABINI, SCARDOZZI 2012).

Le sistematiche ricognizioni archeologiche e topografiche sono state supportate dall'utilizzo di fotografie aeree scattate a bassa quota da un pallone aerostatico frenato, mediante un sistema wireless, e da droni radiocomandati (un Hexacopter elettrico e un Cam-Copter con motore a scoppio), e dall'analisi di varie immagini satellitari ad alta risoluzione acquisite dai recenti satelliti per uso civile (QuickBird-2 del 2002, 2005, 2006, 2007 e 2009; Ikonos-2 del 2004 e 2010), che hanno supplito alla scarsa disponibilità di riprese aeree verticali; l'integrazione di immagini telerilevate da piattaforma aerea e satellitare è risultata particolarmente utile per la documentazione di monumenti e aree archeologiche, per la comprensione del loro contesto topografico e per l'individuazione di tracce e anomalie riferibili a resti antichi sepolti (SCARDOZZI 2010-2011).

Le recenti immagini satellitari, opportunamente ortorettificate, sono state anche utilizzate per la vettorializzazione di evidenze archeologiche (conservate e in traccia) e per l'aggiornamento della topografia moderna nella cartografia; inoltre, a partire da una stereocoppia Ikonos-2 del 2004 è stato estratto un DEM ad alta risoluzione del sito, utilizzato sia per visualizzazioni in 3D, sia per l'ortorettifica di altre immagini, sia ancora per l'estrazione di curve di livello con equidistanza a un metro impiegate per integrare quelle della cartografia archeologica nelle aree periferiche delle necropoli. Altri DEM a media risoluzione sono stati poi ottenuti dai dati della *Shuttle Radar Topography Mission* del 2000 e da una stereocoppia satellitare acquisita nel vicino infrarosso dal sensore ASTER del satellite Terra nel 2004. Molto importanti sono stati anche i dati acquisiti da una fotografia scattata nel 1968 da un satellite spia americano della serie Corona KH-4A, che ha permesso di documentare le trasformazioni subite dall'area archeologica negli ultimi 45 anni, soprattutto a seguito della realizzazione di numerose strutture turistiche; l'immagine ha pertanto costituito una documentazione che si potrebbe definire "storica", al pari delle carte di Hierapolis disegnate dagli studiosi europei che visitarono i resti della città nel corso dell'Ottocento (in particolare L. de Laborde, P. Trémaux e C. Humann).

Le ricognizioni archeologiche sono state poi supportate da prospezioni geofisiche condotte con differenti tecniche (magnetometria, georadar, tomografia elettrica) in varie aree della città al fine di documentare strutture antiche ricoperte da spessi depositi colluvio-alluvionali o da formazioni calcaree prodotte dallo sgorgare incontrollato delle acque termali lungo la faglia sismica⁵; le indagini hanno permesso di acquisire molti dati su zone che

⁵ Alle prospezioni geofisiche hanno collaborato, nel corso delle varie campagne, i dottori Stefan Giese, Christian Hübner e Birthe Hemeier della società GGH di Friburgo e i dottori Gianni Leucci, Nicola Masini e Raffaele Persico dell'IBAM-CNR (utilizzando strumentazione del Laboratorio di Geofisica per l'Archeologia).

presentano scarse strutture in superficie e i risultati sono stati costantemente georeferenziati nella carta archeologica (DI GIACOMO *et al.* 2012; SCARDOZZI, GIESE, HÜBNER 2013). In alcuni casi, inoltre, la documentazione raccolta con differenti metodologie e tecnologie e i vari DEM processati hanno costituito la base per ricostruzioni 3D e restauri virtuali di vari monumenti di Hierapolis (SCARDOZZI 2012c). Esemplicativi sono il cd. Ponte Sud (cfr. *infra* § 3) e il Teatro Nord, per il quale, in particolare, sono stati integrati i dati provenienti dall'analisi e dal rilievo GPS dei resti conservati della *cavea*, dalle prospezioni magnetometriche e georadar dell'area della scena, completamente sepolta da depositi colluviali, e dalle ricognizioni archeologiche lungo le mura proto-bizantine, dove sono stati riutilizzati moltissimi sedili in marmo dell'*ima cavea* e in travertino della *summa cavea* (LIMONCELLI, SCARDOZZI 2012 e c.s.); la ricostruzione ha infine interessato anche la morfologia del pendio cui il monumento fu addossato, per la quale i dati provenienti dal survey geologico hanno confermato quanto emerso dal confronto tra il restauro virtuale della *cavea* e il DEM della situazione attuale del sito, ovvero la frana di una cospicua porzione del settore meridionale del pendio stesso.

G.S.

2. IL PROGETTO “HIERAPOLIS VIRTUALE”: TRA ARCHEOLOGIA E RESTAURO VIRTUALE

Nell'ambito delle attività della Missione Archeologica Italiana a Hierapolis di Frigia è stato sviluppato un ambizioso progetto di restituzione dell'immagine della città ellenistico-romana e bizantina denominato “Hierapolis Virtuale”, finalizzato al restauro virtuale e alla ricostruzione tridimensionale dei complessi monumentali oggetto di indagine dai vari team di ricerca (LIMONCELLI 2012a, 253-260). Il progetto nasce nel 2007 e prende spunto da alcuni lavori eseguiti dal Laboratorio di Informatica Applicata ai Beni Archeologici e Monumentali dell'IBAM-CNR di Lecce negli anni precedenti, quali lo studio ricostruttivo del Ninfeo dei Tritoni, realizzato nel 2004 (ma rielaborato ed aggiornato nel 2010) e alcune scansioni laser di parte dei rilievi del Teatro conservati nel locale Museo Archeologico, effettuate nel 2005 (GABELLONE 2012). Il progetto, coordinato dal direttore della Missione Archeologica Italiana prof. F. D'Andria, fu dapprima realizzato presso l'IBAM-CNR (GABELLONE, SCARDOZZI 2010), mentre dal 2010 è condotto da chi scrive presso il Laboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia dell'Università del Salento e si avvale della collaborazione di archeologi, architetti e restauratori operanti nelle singole unità di ricerca della Missione, appartenenti allo stesso IBAM-CNR e a varie Università, sia italiane che straniere, che partecipano sul campo alle attività di scavo e restauro e che, con le loro ricerche, hanno contribuito alla realizzazione del progetto fornendo

tutti i dati scientifici necessari alla costruzione dei modelli e all'elaborazione delle ipotesi di restauro virtuale.

In un tempo complessivo di 12 mesi di lavoro, corrispondenti alle ultime sei campagne di scavo (2007-2012), sono stati eseguiti complessivamente 19 studi ricostruttivi di altrettanti edifici, mentre, attualmente, è in corso il restauro virtuale della Chiesa di San Filippo, sulla collina orientale; per le prossime campagne (2013-2014) sono invece in previsione le ricostruzioni del Santuario di Apollo e di quattro chiese proto-bizantine (Chiesa a Pilastri, Chiesa sopra il Teatro, Terme-Chiesa e Cattedrale). I lavori finora svolti hanno riguardato solamente gli edifici e i monumenti per i quali lo stato delle ricerche ha reso possibile un'ipotesi di ricostruzione affidabile. Al momento si possono ritenere definitivi gli studi ricostruttivi degli edifici di ordine dorico posti lungo la via di Frontino (Porta di Frontino, Latrina, Botteghe, *Stoà* di Marmo: LIMONCELLI 2009), il Teatro (SOBRÀ *et al.* 2011), l'*Agorà* Nord (GABELLONE *et al.* 2010), il Ninfeo dei Tritoni (CAMPAGNA, LIMONCELLI 2011), il Teatro Nord e le Mura proto-bizantine (LIMONCELLI, SCARDOZZI 2012 e c.s.), le Terme Ottagonali e il *Martyrion* di San Filippo sulla collina orientale e, infine, l'*Insula* 104 (Fig. 2), mentre per altri monumenti inseriti finora nel progetto, come per esempio il cd. Santuario delle Sorgenti, rimane aperta l'eventualità di ulteriori modifiche dei modelli in attesa dell'edizione finale dei dati.

