

HIERAPOLIS DI FRIGIA. APPLICAZIONI INFORMATICHE ALLE RICOGNIZIONI ARCHEOLOGICHE E TELERILEVAMENTO DA SATELLITE: L'ESEMPIO DEGLI ACQUEDOTTI DELLA CITTÀ

1. INTRODUZIONE

Tra le attività di ricerca svolte dall'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (CNR-IBAM) a Hierapolis di Frigia (Turchia sud-occidentale) nelle campagne 2004-2007, rientranti nell'ambito del Progetto FIRB 2001 "Il Mediterraneo antico e medievale come luogo di incontro tra Oriente e Occidente, Nord e Sud", vanno annoverate alcune applicazioni informatiche alle ricognizioni archeologiche ed un ampio utilizzo, nell'ambito delle stesse indagini, di immagini satellitari ad alta risoluzione¹.

Le indagini sistematiche di superficie sono state dapprima orientate allo studio dell'impianto urbano e delle necropoli, mentre successivamente sono state estese al territorio della città, arrivando a coprire una vasta area (circa 700 km²) che anticamente doveva essere in gran parte sotto il controllo di Hierapolis (D'ANDRIA 2003; ARTHUR 2006; D'ANDRIA, CAGGIA 2007). Si tratta innanzitutto della parte orientale dell'ampia e fertile valle del fiume Çürüksu, l'antico Lykos, che alla fine del suo corso, orientato in direzione SE-NO, confluisce nel Meandro (Fig. 1; Tav. XIa); a diretto controllo della valle, su un terrazzo di travertino posto 50-70 m più in alto della pianura sottostante, sorge la città (Tav. XIb). Oltre a questo territorio pianeggiante, le ricerche hanno interessato anche parte dell'ampio altopiano alle cui pendici sud-occidentali venne edificata Hierapolis, esteso ad una quota compresa tra 1150-1250 m nella parte meridionale e 850-950 m in quella settentrionale, delimitato a N dal Meandro ed a SE dal massiccio montuoso caratterizzato dalle due vette del Küçükçökelz (1734 m) e del Büyükçökelz (1841 m). L'area è stata indagata in modo sistematico nella parte più vicina alla città ed a maglie più larghe nei territori maggiormente distanti, dove comunque sono state effettuate esplorazioni sistematiche in corrispondenza e nelle vicinanze di particolari evidenze archeologiche o di aree significative (per le ricognizioni archeologiche nel territorio di Hierapolis cfr. D'ANDRIA c.s.a-b; SCARDOZZI 2007c, c.s.).

¹ Le ricerche sono state svolte nell'ambito delle attività della Missione Archeologica Italiana a Hierapolis di Frigia (Vilayet di Denizli, circa 200 km ad E di Izmir), diretta dal Prof. Francesco D'Andria, che ringrazio per il costante sostegno ed il profondo interesse con cui segue le indagini. Alle ricognizioni archeologiche hanno collaborato la Dott.ssa Laura Castrianni ed il Dott. Giacomo Di Giacomo, ai quali sono grato per il costante impegno e per la passione con cui hanno svolto sia il lavoro sul terreno che l'elaborazione dei dati; il Dott. G. Di Giacomo è anche autore delle elaborazioni utilizzate nelle Figg. 1, 3, 16 e nelle Tavv. 21 e 23.

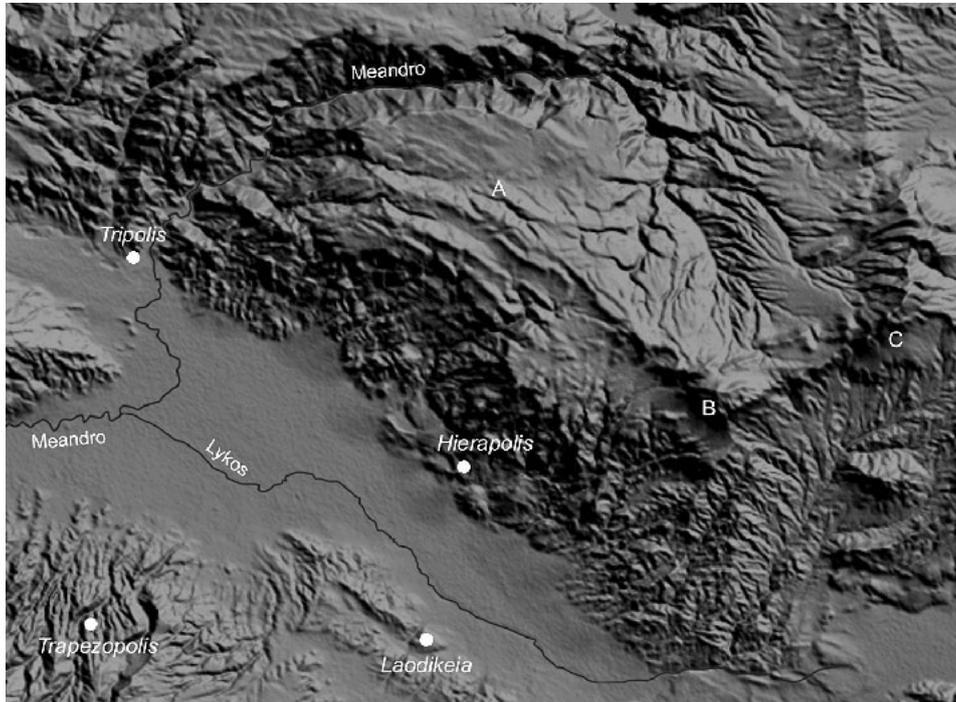


Fig. 1 – DEM della valle del Meandro, della valle del Lykos e dell'altopiano (A) a N di Hierapolis, basato sui dati della Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); sono visibili anche il Küçükçökelz (B) ed il Büyükçökelz (C).

Nel corso delle ricerche, si è fatto ampio utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione di QuickBird 2, sia pancromatiche che multispettrali (<http://www.digitalglobe.com/>), che hanno sopperito alla scarsa disponibilità di fotografie aeree (soprattutto di quelle verticali) ed alla disponibilità di cartografie poco aggiornate e che non presentano una scala adeguata per l'indagine diretta del territorio (1:25.000). Il contributo delle riprese satellitari alle ricerche è stato molto importante, poiché le immagini hanno costituito un costante supporto alle operazioni sul terreno, sia di scavo che di ricognizione archeologica; l'interpretazione delle tracce e delle anomalie riferibili a resti antichi sepolti o semiaffioranti, costantemente verificate a terra, ha permesso l'individuazione di numerose evidenze archeologiche e di elementi paleo-ambientali. Mancando o risultando poco utilizzabili alcune delle fonti e degli strumenti tradizionali della ricerca archeologico-topografica, si è deciso infatti di ricorrere alle immagini satellitari ad alta risoluzione, che sono state utilizzate in tutte le fasi della ricerca in integrazione con le fotografie aeree

e le cartografie disponibili: dalle attività sul campo, all'elaborazione ed alla gestione dei dati raccolti, fino alla presentazione dei risultati della ricerca (LASAPONARA, MASINI, SCARDOZZI in questo volume).

Le riprese da satellite sono state pertanto impiegate sia per l'individuazione di evidenze archeologiche, sia per la loro documentazione, analisi e caratterizzazione spaziale, sia ancora, in particolare nella ricognizione del territorio, come base per l'esplorazione diretta del terreno e per la registrazione ed il posizionamento delle presenze archeologiche individuate; infatti, le immagini pancromatiche sono state mosaicate e georeferenziate, anche con l'utilizzo di punti di controllo a terra, in modo da disporre di uno strumento adeguato per il lavoro sul campo a scale comprese tra 1:10.000 e 1:5.000. Le immagini così elaborate sono state poi inserite in un GIS dedicato alla carta archeologica del territorio di Hierapolis, in cui costituiscono un layer utilizzato sia come base per il posizionamento e la visualizzazione delle presenze archeologiche, sia per la vettorializzazione delle tracce riferibili ad evidenze antiche o ad elementi paleo-ambientali.

Nelle campagne del 2003 e del 2004, la lettura e l'interpretazione delle immagini di QuickBird 2 hanno fornito un fondamentale contributo alle ricerche archeologiche di superficie ed alle attività di scavo condotte nell'area urbana di Hierapolis e finalizzate alla ricostruzione dell'impianto della città (SCARDOZZI 2004, 2007a, 2007b; D'ANDRIA 2005a, 150; 2005b, 102-103; 2005-2006, 350-351, 355; 2006a, 231; 2006b, 116-117; 2007, 34-36). Nelle campagne del 2005-2007, invece, l'utilizzo delle riprese satellitari ad alta risoluzione ha supportato le indagini nel territorio della città, finalizzate alla ricostruzione del suo popolamento antico in un'ottica diacronica, dall'età preistorica fino a quella moderna ed in particolare dall'età ellenistica fino all'epoca selgiuchide, ovvero durante il periodo in cui Hierapolis stessa fu in vita; nel corso delle ricerche sono state individuate le cave che fornivano la città di marmo bianco, di travertino, di una breccia rosata tipica dell'area, di onice e di alabastro c.d. "fiorito" (il *marmor hierapolitanum* ricordato dalle fonti classiche ed ampiamente esportato anche a Roma), è stata ricostruita la principale viabilità antica del territorio e sono stati individuati i villaggi (con annesse necropoli ed aree sacre) e le fattorie che lo popolavano soprattutto in epoca ellenistica, romana e bizantina, frequentemente caratterizzate da impianti per la produzione di olio e di vino, oltre ad insediamenti più antichi, di età protostorica ed arcaica, e più recenti, di epoca ottomana (SCARDOZZI 2007c, c.s.).