L'obiettivo del progetto è lo studio e la comprensione delle trasformazioni di Hierapolis di Frigia attraverso l'analisi e la ricostruzione diacronica dei singoli monumenti presenti sia all'interno del perimetro urbano, oggi indicato dalla cinta muraria costruita dopo il terremoto della metà del IV sec. d.C., sia posti nelle immediate vicinanze della città. Lo studio ricostruttivo degli edifici segue un insieme di metodologie e tecniche inter/multidisciplinari. Da un lato vengono eseguiti modelli virtuali tematici, detti di "corrispondenza del dato" (LIMONCELLI 2012b, 190-196), secondo le diverse tecniche note dell'*Hand Made Modelling* (*Solid, Polygonal, NURBS, Subdivision Surface*), con i quali vengono restituiti volumi, spazi, percorsi, luci, ombre e colori, dall'altro sono simulati ampliamenti, riduzioni, rifacimenti, abbandoni, crolli e tutti i possibili interventi che i monumenti hanno subito nel corso delle differenti fasi cronologiche.

Ma al di là del semplice aspetto tecnologico, ormai noto e acquisito dall'Archeologia Virtuale, l'elemento più significativo è il modo in cui vengono reperiti, refertati, vagliati, utilizzati e rielaborati i dati provenienti dai differenti specialisti che operano sul campo, sia nel restauro (architetti e restauratori), sia nel rilievo e nei sistemi di prospezione di superficie (topografi antichisti e moderni, geologi, geofisici), sia nel più "tradizionale" scavo stratigrafico (archeologi), sia ancora nello studio dei manufatti artistici ed architettonici (storici dell'arte classica e bizantina). La realizzazione di mo-

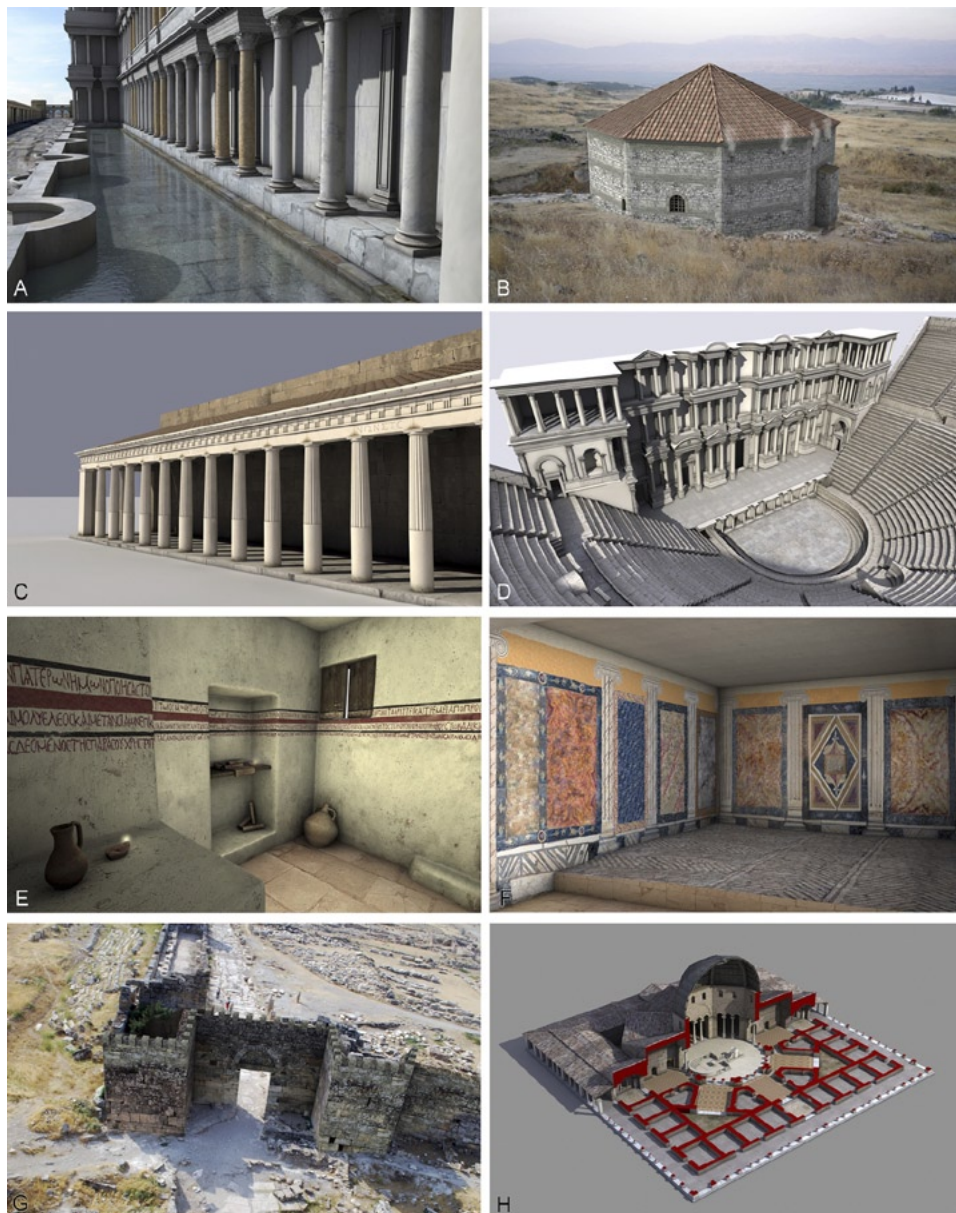


Fig. 2 – Alcuni dei monumenti ricostruiti nell’ambito del progetto “Hierapolis Virtuale”: A, Ninfeo dei Tritoni; B, Terme Ottagonali; C, *Stoà* di Marmo; D, Teatro; E, stanza della Preghiera di Manasse; F, mosaici e pitture dell’*Insula* 104; G, Porta Bizantina Nord; H, *Martyrium* di S. Filippo.

delli tridimensionali dei principali edifici è quindi dettata non solo da scopi divulgativi o comunicativi, ma soprattutto da finalità conoscitive. Infatti, non sempre è possibile, o vantaggioso, realizzare una ricostruzione di manufatti architettonici se non quando si possono ottenere significativi incrementi di conoscenza sull'oggetto indagato, il che dipende dalla quantità ma soprattutto dalla qualità dei dati disponibili, che devono essere riconosciuti, valutati e interpretati, mentre vanno evitati errori legati a questioni di metodo che potrebbero deviare dalle finalità dell'indagine.

Una delle caratteristiche che più colpisce dell'architettura antica è lo stretto rapporto che lega materiali-strutture, strutture-funzione, funzione-forma, forma-stile e stile-materiale; a Hierapolis, così come per la maggior parte dei monumenti archeologici, gli edifici sono ridotti a livello di rudere e il Restauro Virtuale offre una nuova metodologia per la verifica e la sintesi dei dati, ma anche una concreta possibilità di comprensione, attraverso differenti metodi di visualizzazione, dell'architettura antica, dagli aspetti compositivi a quelli strutturali, da quelli volumetrico-spaziali a quelli estetici e decorativi, fino alla restituzione del contesto urbano ed extraurbano nel quale essi erano costruiti, altrimenti non più facilmente percepibili.

Dal punto di vista metodologico si parte dalla documentazione dello stato attuale dell'edificio e dal reperimento di tutte le informazioni ancora riscontrabili da un'analisi diretta del manufatto architettonico, che vanno dai dati emersi durante lo scavo archeologico, all'analisi dei singoli elementi strutturali e architettonici, fino al rilievo diretto o indiretto dell'edificio secondo le diverse metodologie, dalle tecniche di fotogrammetria digitale e fotomodellazione fino alle scansioni laser. A seconda dello stato di conservazione, della posizione, della dimensione e della forma degli edifici studiati, sono state applicate specifiche tecniche di rilievo, alle quali vengono affiancate informazioni provenienti anche da altre metodologie di ricerca, dalla prospezione archeologica e geofisica, al telerilevamento da piattaforma aerea e satellitare. Per la restituzione degli apparati decorativi, particolare attenzione è data al rilievo fotografico mirato al campionamento di tutti i materiali e di tutte le opere di finitura e di decorazione impiegati nelle costruzioni. Mediante il restauro virtuale di affreschi, intonaci, mosaici, stucchi e degli arredi architettonici è possibile comprendere il rapporto volumi-spazi-percorsi-luci-ombre-colori pensati nei progetti originari.

L'analisi delle tecniche murarie e delle soluzioni costruttive adottate nel corso del tempo può suggerire le variazioni della sapienza tecnologico-costruttiva e contestualmente permettere di realizzare un catalogo delle murature. Tale ricerca, in corso di realizzazione, pone le basi necessarie per l'edizione di un catalogo crono-tipologico delle tecniche murarie finalizzato alla realizzazione di un atlante che comprenderà strutture murarie relative a tutte le altre architetture pubbliche e potrà fornire uno strumento nuovo per

la città di Hierapolis, utile per una lettura cronologica assoluta degli edifici e per un'analisi più approfondita delle trasformazioni urbane nel periodo compreso tra I e VII sec. d.C. Inoltre, mediante la realizzazione di specifici modelli virtuali concernenti le singole fasi costruttive e di vita dei monumenti, è stato possibile ricostruire il rapporto programma-ideazione/progetto-materiali/costruzione-vita/abbandono (ed eventualmente riuso). Tali modelli consentono di comprendere la modifica dello spazio urbano tra la prima età imperiale fino a quella proto-bizantina, soprattutto in quei punti in cui le nuove architetture si inseriscono o si riplasmano sulle precedenti, analizzando il rapporto tra la progettazione dei monumenti proto-bizantini e le preesistenti strutture tardo-imperiali (per quanto riguarda posizione, orientamento, dimensione e rapporto con gli edifici sottostanti e circostanti), con conseguenti ricadute sulla comprensione dell'assetto urbanistico della città.

M.L.

2.1 *Il caso di studio del Ponte Sud: dal rilievo alla ricostruzione del monumento*

Il cd. Ponte Sud di Hierapolis si trova circa 200 m a S del limite meridionale dell'area urbana (SCARDOZZI 2012c, 757-758, con bibliografia precedente) e i suoi resti si conservano all'interno di una profonda valle scavata da un corso d'acqua in secca nella stagione estiva, il Kadı Dere (Fig. 1). Fu costruito lungo il tracciato che prolungava in area extraurbana il principale asse stradale della città, l'ampia *plateia* su cui è impostato l'impianto urbano, che proseguiva verso Laodicea e Colosse; il tracciato rientrava nell'ambito della strada che collegava Hierapolis a Pergamo, da un lato, e alle città della Pisidia, dall'altro, riportata anche dall'*Itinerarium Antonini* (CUNTZ 1990², ll. 333,9-337,2) e dalla *Tabula Peutingeriana* (IX,3-X,1). All'estremità meridionale della *plateia*, il limite dell'area urbana era segnato da una porta monumentale a tre forniche, fiancheggiata da due torri quadrate, fatta realizzare dal proconsole d'Asia Sesto Giulio Frontino (84-85 d.C.) nell'ambito dei lavori di restauro della città successivi al terremoto del 60 d.C. (D'ANDRIA, SCARDOZZI, SPANÒ 2008, 143); i resti della porta sono ancora in parte interrati e inglobati nelle formazioni calcaree, presso il ciglio meridionale del terrazzo di travertino su cui sorge la città, da dove il terreno scende progressivamente e ripidamente verso S.

Il tracciato che usciva dalla porta correva su una linea di crinale ed era fiancheggiato a O da un canale, che nel corso dei secoli, anche dopo l'abbandono della strada, si è accresciuto notevolmente a causa dei depositi di carbonato di calcio dovuti al continuo fluire di acqua fortemente calcarea, invadendo e coprendo l'asse viario con grandi concrezioni; questa spettacolare formazione, che raggiunge oggi un'altezza di 8-10 m e che dalla

sede dell'originario canale si è allargata ricoprendo quasi tutto il tracciato antico, caratterizza il paesaggio a S della città con la sua forma a “esse” (Fig. 3, n. 1). Il canale che fiancheggiava la strada è identificabile con uno di quelli ricordati da Strabone (XIII, 4, 14) e Vitruvio (VIII, 3), costruiti per portare l'acqua, che sgorgava dalle sorgenti termali poste sul terrazzo della città, nei campi della valle del fiume *Lykos* situati al di sotto di esso (verso N, O e S).

Dopo un percorso di circa 320 m, in leggera ma costante discesa, la strada raggiungeva il ciglio settentrionale della stretta e profonda depressione in cui scorre il Kadı Dere. Il Ponte Sud, probabilmente già dalla prima età imperiale romana (cfr. *infra*), permetteva sia alla strada che al canale di superarla; si tratta pertanto di un ponte-acquedotto, di cui si conservano solo la spalla meridionale e scarsi resti di quella settentrionale (Fig. 3, nn. 3-4), mentre alcune porzioni delle arcate, recanti anche resti della pavimentazione stradale a grandi lastre di travertino (misure esemplificative: lung. cm 180-190, largh. 110-115, spess. 25-35), sono in crollo nel fondovalle (Fig. 4, nn. 1-3; Fig. 5, D). Il Ponte Sud, anche per le difficoltà tecniche legate alla sua analisi, condizionata dall'ubicazione in un contesto difficilmente raggiungibile, è rimasto privo di uno studio approfondito fino alla campagna del 2011, quando è stato oggetto di un'indagine sistematica volta a rilevarne e documentarne i resti e a proporre uno studio ricostruttivo. In particolare, con un sistema GPS differenziale è stata realizzata la pianta delle strutture ancora conservate, al fine di inserire il ponte nella carta archeologica digitale della città; si è poi proceduto alla documentazione dei prospetti della spalla meridionale con l'utilizzo di una stazione totale robotizzata e motorizzata, impiegata in modalità *reflectorless*, grazie al dispositivo laser integrato (cfr. *infra* § 3.2)⁶; la documentazione raccolta sul campo è stata poi elaborata al fine di giungere a una ricostruzione prima bidimensionale dei prospetti e poi tridimensionale dell'intero monumento, nella cui realizzazione si sono integrati differenti “saperi” e competenze.