2. METODI E STRUMENTI

Durante le ultime due campagne di ricognizione nel territorio di Hierapolis è stato messo a punto in via sperimentale un sistema finalizzato a velocizzare il lavoro sul campo di posizionamento e di documentazione dei

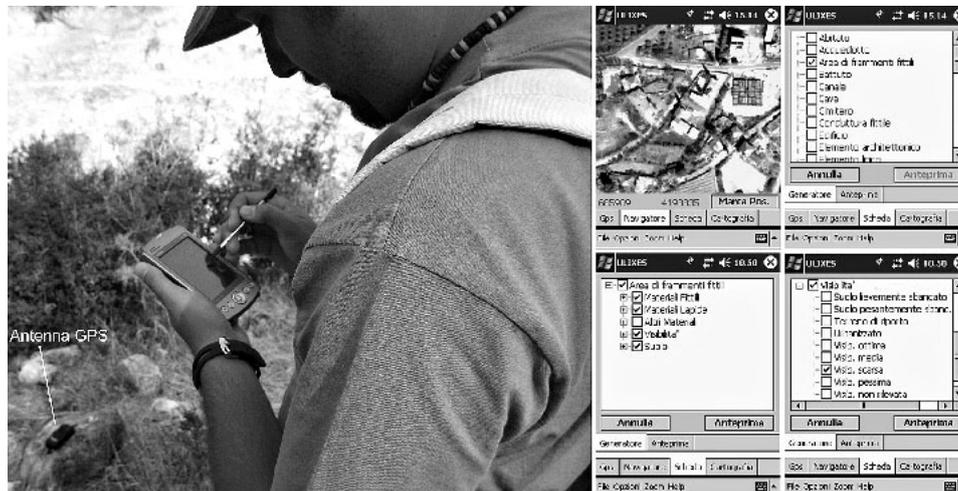


Fig. 2 – Documentazione delle presenze archeologiche mediante GPS e palmare con software Ulixes; a destra, quattro schermate esemplificative del software nella versione prototipica: dall'alto, visualizzazione dell'immagine satellitare come sfondo su cui è posizionata l'evidenza archeologica, registrazione del tipo di oggetto, dei materiali costituenti e della visibilità di superficie.

rinvenimenti; le tecnologie sperimentate, che, oltre ad essere di supporto alla ricognizione archeologica, sono anche funzionali ad una migliore gestione dei dati raccolti sul terreno, sono basate sull'uso di sistemi di posizionamento globale (GPS) integrati su computer palmari di ultima generazione, in combinazione con le cartografie in scala 1:25.000 georeferenziate e soprattutto con le immagini satellitari ad alta risoluzione, anch'esse georeferenziate. Uno degli scopi della sperimentazione è stato anche quello di verificare quale fosse il grado di precisione dei sistemi GPS *low cost* e se potessero essere utilizzati sia per velocizzare la navigazione sul territorio oggetto di studio, sia per acquisire i dati di ricognizione più rapidamente e direttamente in formato digitale, così che al rientro in laboratorio fossero già pronti per l'elaborazione e per l'inserimento all'interno del Sistema Informativo Territoriale.

Durante il lavoro sul campo sono stati utilizzati un computer palmare con GPS integrato della serie Garmin iQue M5 ed un software di navigazione archeologica e di gestione delle schede descrittive impiegate durante la ricognizione, chiamato Ulixes (Fig. 2)²; il GPS integrato nel palmare, a 12 canali,

² Lo sviluppo e la sperimentazione del software sono frutto di una collaborazione tra il CNR-IBAM, la SIRTER s.r.l. di Taranto (Dott. Giacomo Di Giacomo e Geom. Gianpaolo Di Giacomo) e la Cattedra di Aerotopografia Archeologica dell'Università del Salento (Prof. Giuseppe Ceraudo), che lo ha applicato nel 2006 durante le ricognizioni archeologiche lungo la *via Traiana* nel territorio di Troia (FG).

è stato sostituito con un'antenna GPS esterna, a 20 canali, collegata attraverso una porta bluetooth, in modo che il dato proveniente dal satellite non venisse processato dal software Garmin con conseguente rallentamento del suo invio ad Ulixes. Le finalità del sistema sono quelle di consentire la navigazione su basi cartografiche (raster o vettoriale) o fotografiche impostate dall'utente oppure, come nel caso di Hierapolis, su immagini da satellite ad alta risoluzione³. In presenza di un rinvenimento archeologico, si ha la possibilità di memorizzarne la posizione su un supporto di memoria compatto (SD Card) e di documentarlo mediante una dettagliata scheda descrittiva di semplice compilazione; sulla SD Card sono quindi registrate le immagini e le cartografie utilizzate come sfondo per la navigazione, i dati archeologici raccolti e le coordinate acquisite dal GPS, ad essi associate automaticamente. Ciò previene un'eventuale perdita di dati dovuta ad un crash del sistema e permette di indagare più aree, anche molto distanti tra loro, semplicemente cambiando la scheda di memoria.

La scheda di ricognizione è stata elaborata appositamente per il software Ulixes ed i suoi vocabolari sono facilmente configurabili ed aggiornabili (anche direttamente sul campo) in base alle esigenze dell'operatore ed alle caratteristiche specifiche del territorio indagato; oltre al tipo di unità topografica rinvenuta, di cui sono documentati quantitativamente e qualitativamente gli eventuali materiali costitutivi, vengono registrate anche le condizioni del suolo e la visibilità di superficie⁴. Nel corso delle ricognizioni archeologiche, comunque, la documentazione delle evidenze mediante il palmare e la scheda di ricognizione elaborata per Ulixes non hanno sostituito i metodi tradizionali di registrazione dei dati, integrati con quelli fotografici, grafici e, ove necessario, con le classiche descrizioni cartacee.

Le informazioni raccolte sul campo vengono registrate nel palmare come file di testo strutturato (formato XML o CSV) ed al rientro in laboratorio sono scaricati attraverso il software di gestione del PC palmare, oppure attraverso un qualunque lettore di SD Card; i dati vengono poi processati dal lato desktop del software Ulixes e quindi rilasciati in formato ASCII. Successivamente i dati sono inviati ad un software commerciale (Global Mapper) che è in grado di interpretarli e di rieditarli per la correzione e la verifica, quindi di esportarli in molti dei formati normalmente utilizzati da applicativi GIS o WebGIS.

Uno dei problemi che si è presentato durante il lavoro sul campo è stato determinato dall'eccessiva pesantezza in termini di MB delle immagini e

³ Tutti i prodotti utilizzati come base per la navigazione sono stati georeferenziati con sistema di proiezione UTM (fuso 35N; datum ed ellissoide WGS84).

⁴ Nel vocabolario relativo alla registrazione delle condizioni di visibilità del terreno riscontrate al momento delle ricognizioni sono state inserite le stesse voci utilizzate in TARTARA 1999, nei recenti volumi della collana *Carta Archeologica d'Italia – Contributi* e nel Sistema Informativo Territoriale sviluppato ed implementato presso il Laboratorio di Topografia Antica dell'Università del Salento (GUAITOLI 2001, 2003).

delle cartografie da caricare all'interno del computer palmare, dotato di basse prestazioni hardware; per questo motivo, al fine di evitare rallentamenti nel sistema, le riprese da satellite e le carte topografiche sono state suddivise in porzioni di 500 m² ed organizzate in mosaici indicizzati, così che il software potesse caricare in tempo reale, in base alla posizione calcolata dal sistema GPS, solo la porzione di immagine o di cartografia relativa al territorio in cui ci si trovava ad operare, velocizzando così le operazioni di zoom e di movimento all'interno dell'immagine o della cartografia stessa e la gestione dei dati⁵. Lo sviluppo del sistema ha previsto la sostituzione del palmare con un Tablet PC Samsung Ultra Mobile NP-Q1, così da poter disporre di uno strumento dotato di maggiori prestazioni hardware, con una tastiera più ampia (integrata con il sistema touch-screen) e con uno schermo più grande e luminoso⁶.