La spalla meridionale del ponte poggia direttamente sul banco roccioso, regolarizzato, e ha un'altezza di circa 20 m (Fig. 5, A-B); è costituita da un nucleo in cementizio rivestito da grandi blocchi parallelepipedi di travertino (circa 50×60×120-200 cm) messi in opera con poca malta, nel prospetto settentrionale, e da blocchetti in calcare di dimensioni minori (circa 25×35×30 cm), legati da molta malta, sui lati O ed E. Il ponte presentava due arcate

⁶ Le dott.sse Imma Ditaranto e Ilaria Miccoli hanno collaborato alle operazioni di rilievo GPS e documentazione dei resti del ponte, mentre il dott. Giacomo Di Giacomo a quelle di rilievo con stazione totale dei prospetti della spalla meridionale e all'inserimento dei dati nella cartografia archeologica di Hierapolis; è stata utilizzata strumentazione del Laboratorio di Topografia Antica, Archeologia e Telerilevamento dell'IBAM-CNR.



Fig. 3 – I resti del Ponte Sud visti da SO (A) e da NO (B): 1, formazione di calcare; 2, muro d'ala; 3, spalla settentrionale; 4, spalla meridionale.

sovrapposte, che permettevano di superare il dirupo molto profondo, mantenendo in quota la strada e soprattutto il canale; si conservano solo alcuni conci delle imposte dei due archi, entrambi estradossati a corona semicircolare di cunei. Le arcate poggiano su mensole poste alla sommità di piedritti di diverse dimensioni: quello inferiore, con paramento a grandi blocchi, bugnati sui fianchi O ed E, è largo m 8,35 e alto circa 2,80, mentre quello superiore, caratterizzato anch'esso nella faccia settentrionale da un paramento a blocchi bugnati con superficie rustica, è largo m 6,70 e alto 3,60. Si tratta quindi di una struttura a due ordini sovrapposti, rientranti l'uno sull'altro dal basso verso l'alto, generalmente impiegata in presenza di valli molto profonde,



Fig. 4 – I resti del Ponte Sud visti da NE (A) e SE (B): 1-3, porzioni delle arcate e della spalla N crollati nell'alveo del corso d'acqua; 4, tratti del lastricato stradale a monte del ponte inglobati nel calcare; 5, muro di sostruzione della strada.

che, pur avendo come primaria funzione quella di viadotto, mostra soluzioni costruttive tipiche degli acquedotti.

La strada che passava sopra il ponte doveva avere una larghezza di circa 4 m ed era fiancheggiata a E da un parapetto, che, come in altri ponti, possiamo verosimilmente immaginare largo cm 40-50 e alto circa 90. A O del lastricato stradale si trovava invece il canale, che sul ponte sembrerebbe presentare una copertura a ogiva, oggi inglobata dalle concrezioni calcaree; è alto circa 3 m e largo 2,30 ed è realizzato in basso con lastre di travertino (lung. cm 1,85-1,90, alt. 1,10, spess. 40) e superiormente con blocchetti



Fig. 5 – I resti del Ponte Sud: la spalla meridionale vista da N (A), il prospetto orientale (B), le scarse strutture conservate della spalla settentrionale (C) e le lastre della pavimentazione stradale nell'alveo del corso d'acqua (D). Sono indicati i resti del canale (1) e del lastricato stradale (2) *in situ*, le porzioni dell'arcata superiore (3) e della spalla settentrionale (4) franati nel fondovalle, e il muro d'ala (5).

sempre di calcare (lo speco è largo 1 m e alto 2,50). Il canale è visibile soprattutto sulla spalla meridionale (Fig. 5, A1), dove si presenta in gran parte coperto da formazioni calcaree (che si sono progressivamente accresciute fino a un'altezza di 4,20 m, coprendo anche parte del lato orientale e quasi tutto quello occidentale della spalla del ponte), mentre un breve segmento si conserva anche tra gli scarsi resti della spalla settentrionale (Fig. 5, B1 e C1), insieme a lacerti del lastricato, anch'essi inglobati nel calcare (Fig. 4, B4). La struttura di questa spalla è quasi del tutto distrutta (Fig. 5, C) e a giudicare dagli strati sabbiosi e argillosi che affiorano su questo lato del fondovalle, è verosimile che il sottosuolo su cui poggiava fosse meno solido del versante opposto. Su questo lato della valle si conservano, in alto, anche un muro d'ala

a O della spalla (Fig. 3, n. 2; Fig. 5, C5) e tratti di muri di contenimento posti a E della strada che scende dall'area urbana di Hierapolis (Fig. 4, B5).

Il rilievo e l'analisi dei resti conservati hanno costituito la base per lo studio ricostruttivo del monumento; oltre al restauro virtuale, che consente di apprezzarne la volumetria e le caratteristiche costruttive, è stata anche realizzata la ricostruzione tridimensionale della valle oltrepassata dal ponte, basata su un DEM ad alta risoluzione ottenuto a partire da una stereocoppia acquisita dal satellite Ikonos-2 nel 2004⁷. Considerando la curvatura delle porzioni di arco conservate *in situ*, i grandi frammenti in crollo e la larghezza del fondovalle, è possibile ipotizzare che l'arcata inferiore fosse a tutto sesto e avesse un'ampiezza di circa m 8,70 (Fig. 6); su di essa, in corrispondenza della chiave, doveva poggiare un pilastro largo circa 1,90 m che separava due archi affiancati, sempre a tutto sesto, con luci di circa 4,90 m. Le due arcate sovrapposte davano saldezza e stabilità alla struttura e permettevano di superare la profonda valle, stretta in basso e più larga in alto, mantenendo in quota la strada e soprattutto l'acquedotto; l'arco inferiore consentiva di oltrepassare l'alveo del corso d'acqua (senza costruire un pilone al suo interno) e, allo stesso tempo, permetteva la costruzione dei due archi posti al di sopra di esso, necessari per superare una luce di quasi 11,5 m. Non sappiamo, inoltre, se anche le arcate superiori presentassero i paramenti completamente a blocchi, come sembrerebbe più verosimile considerando i confronti esistenti (cfr. *infra*), oppure se essi fossero realizzati con corona dell'arco a blocchi e muratura di rinfianco in blocchetti più piccoli.

La soluzione costruttiva adottata per il Ponte Sud di Hierapolis non è affatto canonica, poiché nei ponti con arcate a ordini sovrapposti, sia di viadotti che di acquedotti, i piedritti superiori erano generalmente realizzati in corrispondenza di quelli inferiori; essa si ritrova, comunque, nel famoso Pont du Gard, presso Nîmes, in Francia, datato agli ultimi due decenni del I sec. a.C., che nel terzo ordine presenta quattro arcate costruite in corrispondenza dell'arcata centrale del secondo, con piedritti realizzati in corrispondenza della chiave e delle reni dell'arco sottostante (GALLIAZZO 1995, II, 586-587). Il monumento di Hierapolis trova poi un confronto molto stretto nel ponte-acquedotto di C. *Sextilius Pollio* della vicina Efeso, costruito tra il 4 e il 14 d.C., che, sebbene più lungo, presenta simili dimensioni delle due arcate sovrapposte e identiche soluzioni costruttive (WIPLINGER 2006, 23-25): in particolare, arcate realizzate in blocchi parallelepipedi e spalle in blocchetti, e due arcate nel secondo ordine costruite in corrispondenza di una del primo, con piedritto dell'arco superiore poggiante sulla chiave di quello inferiore (Fig. 7). Il Ponte Sud di Hierapolis è ovviamente più largo rispetto

⁷ Il DEM è stato elaborato dal dott. Giacomo Di Giacomo (DI GIACOMO, LIMONCELLI, SCARDOZZI c.s.).

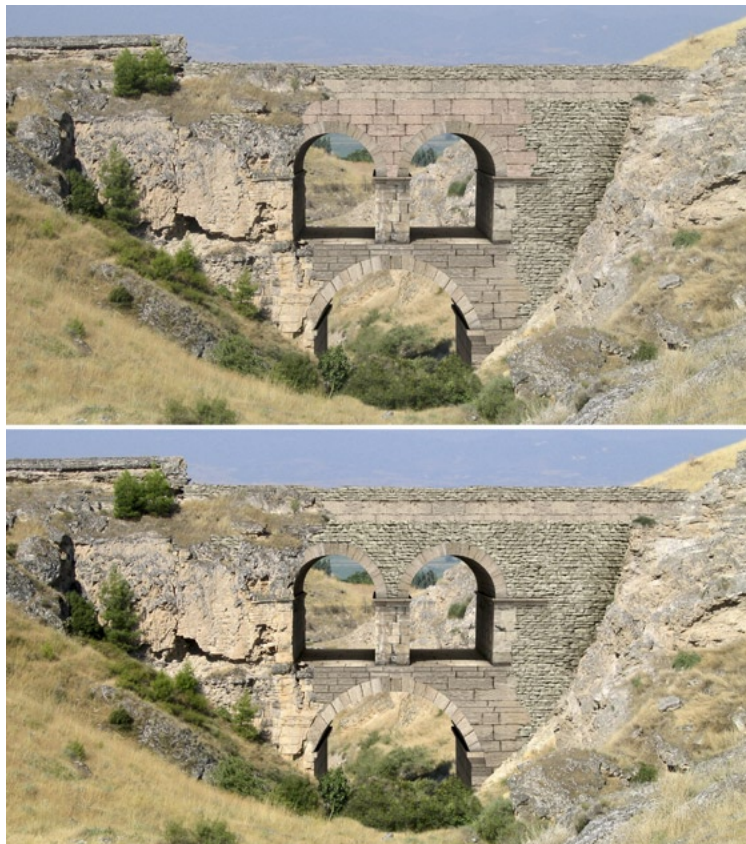


Fig. 6 – Ricostruzione 3D del Ponte Sud: vista da E, con le due differenti ipotesi per il paramento delle murature di rinfianco degli archi del secondo ordine.

al monumento di Efeso, per consentire il passaggio anche della strada, ma le somiglianze con la monumentale opera costruita a spese di *C. Sextilius Pollio*, della moglie *Auffilia Bassa* e del cognato *C. Auffilius Proculus*, sono davvero molte, tanto da permettere di ipotizzare che per superare la valle del Kadı Dere sia stato riproposto il medesimo progetto adottato nella capitale della Provincia d'Asia, adattato alle specifiche esigenze di realizzare una struttura che fosse al tempo stesso acquedotto e viadotto. La stessa soluzione costruttiva – con le arcate del secondo ordine più strette e impostate alternativamente sui piloni e sulle chiavi di quelle sottostanti – si ritrova inoltre successivamente nell'acquedotto di Mylasa, in Caria, nella stessa Provincia d'Asia, datato all'epoca proto-bizantina (TANRIÖVER, BAYKAN, BAYKAN 2006, Fig. 10).



Fig. 7 – Due vedute del ponte-acquedotto di C. *Sextilius Pollio*, a Efeso (da WIPLINGER 2006).

Lo studio di dettaglio del monumento di Hierapolis sembra dunque suggerirne una datazione alla prima età imperiale. Sebbene il tracciato lungo il quale fu costruito dovette esistere già in età ellenistica, epoca a cui risale l'impianto urbano della città, la completa ristrutturazione dell'asse viario si ebbe in epoca flavia, subito dopo il terremoto che colpì Hierapolis nel 60 d.C., quando venne realizzata anche la già ricordata porta monumentale posta appena 300 m più a NE del ponte, aperta lungo la stessa strada; forse proprio in questo momento venne realizzato anche il Ponte Sud e non si può non evidenziare come i lavori di restauro e ristrutturazione della città dopo il sisma neroniano siano stati condotti da quel Sesto Giulio Frontino, come già detto proconsole d'Asia nell'84-85 d.C., che nel 97 d.C. sarà nominato *curator aquarum* di Roma, ovvero responsabile degli acquedotti e dei servizi

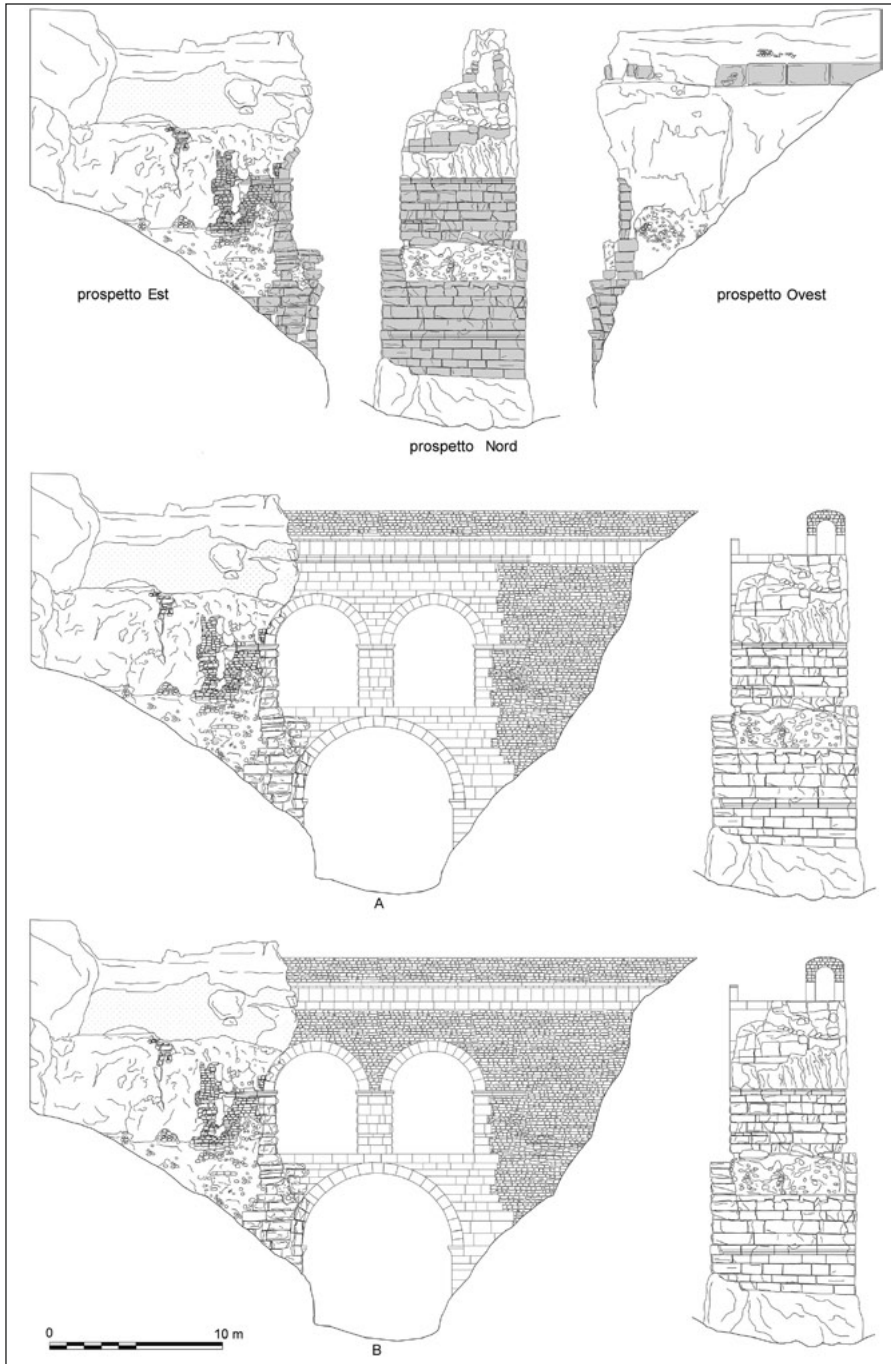


Fig. 8 – Rilievo della spalla meridionale (in alto) e ricostruzione del prospetto orientale del Ponte Sud (in basso), con le due ipotesi per il paramento delle murature di rinfianco degli archi del secondo ordine, a blocchi parallelepipedi (A) o a blocchetti più piccoli (B).