L'utilizzo integrato di un palmare o, meglio, di un Tablet PC e di un GPS bluetooth ha portato numerosi vantaggi alla ricerca, agevolando e velocizzando la ricognizione di superficie, la documentazione delle evidenze archeologiche e la loro georeferenziazione, con livelli di accuratezza idonei per una ricerca territoriale, e facilitando la verifica sul terreno delle tracce e delle anomalie riscontrate sulle immagini satellitari (sull'argomento cfr. CAMPANA 2005, 2006). In particolare, la tecnologia GPS utilizzata (vari ricevitori Garmin da navigazione) ed i piccoli PC impiegati (con le loro possibilità di archiviazione dei dati su SD Card intercambiabili o nella memoria interna) hanno offerto agli operatori sul terreno la possibilità di visualizzare in tempo reale la loro posizione, di confrontare immediatamente le caratteristiche del territorio al momento della ricognizione e quelle visibili nelle cartografie o nelle immagini utilizzate come sfondo, e di lavorare senza il ricorso a fastidiosi ed ingombranti supporti cartacei (come schede di unità topografica, documentazione già raccolta o edita, plottaggi di cartografie e di immagini, etc.) che sono stati limitati al minimo; inoltre, è stato molto più facile ricercare evidenze georeferenziate in passato, monitorandone lo stato di conservazione o le trasformazioni (per esempio, in corrispondenza di aree di frammenti fittili si sono potuti verificare cambiamenti nell'estensione e nelle concentrazioni dei reperti presenti in superficie), e verificare sul terreno, conoscendone le coordinate geografiche, tracce ed anomalie riscontrate durante l'esame delle riprese satellitari.

⁵ Il sistema quindi, in base al calcolo della posizione, è capace di restituire solo una porzione dell'immagine satellitare o della cartografia e di cambiarla in tempo reale, nel momento in cui si passa da una "tessera" del mosaico di partenza ad un'altra; è evidente come la precisione del calcolo della posizione sia sempre strettamente legata all'accuratezza della georeferenziazione delle immagini o delle cartografie.

⁶ Questi apparati, oltre ad avere prestazioni superiori ai palmari in termini di memoria RAM e di frequenza del processore, supportano il sistema operativo Windows XP, che consente di utilizzare un numero di funzioni maggiore rispetto al più compatto Windows Mobile; il collegamento con l'antenna GPS è sempre garantito dalla porta bluetooth.

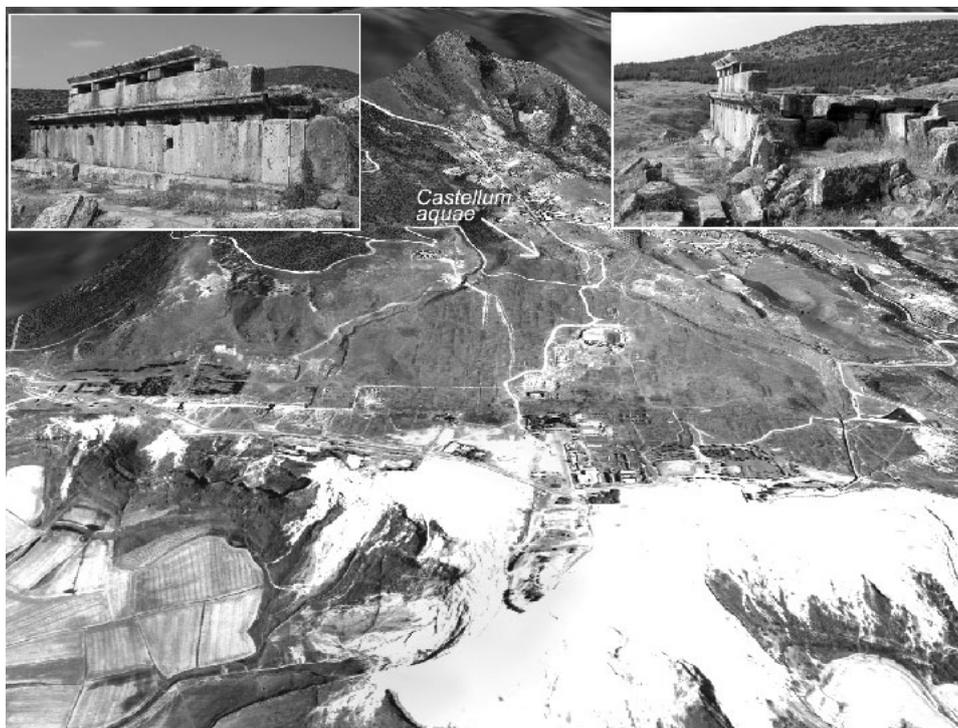


Fig. 3 – Veduta di Hierapolis da O, ottenuta georeferenziando un'immagine satellitare QuickBird 2 su un DEM basato sui dati SRTM; in alto, due fotografie del *Castellum aquae*.

3. LO STUDIO DEGLI ACQUEDOTTI

Tra i principali risultati delle ricerche compiute negli ultimi anni nel territorio di Hierapolis, anche come esemplificazione della metodologia adottata, figurano la ricostruzione e lo studio, ancora in corso, dei tracciati degli acquedotti che rifornivano la città di acqua potabile. Hierapolis si trova su un terrazzo di travertino posto subito al di sopra (circa 50-70 m più in alto) del margine orientale della valle alluvionale del fiume Çürüksu (Fig. 3); il terrazzo, che si estende ad una quota compresa tra 350 m e 425 m s.l.m. e sale costantemente verso E, è situato alle estreme propaggini sud-occidentali di un vasto altopiano, in antico rientrante nel territorio della città ed in direzione del quale il terreno sale molto ripidamente, raggiungendo in appena 4 km quota 1150. Proprio alle pendici dell'altopiano, sul margine orientale della valle del Çürüksu, presso Hierapolis stessa e poco più a N presso il moderno villaggio di Karahayıt si trovano numerose sorgenti, ma da esse sgorgano acque calde

(tra 35° e 52,5°), ampiamente utilizzate per l'irrigazione dei campi ma non potabili perché contengono alte concentrazioni di sali disciolti (ÖZKUL, KUMSAR, GÖKGÖZ 2000, 335-339; le sorgenti di Pamukkale rientrano nella categoria di acqua calda e minerale di calcio, magnesio, bicarbonato e solfato). Per trovare le prime sorgenti di acqua potabile bisogna salire fino a quota 800 m, ma la maggiore concentrazione si trova tra le quote 925 e 1100 m, subito al di sotto del ciglio dell'altopiano, in aree caratterizzate dalla presenza di molti toponimi in cui compare il termine turco "pınar" (= sorgente).

Le ricerche archeologiche di superficie degli anni 2005-2007 hanno permesso di individuare, documentare e posizionare i tracciati di più acquedotti, acquisendo moltissimi dati sulle modalità con cui Hierapolis era rifornita di acqua almeno in età romana imperiale e proto-bizantina; in precedenza era stato studiato il sistema di distribuzione delle acque all'interno della città, ma degli acquedotti si aveva solo una conoscenza molto parziale, limitata ad alcuni resti situati in prossimità della città o del *Castellum aquae*⁷, un grande serbatoio di raccolta e decantazione, datato al II sec. d.C. e posto subito ad E dell'area urbana, in posizione dominante, su una collina a quota 443 m s.l.m. (Fig. 3)⁸.

Gli acquedotti erano costituiti da tubi in terracotta di dimensioni variabili, con diametri compresi tra 20 e 40 cm e lunghezze di 52-62 cm circa; legati tra loro con poca malta, in alcuni casi erano semplicemente interrati, in altri alloggiati in incassi scavati nella roccia o in casse litiche, oppure inglobati in nuclei di cementizio allettati nel terreno ed a volte coperti da grandi mattoni o tegole; alcuni frammenti di tubo presentano sottili incrostazioni calcaree distribuite uniformemente su tutta la superficie interna, a dimostrazione che in questi casi l'acqua viaggiava a pressione. Mancano tratti su arcate: solo in corrispondenza dell'attraversamento di stretti e profondi canali naturali sono stati costruiti semplici archi o veri e propri piccoli ponti realizzati in blocchi di travertino ed in gran parte oggi crollati. In situazioni particolari, invece, per garantire l'attraversamento di zone molto impervie, mantenendo

⁷ VERZONE 1978, 423-426; DE BERNARDI FERRERO 1987, 64-65; BAYSAL 2000, fig. 6; SILVESTRELLI 2000, 409; D'ANDRIA 2003, 36, 183-184; D'ANDRIA, CAMPAGNA 2006; SCARDOZZI 2007b, 90, 106. Dati interessanti sono contenuti in uno studio del 2000 della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pamukkale (Denizli) dal titolo *Hierapolis tarihsel su iletimi* (realizzato da E. AKINAL, M. BASMACI, A. KURBAN, N.B. VARDAR), che, sebbene sia prevalentemente interessato all'idraulica degli antichi acquedotti di Hierapolis, è comunque il risultato dell'esame diretto di alcuni dei resti conservati; ringrazio il Dott. Haşim Yıldız, archeologo del Museo di Denizli e Commissario del Ministero delle Antichità e Musei di Turchia presso la Missione Archeologica Italiana durante la campagna del 2007, che mi ha segnalato e procurato lo studio in oggetto.