Fig. 9 – Vedute virtuali del Ponte Sud da E: ricostruzione della sola parte crollata (A) e anche di quella oggi coperta dalle concrezioni calcaree (B).

a essi collegati, e che sarà autore del *De aquis urbis Romae*, l'opera dedicata all'approvvigionamento idrico della capitale dell'Impero.

La stretta somiglianza con il ponte-acquedotto di *C. Sextilius Pollio* rende però comunque possibile anche una datazione leggermente più antica, di età giulio-claudia, quando si ha un'estesa monumentalizzazione della città, immaginando poi che la struttura possa non aver subito gravi danni a seguito del terremoto del 60 d.C. Il Ponte Sud è certamente rimasto in uso per molti secoli, almeno fino all'epoca proto-bizantina, quando nel punto in cui la *plateia* usciva dalle mura urbane venne eretta una nuova porta monumentale, più arretrata rispetto alla precedente (D'ANDRIA, SCARDOZZI,

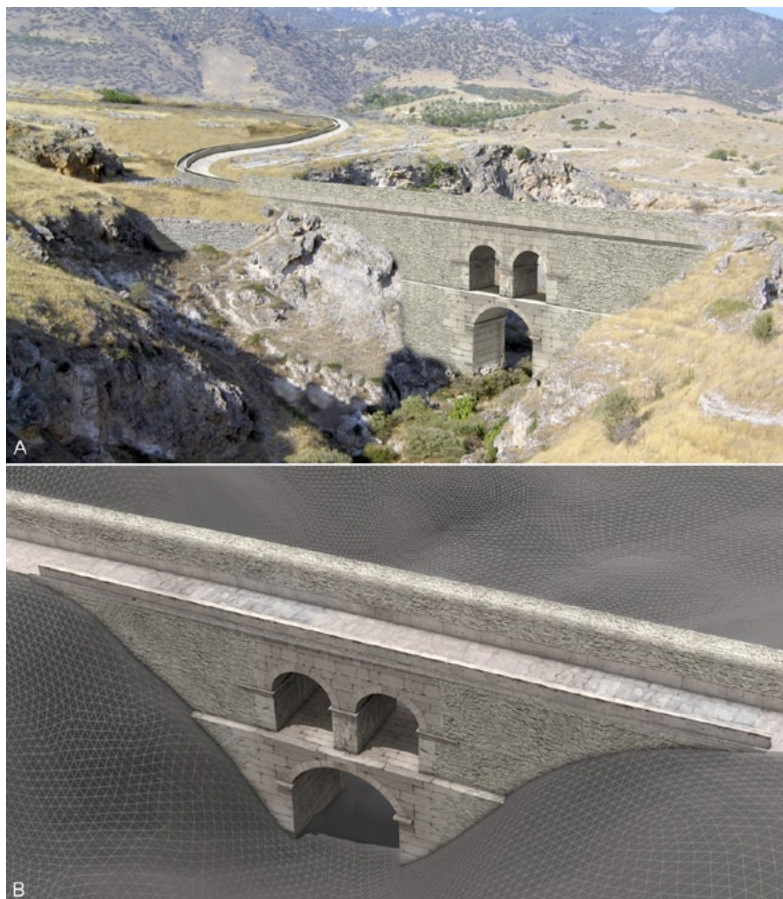


Fig. 10 – Vedute virtuali del Ponte Sud: da SO con ricostruzione anche della strada e del canale a N del ponte (A) e da NE con DEM privo di texture (B).

SPANÒ 2008, 139); probabilmente il monumento subì interventi di restauro (magari successivi al terremoto che colpì Hierapolis poco dopo la metà del IV sec. d.C.), come alcune risarciture in blocchetti che si riscontrano nei paramenti O ed E della spalla meridionale. Le incrostazioni di calcare evidenti lungo l'intradosso dell'arcata superiore di quest'ultima spalla documentano una fase di mancata regolamentazione dell'acqua che scorreva nel canale (forse danneggiato), che per un breve periodo sembra aver tracimato anche a S del ponte, dove venne convogliata in un canale più ridotto, prima che il monumento crollasse, forse a seguito del terremoto che colpì Hierapolis alla metà del VII sec. d.C., segnandone il definitivo declino; i continui apporti di

acqua (forse fino al terremoto del 1354, che interruppe molti dei canali interni all'area urbana: cfr. ALTUNEL 2000, 302 e 312) causarono invece il continuo accrescimento dei depositi di calcare sul tratto di canale a monte del ponte, anche dopo il crollo di quest'ultimo, determinando così la creazione della spettacolare formazione ancora oggi visibile.

G.S.

2.2 Il caso di studio del Ponte Sud: dal rilievo al restauro virtuale

Il rilievo del cd. Ponte Sud è risultato complesso a causa della sua ubicazione e del suo stato di conservazione, poiché i suoi resti sono oggi in gran parte inglobati all'interno di formazioni calcaree che obliterano quasi completamente il prospetto O e parte di quello E della spalla meridionale, lasciando a vista solo il prospetto (o meglio la sezione) delle arcate rivolte a N. L'ubicazione del monumento ha determinato una specifica strategia di rilievo, poiché è posto all'interno di una profonda depressione che in corrispondenza di esso è alta circa 32 m, caratterizzata in basso da un alveo fluviale piuttosto stretto (circa 10 m), con pareti che progressivamente si allargano con una pendenza media di 30° di inclinazione sul versante meridionale e di circa 50° su quello settentrionale; le operazioni di rilievo sono state inoltre condizionate dalla presenza di abbondante vegetazione cresciuta soprattutto in prossimità dell'alveo (alti cespugli e alberi a piccolo fusto) e più sporadica ma pur sempre abbondante lungo i pendii, soprattutto quello meridionale (erba, arbusti e alberi a piccolo fusto sparsi).

Le operazioni sul campo sono iniziate con l'istituzione di tre nuovi *survey points*, generati a partire dalla rete topografica esistente nella città antica, utilizzando un GPS differenziale di alta precisione; essi sono stati posizionati in modo da includere i resti del monumento all'interno di un triangolo, due presso il ciglio settentrionale della valle ed un terzo subito a S della spalla meridionale (cfr. riquadro in Fig. 1)⁸. Le coordinate assolute di questi punti sono state necessarie sia per integrare la planimetria dei resti del Ponte Sud all'interno della carta archeologica digitale di Hierapolis, sia per essere utilizzate come *survey points* per il rilievo con stazione totale robotizzata e motorizzata dei prospetti della spalla meridionale; in questo modo, facendo stazione sui due punti settentrionali, sono stati individuati e acquisiti i punti di "discontinuità" o punti "notevoli" delle strutture al fine di creare una maglia in wireframe, necessaria sia per ottenere dei foto-raddrizzamenti che per una preliminare restituzione 3D della spalla meridionale. In particolare, sono stati battuti i vertici delle facce principali dei piani orizzontali e verticali

⁸ Per il dettaglio tecnico delle operazioni di rilievo si rimanda a DI GIACOMO, LIMONCELLI, SCARDOZZI c.s.

delle strutture delle due arcate sovrapposte e le linee di attesa delle mensole e delle ghiera. Impostando la stazione totale in modalità reflectorless e facendo base sui due *survey points* settentrionali, sono state acquisite due nuvole di punti tridimensionali in coordinate assolute, relative ai prospetti O, N ed E della spalla meridionale, che sono state poi processate con il software in dotazione allo strumento in modo da ottenerne il merging e l'eliminazione automatica dei punti troppo vicini o di quelli rilevati più volte, generando in uscita una nuvola unica già in parte "ripulita". Attraverso altri software CAD i punti sono quindi stati analizzati direttamente, eliminando quelli relativi a interferenze (alberi, grosse pietre, arbusti) ed è stato così ottenuto un modello tridimensionale della spalla meridionale del ponte, utilizzato per la ricostruzione virtuale.

Partendo dal rilievo strumentale indiretto delle murature del ponte ancora *in situ*, dall'analisi delle sue strutture rinvenute in crollo lungo l'alveo del corso d'acqua e dallo studio dei resti ancora visibili dell'antica strada, si è proceduto innanzitutto a una restituzione su base bidimensionale dei prospetti e della sezione del ponte, dai quali è stata ottenuta un'ipotesi ricostruttiva in 2D del monumento (Fig. 8). Tale operazione ha consentito in primo luogo una verifica del rapporto tra il rilievo architettonico del monumento e il rilievo topografico dell'area e, in secondo luogo, ha posto le basi per una prima ipotesi di ricostruzione virtuale. La restituzione 3D del Ponte Sud è stata eseguita attraverso le differenti tecniche di *Hand Made Modelling*; il modello ottenuto è composto complessivamente da 187 oggetti, per un totale di 950.000 poligoni. La mappatura del modello ha poi previsto l'utilizzo di texture ad alta risoluzione ricavate dai foto-raddrizzamenti precedentemente realizzati e da un campionamento fotografico eseguito in loco di tutte le superfici visibili delle strutture.

Dal rilievo e dall'ipotesi ricostruttiva emerge che il ponte doveva avere in origine un volume complessivo di circa 2300 m³ (630 m³ per l'arcata inferiore, più 1670 m³ per l'arcata superiore) mentre attualmente si conservano circa 350 m³, ovvero il 15%, la maggior parte dei quali, come detto, coperta dalle formazioni calcaree. La ghiera dell'arco inferiore si conserva per circa il 12%, ovvero 8,3 m³ sui 64 m³ originari ricostruiti, mentre quella superiore corrisponde all'11% (7,6 m³ su 31 m³ per ognuna delle due arcate); le due cornici di imposta degli archi si conservano *in situ* pressoché integre per un totale di 7,5 m³ e corrispondono rispettivamente al 50% del totale per quella inferiore e il 25% per quelle superiori. La muratura in blocchi bugnati occupa infine un volume di circa 128 m³ (9,8%), su un volume complessivo stimato di 1254 m³.

Infine, sono stati realizzati alcuni rendering ad alta risoluzione (3000 per 2000 dpi) nei quali il ponte, mediante fotomontaggi, è stato inserito sia all'interno del contesto attuale che in quello originario, ricostruito a partire dal DEM

della valle e integrato delle parti dei pendii rocciosi franati a valle (Figg. 9-10). Con questo procedimento è possibile restituire la percezione della volumetria del monumento all'interno della stretta e profonda gola in cui fu realizzato, valutandone e contestualizzandone soluzioni e caratteristiche costruttive.

M.L.

MASSIMO LIMONCELLI
Dipartimento di Beni Culturali
Università del Salento – Lecce

GIUSEPPE SCARDOZZI
Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali
CNR – Lecce

BIBLIOGRAFIA

- ALTUNEL E. 2000, *L'attività sismica a Hierapolis e nelle zone limitrofe*, in F. D'ANDRIA, F. SILVESTRELLI (eds.), *Ricerche archeologiche turche nella valle del Lykos*, Galatina, Congedo Editore, 299-314.
- CAMPAGNA L., LIMONCELLI M. 2011, *The Nymphaeum of the Tritons at Hierapolis of Phrygia (Turkey) from excavations to 3D-virtual reconstruction: An example of integrated methods in the study of ancient architecture*, in FERRARI 2012, I, 281-290.
- CAMPAGNA L., SCARDOZZI G. c.s., *Archeologia delle acque a Hierapolis di Frigia: tematiche principali e metodologie integrate di ricerca*, in H. BRU, G. LABARRE (eds.), *Proceedings of the International Symposium: L'Anatolie des peuples, cités et cultures (II^e millénaire av. J.-C.-V^e siècle ap. J.-C.). Autour du projet d'Atlas historique et archéologique de l'Asie Mineure antique (Besançon 2010)*, in corso di stampa.
- CASTRIANNI L., DI GIACOMO G., DITARANTO I., SCARDOZZI G. 2010, *La cinta muraria di Hierapolis di Frigia: il geodatabase dei materiali di reimpiego come strumento di ricerca e conoscenza del monumento e della città*, «Archeologia e Calcolatori», 21, 93-126.
- CUNTZ O. 1990² (ed.), *Itineraria Romana, I. Itineraria Antonini Augusti et Burdigalense*, Stuttgartiae, Teubneri.
- D'ANDRIA F. 2003, *Hierapolis di Frigia (Pamukkale). Guida archeologica*, Istanbul, Ege Yayınları.
- D'ANDRIA F. 2012, *Phrygia Hierapolis'i (Pamukkale). 2010 yılı kazı ve onarım çalışmaları*, in 33. *Kazı Sonuçları Toplantısı*, 1. Cilt, Ankara, 475-495.
- D'ANDRIA F., CAGGIA M.P. 2007 (eds.), *Hierapolis di Frigia I. Le attività della Missione Archeologica Italiana in Turchia. Campagne 2000-2003*, Istanbul, Ege Yayınları.
- D'ANDRIA F., CAGGIA M.P., ISMAELLI T. 2012 (eds.), *Hierapolis di Frigia V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul, Ege Yayınları.
- D'ANDRIA F., SCARDOZZI G., SPANÒ A. 2008 (eds.), *Atlante di Hierapolis di Frigia*, Istanbul, Ege Yayınları.
- DI GIACOMO G., DITARANTO I., LEUCCI G., MICCOLI I., SCARDOZZI G. 2012, *The 2011 GPR surveys in the archaeological site of Hierapolis of Phrygia (Turkey)*, in *Proceedings of the 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (Shanghai 2012)*, Shanghai, IEEE, 595-601.
- DI GIACOMO G., LIMONCELLI M., SCARDOZZI G. c.s., *Rilievo e ricostruzione virtuale del Ponte Sud di Hierapolis di Frigia (Turchia)*, in *IV Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e Innovación (Sevilla 2012)*, in corso di stampa.