⁸ Il *Castellum aquae*, oggetto di limitati interventi di scavo nel 1976-1977 e nel 2005, ha una pianta quadrata (m 14 x 14) ed è costituito da una grande cisterna con muri a grandi blocchi di travertino, rivestiti internamente di intonaco idraulico; dal lato occidentale della struttura, partivano le condutture in terracotta che distribuivano l'acqua nell'area urbana di Hierapolis, spesso correndo lungo i margini degli *stenopoi* che scendevano in direzione NE-SO.

costante la pendenza delle tubature, sono state realizzate alcune gallerie, in gran parte oggi crollate; di dimensioni piuttosto ampie (in qualche punto l'altezza supera i 2 m e la larghezza arriva a 1,5 m), anche per permettere la manutenzione, esse arrivano fino a 206 m di lunghezza, sono completamente scavate nel banco roccioso o coperte da volte realizzate con blocchetti legati da malta. In alcuni casi, inoltre, le tubazioni sono risultate affiancate da piccoli canali aperti superiormente (larghi fino a 50 cm e profondi 90-100 cm circa), realizzati in muratura e con le pareti interne rivestite di cocciopesto; se ne conservano vari resti, spesso riempiti di incrostazioni calcaree stratificate dovute all'elevato contenuto di calcio di alcune acque.

La ricerca sul terreno di questi acquedotti ha presentato molte difficoltà, in parte dovute alla conformazione del territorio che doveva essere esplorato, particolarmente accidentato ed a tratti coperto da boschi molto fitti e da un sottobosco intricato, in parte determinate dalla tipologia stessa delle evidenze archeologiche indagate; essendo infatti molto pochi i resti di strutture murarie, spesso scarsamente conservate ed in luoghi difficilmente accessibili, e trattandosi di manufatti per lo più interrati, che già in origine non presentavano molti elementi in superficie, le ricognizioni hanno permesso di individuarne solo alcuni tratti in posto (delle tubature o degli incassi in cui erano alloggiate), spesso messi in luce da sezioni artificiali o naturali; molto più spesso l'esplorazione sistematica del territorio ha consentito l'individuazione di frammenti dei tubi sparsi sul terreno, messi in luce o dai lavori agricoli o dagli scassi realizzati per piantare alberi nelle montagne a NE di Hierapolis, molte delle quali interessate in anni recenti da numerosi interventi di rimboschimento. Ulteriori difficoltà sono state poi determinate dalla complessità del sistema di acquedotti che rifornivano la città, organizzati su più tracciati, lunghi vari chilometri, caratterizzati da più fasi coprenti un arco cronologico di alcuni secoli, con nuove tubature che hanno ricalcato il percorso di altre più antiche o, in alcuni tratti, hanno seguito tracciati diversi, oppure ancora si sono affiancate a quelle preesistenti; da questi acquedotti, inoltre, partivano anche, prima di raggiungere Hierapolis, numerose diramazioni, in genere con tubi in terracotta di dimensioni inferiori, che servivano gli insediamenti rustici del territorio.

Da qui, si comprende l'utilità di poter esplorare questo territorio ed indagare questo tipo di evidenze archeologiche utilizzando sistemi di documentazione e di posizionamento rapidi, leggeri e maneggevoli come quelli sopra descritti, la necessità di poter conoscere sempre la propria esatta posizione e soprattutto la quota (così, per esempio, da poter seguire i tracciati con precisione e ritrovarli in occasione di lacune nella documentazione di superficie) e quella di dover georeferenziare con precisione i resti rinvenuti; da qui, ancora, la possibilità di ritrovare sul terreno tracce, anomalie ed evidenze viste sulle immagini satellitari o sulla cartografia e quella di poter registrare rapidamente

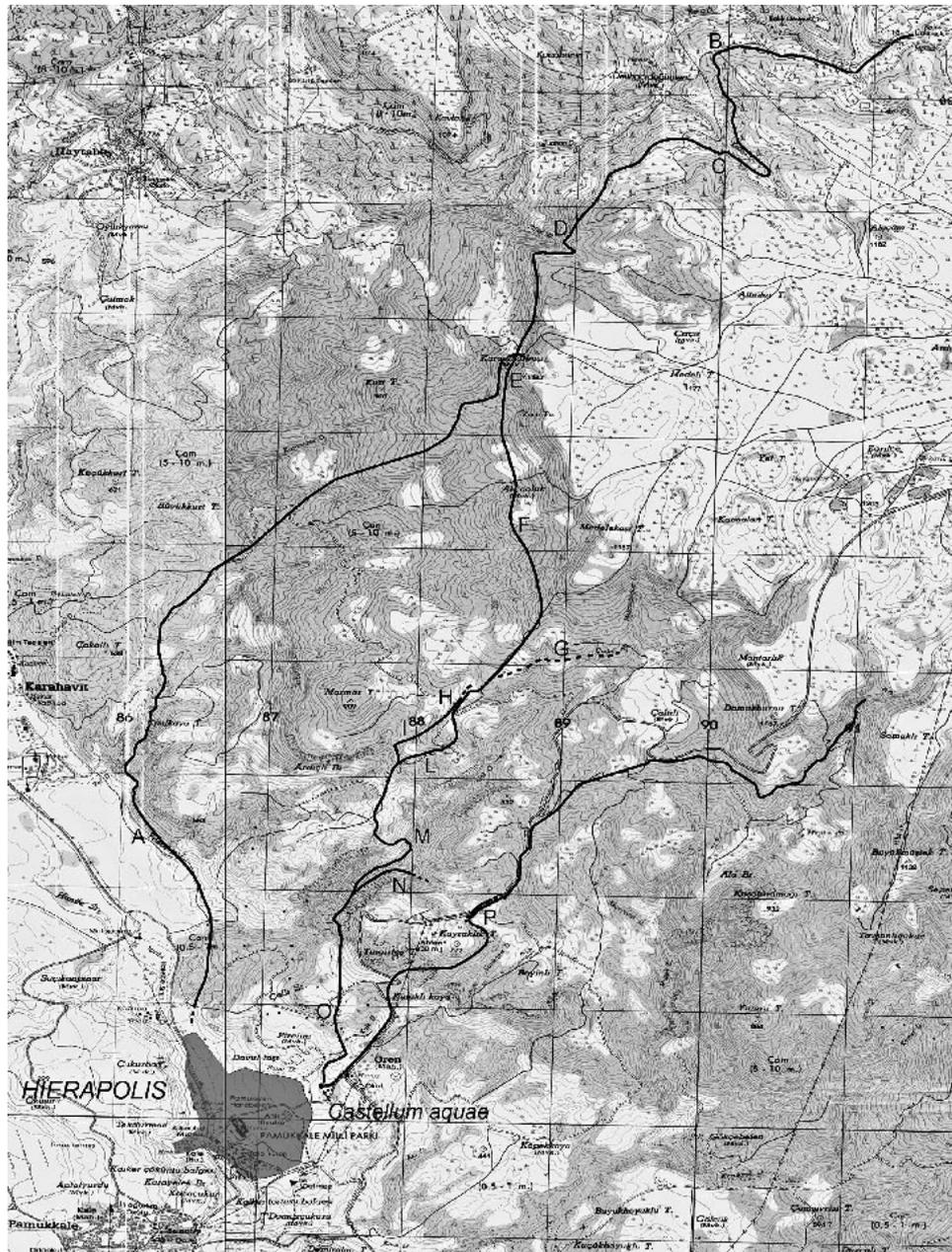


Fig. 4 – I tracciati degli acquedotti di Hierapolis georeferenziati su un mosaico di quattro cartografie in scala 1:25.000 (Harita Genel Komutanlığı: Uşak L22 d3-d4, Denizli M22 a1-a2).

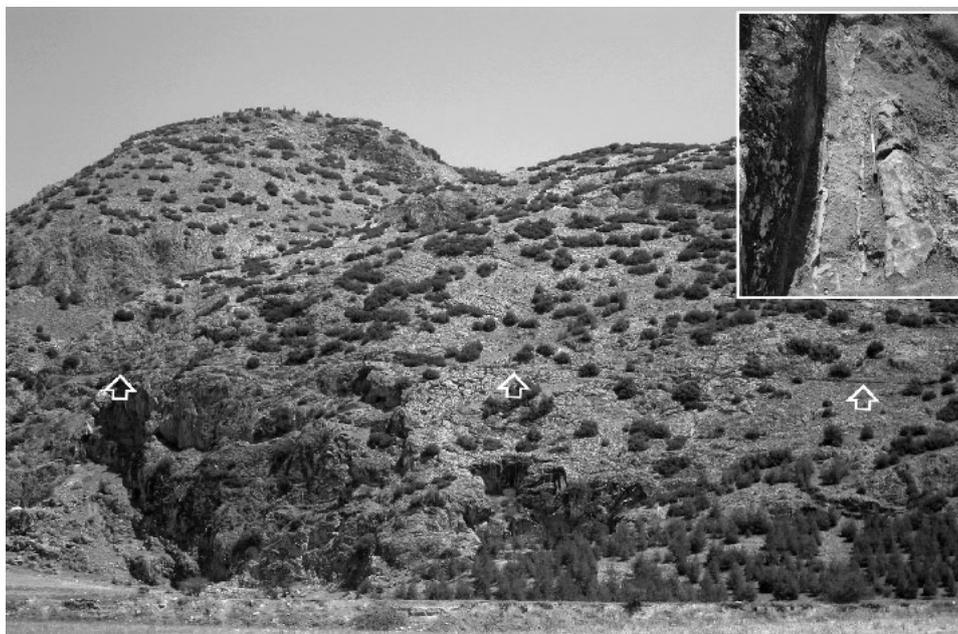


Fig. 5 – Taglio per l'alloggiamento della conduttura in terracotta nelle montagne a NO di Hierapolis; nel riquadro, particolare del tubo.

ed analiticamente le misure e le caratteristiche dei tubi di terracotta individuati, potendo anche richiamare e consultare direttamente in campagna le schede già registrate per confrontare i dati e la posizione degli altri rinvenimenti⁹.

Le ricognizioni archeologiche hanno permesso di individuare tre tracciati principali, lungo i quali vari acquedotti raggiungevano Hierapolis rispettivamente da N, da NE e da E, partendo da sorgenti situate a quote comprese tra 1065 e 1085 m con lunghezze comprese tra 6,3 e 13,5 km circa (Fig. 4). Il tracciato nord-orientale e quello orientale sono stati ricostruiti fino al *Castellum aquae*, mentre quello settentrionale non raggiungeva questo grande serbatoio, ma la parte N della città, oggetto di una forte monumentalizzazione nel II sec. d.C. e dove si trova anche un edificio termale. Questo terzo acquedotto ha la sua sorgente, ancora oggi captata, in località Karapınarbaşı, circa 5 km a N-NE di Hierapolis, a quota 1070 m s.l.m.; è costituito da un tubo lungo 52-54 cm, con diametro di 30 cm e pareti spesse 2 cm circa. Lungo il tracciato, in alcuni punti, si sono

⁹ È evidente come ciò sia particolarmente importante per l'individuazione dei differenti tracciati e per riconoscere fasi diverse lungo lo stesso percorso, considerate anche tutte le difficoltà connesse con lo studio di questo tipo di acquedotti attraverso la sola documentazione di superficie, soggetta per sue stesse caratteristiche a componenti di casualità nell'individuazione dei reperti.

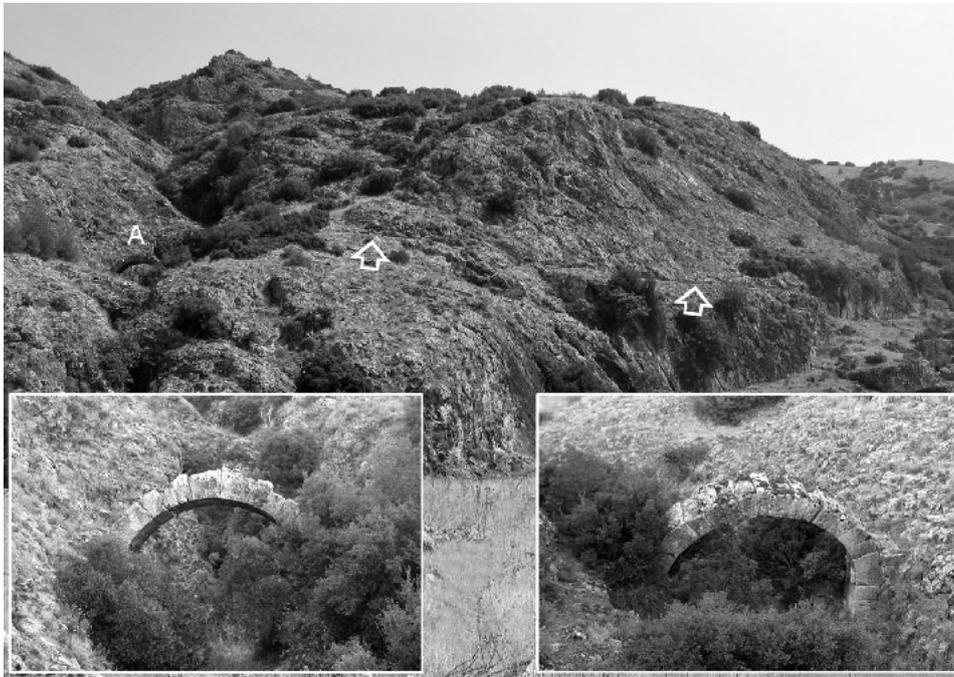


Fig. 6 – Tratto dell'acquedotto a NO di Hierapolis: le frecce indicano il taglio per l'alloggiamento della condotta; è visibile anche un arco in muratura (A), di cui in basso si mostrano due vedute da O (a sinistra) e da E (a destra).

rinvenuti frammenti di tubi con diametro di circa 35 cm, forse riferibili ad una diramazione oppure ad una condotta precedente a quella trovata in posto.

Dalla sorgente, l'acquedotto raggiungeva la città con un percorso di quasi 7,5 km, aggirando ad O il massiccio del Marmar Tepe (909 m); nel tratto posto alle pendici occidentali e meridionali del Kızılkaya Tepe, subito a SE del villaggio di Karahayıt, circa 1,5 km a N dell'area urbana di Hierapolis (Fig. 4, A), si conservano ampi tratti dell'alloggiamento scavato nella roccia (all'incirca largo 45-50 cm e profondo 20-30 cm), in cui era collocata la condotta in terracotta, che in alcuni punti è ancora conservata in posto (Fig. 5); in questa zona, caratterizzata dalla presenza di cave di travertino e di breccia rosata, si conserva anche un arco che permetteva alla tubatura di superare uno stretto canalone naturale (Fig. 6): realizzato con cunei di travertino larghi 115 cm e con una luce di 5,15 m, poggia su due piedritti alti 1,80 m ed incassati nel banco roccioso. Nei due blocchi più alti dei piedritti si conservano le sporgenze su cui poggiava la centina utilizzata per la costruzione dell'arco. Da qui, l'acquedotto raggiungeva la parte settentrionale della città, passando

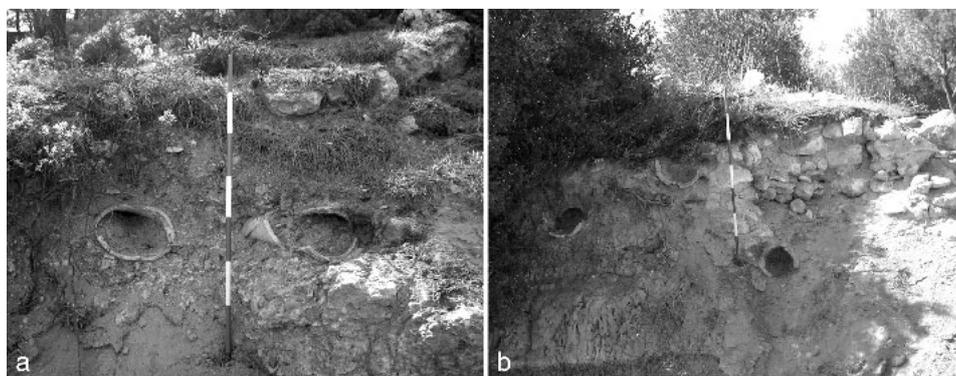


Fig. 7 – Due sezioni artificiali dell'acquedotto ad E di Hierapolis.

poco a monte della Necropoli Nord, in direzione della quale partivano alcune diramazioni¹⁰. I tubi rinvenuti lungo questo tracciato sono caratterizzati da un deposito di calcare spesso alcuni centimetri, dovuto all'alta percentuale di minerale di calcio presente nell'acqua: la riduzione della pressione fa infatti perdere il biossido di carbonio depositando il carbonato di calcio¹¹.

L'acquedotto orientale captava invece l'acqua da una sorgente situata in località Müşteek, quasi 5 km ad E-NE della città, dove ha inizio anche l'acquedotto moderno che serve il villaggio di Pamukkale, sorto alle pendici del terrazzo su cui si trova Hierapolis; da questo punto, a quota 1065, subito al di sotto del ciglio dell'altopiano, raggiungeva il *Castellum aquae* della città con un tracciato di circa 6,3 km. Si rinvengono due tubature affiancate, alloggiate direttamente nel terreno o inglobate in un conglomerato piuttosto grossolano (Fig. 7a): i tubi, di cui non è stato rinvenuto alcun esemplare intero, hanno diametri di 32-33 e 28 cm, con pareti spesse circa 2 cm. Prima di incunearsi tra il Beyinli Tepe ed il Kayraklık Tepe, le due montagne poste subito ad E di Hierapolis, una sezione prodotta da uno sbancamento per la realizzazione di una strada moderna, circa 1,7 km a NE della città (Fig. 4, P), alle pendici settentrionali del secondo rilievo, documenta che le due tubature furono affiancate e forse anche sostituite da un

¹⁰ Per questa informazione ringrazio la Dott.ssa Donatella Ronchetta che da molti anni studia le necropoli di Hierapolis e che mi ha fornito preziose indicazioni e segnalazioni frutto della sua quarantennale presenza nella Missione Archeologica Italiana.