- DI GIACOMO G., SCARDOZZI G. 2012, *The archaeological digital cartography of Hierapolis in Phrygia (Turkey)*, in FERRARI 2012, I, 203-213.
- FERRARI A. (ed.) 2012, *Proceedings of the 5th International Congress Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin (Istanbul 2011)*, Roma, Associazione Investire in Cultura.
- GABELLONE F. 2012, *La scansione laser terrestre per lo studio di reperti archeologici: ambiti di applicazione e operatività sul campo*, in D'ANDRIA, CAGGIA, ISMAELLI 2012, 61-67.
- GABELLONE F., FERRARI I., GIURI F., LIMONCELLI M. 2010, *Virtual Hierapolis: tra tecnicismo e realismo*, in III Congresso International de Arqueologia e Informàtica Gràfica, Patrimonio e Innovación (Sevilla 2010), Sevilla, SEAV, 279-284.
- GABELLONE F., SCARDOZZI G. 2010, *Reconstruction of the urban landscape of an ancient metropolis in Asia Minor: Integration of 2D and 3D technologies and methodologies in Hierapolis of Phrygia (Turkey)*, in *Proceedings of the 15th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (Vienna 2010)*, Vienna, Stadt Archäologie Wien, 311-329.
- GALLIAZZO V. 1995, *I ponti romani*, Treviso, Edizioni Canova.
- LIMONCELLI M. 2009, *Virtual Archaeology a Hierapolis di Frigia: restauro virtuale e restituzione 3D degli edifici di ordine dorico*, in T. ISMAELLI, *Architettura dorica a Hierapolis di Frigia*, Istanbul, Ege Yayınları, 493-503.
- LIMONCELLI M. 2012a, *Il progetto "Hierapolis Virtuale". Esperienze di restauro virtuale e restituzione in 3D*, in R. D'ANDRIA, K. MANNINO (eds.), *Gli Allievi raccontano. Atti dell'Incontro di Studio per i Trent'anni della Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici (Cavallino 2010)*, Galatina, Congedo Editore, 253-260.
- LIMONCELLI M. 2012b, *Il restauro virtuale in archeologia*, Roma, Carocci.
- LIMONCELLI M., SCARDOZZI G. 2012, *Il Teatro Nord e le mura proto-bizantine di Hierapolis di Frigia. Dall'indagine topografica alla ricostruzione 2D e 3D*, in *Uno sguardo extra moenia. Riflessioni su identità culturale e circolazione di idee tra Oriente e Occidente*, Marina di Patti, Pungitopo, 185-199.
- LIMONCELLI M., SCARDOZZI G. c.s., *The North Theatre of Hierapolis in Phrygia (Turkey): From the multidisciplinary field works to the virtual reconstruction*, in *Proceedings of the 15th Symposium of the Mediterranean Archaeology (Catania 2011)*, in corso di stampa.
- MARABINI S., SCARDOZZI G. 2012, *Geo-archaeological research in Hierapolis of Phrygia (Turkey): Preliminary results*, in 86° Congresso della Società Geologica Italiana. Sessione TS3.6 - Geological Data-base, Learning and Cultural Heritage in the Mediterranean Environment (Arcavacata Di Rende 2012), «Rendiconti Online della Società Geologica Italiana», 21, 761-764.
- SCARDOZZI G. 2007, *L'urbanistica di Hierapolis di Frigia: ricerche topografiche, immagini satellitari e fotografie aeree*, «Archeologia Aerea», 2, 83-134.
- SCARDOZZI G. 2010-2011, *Il contributo delle immagini satellitari "storiche" e recenti alle ricerche di topografia antica*, «Archeologia Aerea», 4-5, 281-288.
- SCARDOZZI G. 2011, *Contributo alla ricostruzione della topografia antica della Frigia meridionale tra l'età ellenistica e l'epoca proto-bizantina: ricognizioni archeologiche nel territorio di Hierapolis*, «Atlante Tematico di Topografia Antica», 21, 111-146.
- SCARDOZZI G. 2012a, *Integrated methodologies and technologies for the reconstruction of the ancient topography of Hierapolis in Phrygia and its surrounding territory (Turkey)*, in FERRARI 2012, I, 192-202.
- SCARDOZZI G. 2012b, *New data on the North Theatre of Hierapolis in Phrygia: archaeological, topographical and geophysical surveys*, in F. MASINO, P. MINGHETTO, G. SOBRÀ (eds.), *Restoration and Management of Ancient Theatres in Turkey: Methods, Research, Results. Proceedings of the Hierapolis International Symposium (Karahayit, Turkey 2007)*, Galatina, 217-235.

- SCARDOZZI G. 2012c, *Ricerche per la carta archeologica di Hierapolis di Frigia (Turchia): indagini multidisciplinari integrate per la ricostruzione di una città antica*, in *Atti del Secondo Seminario di Archeologia Virtuale: la metodologia prima del software* (Roma 2011), Roma, Espera, 132-147.
- SCARDOZZI G. 2012d, *Un nuovo miliario dal territorio di Hierapolis di Frigia. Contributo alla ricostruzione della viabilità antica nella valle del Lykos*, in D'ANDRIA, CAGGIA, ISMAELLI 2012, 739-766.
- SCARDOZZI G., GIESE S., HÜBNER C. 2013, *Integrated Geophysical Investigations in Hierapolis of Phrygia (Turkey)*, «Near Surface Geophysics», 13, 101-113.
- SOBRÀ G., MASINO F., GABELLONE G., LIMONCELLI M. 2011, *Research on the Theatre at Hierapolis Phrygia: An integrated approach*, in F. HENZE et al. (eds.), *Von Handaufmass bis High Tech III: 3D in der historischen Bauforschung*, Darmstad, Zabern, 72-78.
- SPANÒ A. 2002, *Le ragioni dell'intervento di natura topografica a Hierapolis*, in D. DE BERNARDI FERRERO (ed.), *Saggi in onore di Paolo Verzone*, Roma, Giorgio Bretschneider Editore, 233-261.
- TANRIÖVER Y.E., BAYKAN N.O., BAYKAN N. 2006, *The water supply systems of Caria. An inventory study*, in G. WIPLINGER (ed.), *Cura Aquarum in Ephesus. Proceedings of the 12th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering (Ephesus-Selçuk 2004)*, Leuven-Paris-Dudley, Peeters, I, 127-132.
- VERZONE P. 1977, *L'urbanistica di Hierapolis di Frigia. Tracciato viario e monumenti rimessi alla luce dal 1957 al 1972*, in *Atti del XVI Congresso di Storia dell'Architettura* (Atene 1969), Roma, 401-413.
- WIPLINGER G. 2006, *Wasser für Ephesos. Stand der Erforschung der Wasserversorgung*, in G. WIPLINGER (ed.), *Cura Aquarum in Ephesus. Proceedings of the 12th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering (Ephesus-Selçuk 2004)*, Leuven-Paris-Dudley, Peeters, I, 23-37.

ABSTRACT

The paper concerns the recent research conducted at Hierapolis in Phrygia for the creation of the digital archaeological map of the city and surrounding necropolises, which is linked to a GIS. These activities have focused on updating the map with new data from systematic archaeological and topographical surveys, geophysical prospecting, aerial and satellite remote sensing, and from studies regarding the hydrogeology, geomorphology and seismic and tectonic characteristics of the site. In some cases, 3D reconstructions and virtual restorations of monuments are based on the data from this inter/multidisciplinary research on the ancient city. In fact, for several years now a project called "Virtual Hierapolis" has been in progress and has resulted in the production of 3D models of many monuments in the city, using data from stratigraphic excavations, archaeological and geophysical surveys, and art-historical studies. An example in this regard is the recent reconstructive study of the so-called South Bridge, a monumental viaduct/aqueduct-bridge, probably built in the first century AD, the remains of which are in a deep gorge to the South of the archaeological site. The survey and mapping of the monument, using differential GPS and robotic and motorized total station, have made it possible to obtain a detailed study and the production of 2D and 3D reconstructions.