¹¹ Molte delle sorgenti presenti sulle montagne ad E ed a NE di Hierapolis sono caratterizzate da acque con un elevato contenuto di sali di calcio che, a causa dell'ossigenazione, si sono spesso depositati sulle pareti e sul fondo delle tubazioni in terracotta e dei canali in muratura. Queste incrostazioni, il cui spessore è strettamente collegato con la pendenza delle condutture, con la velocità di scorrimento dell'acqua e con la sua aerazione, sono arrivate in alcuni casi ad impedire il passaggio della stessa acqua e devono aver quindi richiesto periodici interventi di pulizia; a volte si notano inoltre stratificazioni, come se durante il funzionamento degli acquedotti vi fossero stati periodi di interruzione del flusso idrico.

terzo tubo (Fig. 7b), lungo 59-60 cm e con un diametro di 28 cm (pareti spesse 2 cm circa); nel conglomerato che lo contiene sono inseriti numerosi frammenti di altri tubi, evidentemente rimossi o sostituiti (i primi due?). Questo terzo tubo presenta un impasto rossastro che ricorda molto da vicino quello delle tubazioni proto-bizantine rinvenute in più punti della città, come nel Santuario di Apollo (SEMERARO 2007, 178), e ha un deposito di calcare superiore rispetto a quello degli altri due tubi, che invece è molto limitato: questo potrebbe indicare che la condotta proveniva da una diversa sorgente, forse dalla vicina località Çaltılı, situata appena 2 km più a NE e caratterizzata da acque con molto minerale di calcio in soluzione. Nell'ultimo tratto le condutture scendevano attraversando l'area occupata dal moderno villaggio di Ören, costruito subito a monte di Hierapolis, dove negli anni passati, durante scarsi e limitati saggi archeologici, sono stati rinvenuti vari frammenti di tubi, in particolare nei terreni subito a N della strada asfaltata che attraversa il piccolo centro abitato.

Molto più complessa, invece, la situazione che si è riscontrata lungo il terzo tracciato, il più lungo e verosimilmente il più importante tra quelli che portavano acqua potabile a Hierapolis; si sono infatti riscontrate varie condutture in terracotta, più fasi e tracciati minori che confluivano nel principale. La sorgente più importante da cui veniva captata l'acqua è sicuramente quella situata ben 8,5 km a NE della città, in località Can Pınar, in una stretta valle che si incunea nell'altopiano, 2 km a S del villaggio di Uzunpınar (= sorgente lunga, abbondante); da questo punto, a quota 1085 m, per raggiungere il *Castellum aquae* le tubazioni compivano un percorso di circa 13,5 km. Il motivo della scelta di una sorgente così lontana va ricercato nell'ottima qualità dell'acqua; ancora oggi gli abitanti del luogo la indicano come una delle migliori di tutto il comprensorio; l'acqua, infatti, è caratterizzata da una bassissima presenza di minerale di calcio in soluzione, come si può verificare anche dai frammenti di tubi rinvenuti nella parte del tracciato più vicina alla sorgente, praticamente privi di depositi di calcare. Per portarla a Hierapolis furono necessari notevoli interventi affinché le condutture mantenessero il più possibile una pendenza costante o comunque sufficiente a consentire il flusso fino alla città; a causa del terreno molto accidentato e dell'orografia movimentata, soprattutto nella parte alta del tracciato, furono necessarie delle gallerie (Fig. 4, C e D), in prossimità delle strette e profonde valli percorse da due modesti corsi d'acqua, il Koca Dere ed il Zillik Dere, in località Kocapınar (Fig. 8), tagli nel banco roccioso per l'alloggiamento dei tubi e la costruzione di grandi ponti realizzati con blocchi parallelepipedi di travertino, di cui in alcuni casi, come in località Akçaoluk (Fig. 4, F) e lungo il corso del Gök Dere (Fig. 4, M), si conservano i resti delle spalle (Fig. 9).

Lungo il tracciato che è stato ricostruito si rinvengono numerosi frammenti di tubi sparsi sul terreno o in posto, che presentano misure e caratteristiche diverse tra loro; in alcuni tratti, inoltre, le condutture sono inserite in alloggiamenti realizzati con spallette in muratura e copertura a lastre di pietra. Non lontano dalla

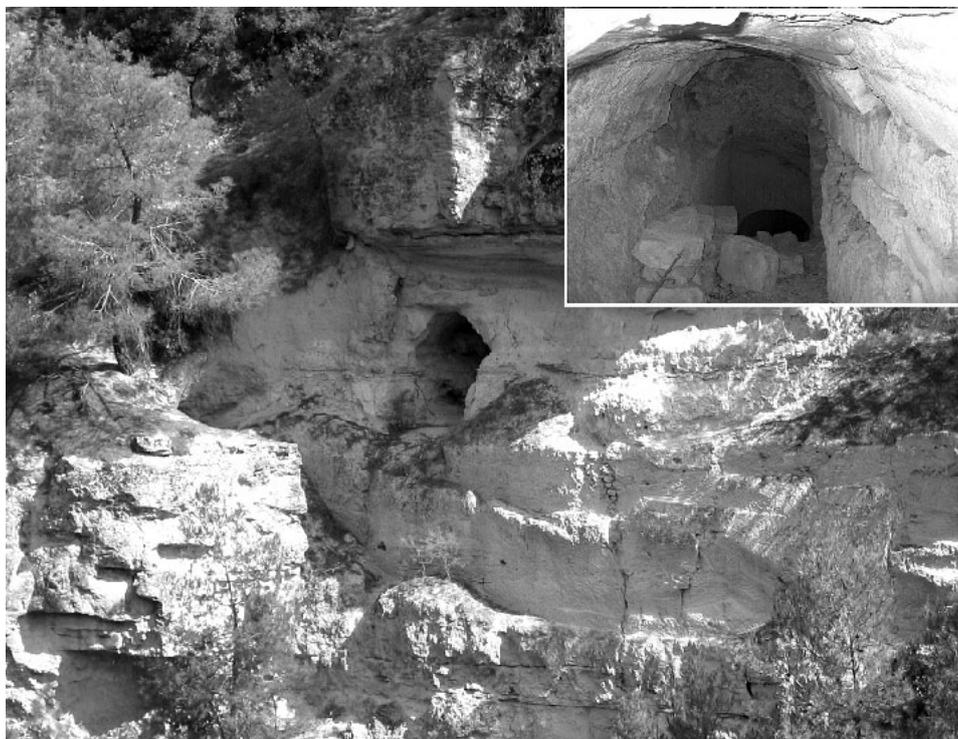


Fig. 8 – Sbocco di una galleria in località Kocapınar; al di sotto, si notano i tagli nella parete rocciosa per l'alloggiamento della condotta. Nel riquadro è visibile un tratto della galleria con volta in muratura.

sorgente (Fig. 4, B) è visibile un breve tratto, messo in luce da scavi clandestini, con un tubo lungo 62 cm e con un diametro di 40 cm (la parete è spessa 2-3 cm). Quasi un chilometro più a S (Fig. 4, C), invece, un altro scavo clandestino ha messo in luce un tratto con due tubi affiancati, inseriti in un incasso nella roccia, contenuti da un conglomerato coperto da mattoni in terracotta (Fig. 10a); i tubi, che hanno diametri di 30 e 28 cm (con pareti spesse 2-3 cm), potrebbero anche provenire da una vicina sorgente, posta qualche centinaio di metri più ad E, da cui ha oggi origine il moderno acquedotto del villaggio di Kurtluca.

Procedendo lungo il tracciato, in località Karapınarbaşı (Fig. 4, E), in prossimità della sorgente del primo acquedotto descritto, uno sbancamento ha messo in luce due tubi, non affiancati come gli ultimi descritti, ma distanti tra loro circa 90 cm (Fig. 10b), con diametri di 30 e 23 cm circa (con pareti spesse 2 cm): come per gli altri tratti precedenti, nelle tubazioni non sono presenti depositi di calcare. Differente, invece, la situazione riscontrata più a valle, lungo lo stesso tracciato, sulle alture situate tra il Marmar Tepe e la località Çaltılı



Fig. 9 – Due vedute della spalla meridionale del ponte a blocchi lungo il Gök Dere.



Fig. 10 – Due sezioni artificiali che hanno messo in luce i tubi dell'acquedotto a NE di Hierapolis.

(Fig. 4, H), dove alcuni sbancamenti e tratti affioranti documentano l'esistenza di tre condutture (Figg. 11-12), una più ad O, e le altre due affiancate, più ad E, con diametri, rispettivamente, di 34, 36 e 32 cm (lo spessore delle pareti è di 2-3 cm ed i tubi sono lunghi circa 55 cm): più a valle, una collina posta subito ad E del Marmar Tepe è aggirata ad O dalla tubatura isolata (Fig. 4, I), fiancheggiata da un canale in muratura, e ad E dalle due affiancate (Fig. 4, L), con tracciati in parte incassati nel banco roccioso affiorante (Fig. 13).

Tutti e tre i tubi ed il canale in muratura (che presenta due fasi) sono caratterizzati da abbondanti incrostazioni di calcare (Figg. 12 e 14), che docu-



Fig. 11 – Tratto di condotta messo in luce in seguito all'apertura di una strada moderna.

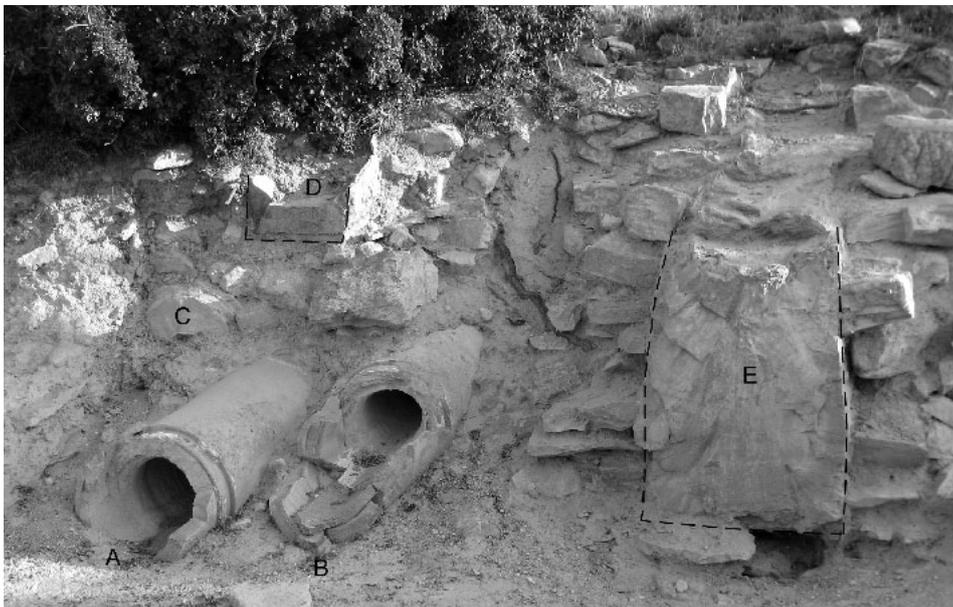


Fig. 12 – Due tubi affiancati (A, B) che ne obliterano un terzo (C), messi in luce da uno sbancamento. In alto (D) ed a destra (E) si notano i resti di due canali completamente riempiti da incrostazioni di calcare: il secondo, in particolare, presenta spallette in muratura (in blocchetti e pietrame legato da malta), rivestite di intonaco idraulico, ed il fondo costituito da grandi tegole di terracotta.



Fig. 13 – Tratto di acquedotto con due tubature affiancate ed alloggiate in un incasso scavato nel banco roccioso.

mentano come l'acqua fosse captata da una o più sorgenti diverse da quella in località Can Pınar, probabilmente situate sulle alture più a monte; tra esse, va probabilmente considerata quella esistente in località Çaltılı a quota 990 m, presso la quale sono presenti sporadici frammenti di tubi con diametro di circa 36 cm (Fig. 4, G). Lungo il percorso delle due tubazioni affiancate, che presentano impasti simili a quelli delle condutture di epoca proto-bizantina messe in luce nell'area urbana, si rinvengono, rimossi dalla loro sede originaria, vari frammenti di un tubo con diametro di 40 cm e privi di concrezioni calcaree, molto simili a quelli esistenti presso la sorgente in località Can Pınar; questi due tubi, inoltre, sembrano obliterare con il loro tracciato quello della condotta isolata (Fig. 12, C), che risulta completamente ostruita dalle incrostazioni.

Procedendo in direzione di Hierapolis, si rinvengono numerosi tratti del canale che affiancava i tubi, con l'acqua che si è "solidificata" in formazioni di



Fig. 14 – Frammenti di tubi con concrezioni di calcare riutilizzati nelle murature di un edificio rurale.

calcare che hanno una larghezza di circa 50 cm ed un'altezza fino a 90-100 cm (Fig. 15). Circa 600 m a N del *Castellum aquae* (Fig. 4, O), inoltre, il canale è affiancato da un'altra conduttura che presenta tubi lunghi 60 cm e con diametro di 30 (le pareti sono spesse 2 cm), con sottili incrostazioni calcaree (Fig. 16a); la tubazione appartiene ad un altro tracciato (Fig. 16b) che confluisce in quello descritto alle pendici settentrionali del Tıngırtaş Tepe (Fig. 4, N) e che può aver origine dalla più volte menzionata località Çaltılı oppure più a valle, a circa quota 800 m, dove si trovano le sorgenti del Gök Dere.

4. CONCLUSIONI

Per il raggiungimento di questi risultati archeologici, nella fase di ricerca sul terreno è stato molto importante, come accennato, l'esame delle immagini satellitari dell'area indagata, che ha preceduto ed accompagnato la ricognizione diretta, al fine di individuare tracce ed anomalie riferibili ad evidenze antiche. Particolarmente utile per l'oggetto principale della ricerca (in cui l'obiettivo primario era l'individuazione dei resti degli antichi acquedotti, senza comunque trascurare le altre presenze archeologiche) è risultata la video-esplorazione del territorio su modelli tridimensionali vestiti con le immagini satellitari: per apprezzare meglio la morfologia dell'area in oggetto prima dell'esame diretto del terreno sono state utilizzate sia le immagini *pan-sharpened* di QuickBird 2 visibili in Google Earth in



Fig. 15 – Tratto di canale pieno di concrezioni calcaree. Nel riquadro in alto, è visibile un particolare della struttura, che era delimitata da spallette in muratura e di cui è ancora conservato il fondo a grandi tegole; la freccia indica uno dei tubi in terracotta a fianco del canale. Nel riquadro in basso, invece, compare la traccia dei resti del canale nell'immagine satellitare.



Fig. 16 – A sinistra, tubo in terracotta e canale in muratura pieno di concrezioni calcaree messi in luce da uno sbancamento; a destra, tratto di condotta alle pendici settentrionali del Tingirtaş Tepe.

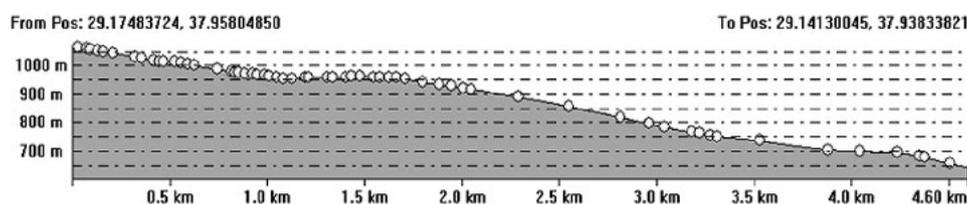


Fig. 17 – Sezione dell'andamento del terreno in corrispondenza del tracciato dell'acquedotto che raggiunge Hierapolis da E, tra la sorgente (1065 m s.l.m.) ed il pendio meridionale del Kayraklık Tepe (643 m s.l.m.), da dove ha inizio la discesa in direzione del *Castellum aquae* attraverso il moderno villaggio di Ören: su un tratto di oltre 4,6 km, le condutture in terracotta percorrono un dislivello di 422 m.

vista tridimensionale¹², sia le riprese satellitari ad alta risoluzione acquistate per il progetto di ricerca e le cartografie in scala 1:25.000, georeferenziate su modelli digitali del terreno editati con Global Mapper e basati sui dati della Shuttle Radar Topography Mission (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

Sia Google Earth sia gli altri modelli 3D realizzati, su cui sono state posizionate le evidenze archeologiche, sono risultati molto efficaci per la presentazione e la visualizzazione tridimensionale dei risultati delle ricognizioni archeologiche; in particolare, per quanto riguarda Google Earth, attraverso un pre-processing dei dati è possibile importare i *waypoints* registrati dai ricevitori GPS Garmin utilizzati durante il lavoro sul terreno, così da poter ottenere una veloce renderizzazione dei tracciati degli acquedotti su immagini a risoluzione più alta, ed una ricostruzione relativamente precisa dell'andamento delle acque, visualizzando i percorsi sia con immagini statiche che attraverso simulazioni di volo (Tav. XIIa-b)¹³. Sempre per un'efficace elaborazione dei dati e presentazione degli stessi, infine, le misure dei resti dei tracciati degli acquedotti, prese sul terreno mediante i ricevitori GPS da navigazione, sono state infine interpolate con il dato plano-altimetrico per ricostruire una sezione dell'andamento del terreno in corrispondenza dei percorsi, così da documentare la pendenza delle condutture (Fig. 17).

GIUSEPPE SCARDOZZI

Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali
CNR – Lecce

¹² In Google Earth (<http://earth.google.com/>) l'area interessata dal tracciato degli acquedotti risulta infatti coperta da immagini ad alta risoluzione di QuickBird 2, che sono state utilizzate in tutte le fasi della ricerca; una di esse è quella commissionata appositamente per le ricerche archeologiche a Hierapolis e nel suo territorio ed acquisita dal satellite il 25-03-2005, visibile nel server on-line dal marzo 2006. Le riprese di QuickBird 2 inserite in Google Earth, sebbene la compressione per la visualizzazione attraverso Internet comprometta notevolmente la loro risoluzione spettrale, mantengono comunque un'elevata risoluzione geometrica (circa 70 cm), che consente il loro impiego nella ricerca archeologica (BECK 2006; UR 2006).

¹³ Il dato fornito dal server on-line è stato quindi integrato con il posizionamento dei rinvenimenti ed i relativi metadati raccolti nella ricognizione diretta del terreno.

BIBLIOGRAFIA

- ARTHUR P. 2006, *Hierapolis (Pamukkale) Bizantina e Turca. Guida archeologica*, Istanbul, Ege Yayınları.
- BAYSAL H.H. 2000, *Le antiche città della valle del Lykos*, in D'ANDRIA, SILVESTRELLI 2000, 19-41.
- BECK A. 2006, *Google Earth and World Wind: Remote Sensing for the masses?*, «Antiquity», 80, 308 (<http://antiquity.ac.uk/>).
- CAMPANA S. 2005, *Lavoro sul campo: sistemi di georeferenziazione satellitare GPS e computer mobili*, in C. MUSSON, R. PALMER, S. CAMPANA (eds.), *In volo nel passato. Aerofotografia e cartografia archeologica*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 255-259.
- CAMPANA S. 2006, *DGPS e Mobile GPS per l'archeologia dei paesaggi*, in S. CAMPANA, R. FRANCOVICH (eds.), *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali*, 1, Firenze, All'Insegna del Giglio, 201-225.
- D'ANDRIA F. 2003, *Hierapolis di Frigia (Pamukkale). Guida archeologica*, Istanbul, Ege Yayınları.
- D'ANDRIA F. 2005a, *Hierapolis antik kenti 2003 yılı kazı ve onarım çalışmaları*, in 26. *Kazı Sonuçları Toplantısı*, 2. Cilt, Ankara, 147-156.
- D'ANDRIA F. 2005b, *Hierapolis di Frigia – Pamukkale*, in *Dall'Eufrate al Mediterraneo. Ricerche delle Missioni Archeologiche Italiane in Turchia*, Ankara, Istituto Italiano di Cultura, 93-104.
- D'ANDRIA F. 2005-2006, *Introduzione*, in *L'iscrizione dipinta con la Preghiera di Manasse a Hierapolis di Frigia (Turchia)*, «Rendiconti della Pontificia Accademia di Archeologia», 78, 349-361.
- D'ANDRIA F. 2006a, *Hierapolis 2004 yılı kazı ve araştırma çalışmaları*, in 27. *Kazı Sonuçları Toplantısı*, 2. Cilt, Ankara, 229-240.
- D'ANDRIA F. 2006b, *Hierapolis of Phrygia*, in W. RADT (ed.), *Stadtgrabungen und Stadtforschung im westlichen Kleinasien*, «Byzas», 3, 113-124.
- D'ANDRIA F. 2007, *Le attività della MAIER – Missione Archeologica Italiana a Hierapolis: 2000-2003*, in D'ANDRIA, CAGGIA 2007, 1-46.
- D'ANDRIA F. c.s.a, *Hierapolis 2005 yılı kazı ve araştırma çalışmaları*, in 29. *Kazı Sonuçları Toplantısı* (in corso di stampa).
- D'ANDRIA F. c.s.b, *Hierapolis 2006 yılı kazı ve araştırma çalışmaları*, in 29. *Kazı Sonuçları Toplantısı* (in corso di stampa).
- D'ANDRIA F., CAGGIA M.P. (eds.) 2007, *Hierapolis di Frigia, I. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2000-2003*, Istanbul, Ege Yayınları.
- D'ANDRIA F., CAMPAGNA L. 2006, *The Castellum Aquae of Hierapolis of Phrygia*, in G. WIPLINGER (ed.), *Cura Aquarum in Ephesus. Proceedings of the 12th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering (Ephesus-Selçuki 2004)*, «BABesch», Suppl. 12, 359-361.
- D'ANDRIA F., SILVESTRELLI F. (eds.) 2000, *Ricerche archeologiche turche nella valle del Lykos*, Galatina, Congedo Editore.
- DE BERNARDI FERRERO D. 1987, *Acque e ninfei*, in AA.VV., *Hierapolis di Frigia, 1957-1987*, Milano, Fabbri Editori, 64-69.
- GUAITOLI M. 2001, *I sistemi informativi territoriali in rapporto al patrimonio archeologico*, in *Problemi della "Chora" Coloniale dall'Occidente al Mar Nero. Atti del quarantesimo Convegno di studi sulla Magna Grecia (Taranto 2000)*, Taranto, Arte Tipografica, 385-402.
- GUAITOLI M. 2003, *Dalla cartografia numerica finalizzata ai sistemi informativi territoriali*, in M. GUAITOLI (ed.), *Lo sguardo di Icaro. Le collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio*, Roma, Campisano Editore, 101-102.
- ÖZKUL M., KUMSAR H., GÖKGÖZ A. 2000, *Caratteri geologici, geografici ed idrogeologici del bacino del Fiume Çürüksu*, in D'ANDRIA, SILVESTRELLI 2000, 327-339.

- SCARDOZZI G. 2004, *Il contributo delle riprese satellitari e aeree alla conoscenza dell'urbanistica di Hierapolis di Frigia*, «Archeologia Aerea», 1, 235-247.
- SCARDOZZI G. 2007a, *Ricerche topografiche e telerilevamento*, in D'ANDRIA, CAGGIA 2007, 67-86.
- SCARDOZZI G. 2007b, *L'urbanistica di Hierapolis di Frigia: ricerche topografiche, immagini satellitari e fotografie aeree*, «Archeologia Aerea», 2, 83-134.
- SCARDOZZI G. 2007c, *Remote sensing and archaeological survey in the Hierapolis of Phrygia territory, Turkey*, in *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology. Proceedings of SPIE Europe Remote Sensing 2007 (Florence 2007)*, vol. 6749 (in corso di stampa).
- SCARDOZZI G. c.s., *Ricognizioni archeologiche nell'area urbana e nel territorio di Hierapolis, in Hierapolis di Frigia, II. Le attività della Missione Archeologica Italiana. Campagne 2004-2006*, in corso di stampa.
- SEMERARO G. 2007, *La ricerca archeologica nell'area del santuario di Apollo (Regio VII) 2001-2003*, in D'ANDRIA, CAGGIA 2007, 169-209.
- SILVESTRELLI F. 2000, *Bibliografia topografica di Hierapolis di Frigia*, in D'ANDRIA, SILVESTRELLI 2000, 375-471.
- TARTARA P. 1999, *Torrimpietra*, Forma Italiae, Serie I, vol. 39, Firenze, Leo S. Olschki Editore.
- UR J.A. 2006, *Google Earth and Archaeology*, «The SAA Archaeological Record», 6, 3, 35-38.
- VERZONE P. 1978, *Hierapolis di Frigia nei lavori della Missione archeologica italiana*, in *Un decennio di ricerche archeologiche*, Quaderni de "La ricerca scientifica", 100, Roma, CNR, 391-475.

ABSTRACT

The paper deals with some of the results of the research activities of the IBAM-CNR in the project «Il Mediterraneo antico e medievale come luogo di incontro tra Oriente e Occidente, Nord e Sud», conducted as part of the activities of the Italian Archaeological Mission in Hierapolis of Phrygia (Turkey). During the archaeological surveys in 2004-2007 satellite images with high geometric, radiometric and spectral resolutions, that constituted important tools for the research in the city and in its territory, were used because vertical aerial photos and recent detailed maps are not available. During the surveys some computer applications were also developed, such as a system which is able to facilitate and accelerate the task of positioning and managing the archaeological finds, using a palm-top computer or a Tablet PC integrated with a GPS antenna and a software for archaeological navigation and management of survey records called Ulixes, which is still in the prototype phase. The purpose of the system is to enable the users to navigate employing maps which they have chosen, or, as in the case of Hierapolis, using high resolution satellite images. In the event of an archaeological discovery, it is possible to memorise its position and metadata consisting of a record in which the geographical coordinates and a detailed description of the type of discovery are inserted.

Exemplificative of the applied methodologies is the study of the aqueducts which brought water to Hierapolis. During the surveys in the territory around the ancient city three main routes were identified, documented and positioned, from the north, north-east and east, which were 6.3 to 13.5 km long. They consisted of terracotta pipes, in some cases simply buried in the earth, in others laid in hollows carved out of the rock or carved stone supports, next to which there was also, in some cases, an open channel. These aqueducts, built in the Roman period and still in use in the proto-Byzantine age, brought drinking water from springs located immediately below the summit of a plateau to the north of the city. For the study, the reconstruction and the visualization of their routes, DEMs (particularly from Google Earth or based on SRTM data) were also used, on which high resolution satellite images and imported waypoints from the GPS receivers used in the field work were draped.