

LA PIATTAFORMA “MARMORA PHRYGIAE”.
OPEN DATA PER LA CONOSCENZA DELLE CAVE DI MARMO
DELLA FRIGIA MERIDIONALE E PER LO STUDIO
DEI CANTIERI ANTICHI DI HIERAPOLIS

1. INTRODUZIONE

Il progetto “Marmora Phrygiae” si inserisce in un filone di ricerca che riguarda lo studio dei cantieri di età imperiale dell’Italia e delle Province, basato su approcci multidisciplinari in grado di valorizzare le straordinarie potenzialità conoscitive dei monumenti architettonici per la ricostruzione non solo degli aspetti strettamente storico-artistici, ma anche delle dinamiche economiche e sociali connesse con la loro realizzazione (CAMPOREALE, DESSALES, PIZZO 2008, 2010, 2012; BONETTO, CAMPOREALE, PIZZO 2014).

In un panorama che vede lo stato della ricerca relativo alle Province Orientali ancora piuttosto frammentario, a fronte dell’eccezionale stato di conservazione delle evidenze archeologiche e della ricchezza degli antichi distretti estrattivi, il progetto “Marmora Phrygiae”, avviato nel novembre 2012, ha come obiettivi principali lo studio delle antiche cave di marmo e alabastro del territorio di Hierapolis e della Frigia meridionale (Provincia di Denizli, Turchia) e la ricostruzione delle strategie di approvvigionamento di materiali lapidei adottati da parte dei cantieri della città, con un ampio approccio diacronico, dall’epoca ellenistica a quella bizantina, coerentemente con le principali fasi di vita della città (SCARDOZZI c.s.; cfr. già SCARDOZZI 2010)¹.

Il contesto di studio, Hierapolis di Frigia, è stato scelto poiché offriva condizioni particolarmente favorevoli a questo tipo di ricerca: nell’area archeologica, infatti, oggetto di sistematiche indagini da parte della Missione Archeologica Italiana dal 1957, sono stati messi in luce grandi complessi monumentali (D’ANDRIA, CAGGIA 2007; D’ANDRIA, SCARDOZZI, SPANÒ 2008; D’ANDRIA, CAGGIA, ISMAELLI 2012; SCARDOZZI 2015), la quantità dei materiali architettonici conservati è notevole e il territorio circostante la città, ancora abbastanza ben conservato e oggetto di ricerche sistematiche volte alla ricostruzione della sua topografia antica (SCARDOZZI 2011, 2012a), si

¹ Il progetto “Marmora Phrygiae – Metodologie interdisciplinari per la conoscenza e la conservazione. Archeologia del costruito, informatica e scienze chimico-fisiche per la ricostruzione storica dei cantieri e dell’approvvigionamento dei materiali lapidei di una città romana e bizantina dell’Asia Minore, Hierapolis di Frigia”, coordinato da chi scrive, è finanziato dal Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca nell’ambito del bando FIRB 2012 – Programma “Futuro in Ricerca” e si concluderà a dicembre 2016. Un sentito ringraziamento va al prof. Francesco D’Andria, direttore della Missione Archeologica Italiana a Hierapolis di Frigia, che ha costantemente sostenuto il progetto e ha seguito lo svolgimento delle attività di ricerca suggerendo tematiche e linee di indagine.

caratterizza per la presenza di numerose cave antiche destinate all'estrazione di una grande varietà di materiali lapidei. Infatti, le peculiari caratteristiche geologiche del territorio di Hierapolis (ÖZKUL *et al.* 2013, 180-183; KORAY, KILINÇARSLAN 2015, 264-265; MARABINI, SCARDOZZI 2015, 257-268) sono all'origine della presenza di un ampio e importante distretto estrattivo, che rendeva disponibili, anche nell'area immediatamente circostante la città, marmo bianco e grigio, breccia policroma, travertino e alabastro calcareo.

Date queste premesse, il progetto "Marmora Phrygiae" ha quindi affrontato, con un approccio sistematico, alcune delle principali tematiche relative allo studio delle cave e dei cantieri antichi, integrando le competenze di esperti di differenti discipline: archeologia, topografia antica, storia dell'arte, architettura, geologia, geofisica, chimica, geochimica, biologia, telerilevamento, informatica, diritto romano. Nel progetto sono coinvolte quattro unità di ricerca, tre afferenti a Istituti del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali-IBAM; Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria-IGAG; Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali-ICVBC) e una appartenente all'Università del Salento (Dipartimento di Beni Culturali); con esse collabora inoltre l'Unitat d'Estudis Arqueomètrics dell'Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC, Tarragona)².

Accanto alle ricerche sul campo, svolte ogni anno in periodiche campagne in Turchia, nell'ambito della Missione Archeologica Italiana a Hierapolis, molte altre attività di indagine sono state condotte nei laboratori delle varie unità di ricerca coinvolte. La necessità di archiviare e integrare la grande quantità di dati raccolti ed elaborati nel corso delle attività di ricerca, estremamente eterogenei (dati archeologici, analisi archeometriche, informazioni geospaziali, etc.), ha portato alla realizzazione di una piattaforma online denominata "Marmora Phrygiae". Sviluppata dal CNR-IBAM e implementata da tutte le unità, essa è finalizzata allo scambio e all'integrazione dei dati; al termine delle attività del progetto, costituirà anche uno strumento per la pubblicazione e la diffusione dei dati raccolti e dei risultati conseguiti, andando ad arricchire il panorama degli open data archeologici e archeometrici.

2. IL PROGETTO "MARMORA PRYGIAE": DALLE ATTIVITÀ DI RICERCA ALL'INTEGRAZIONE DEI DATI E ALLA LORO PUBBLICAZIONE ONLINE

Uno degli obiettivi principali del progetto è consistito nella ricostruzione della topografia antica e delle strategie di sfruttamento del distretto estrattivo rientrante nel territorio di Hierapolis e nel versante meridionale del bacino di Denizli (l'antica valle del fiume Lykos, oggi denominato Çürüksu), con una

² Le attività di ricerca sono state coordinate da chi scrive e da Tommaso Ismaelli per il CNR-IBAM, da Mauro Brillì per il CNR-IGAG, da Emma Cantisani per il CNR-ICVBC, da Manuela De Giorgi per l'Università del Salento e da Pilar Lapuente Mercadal per l'ICAC.

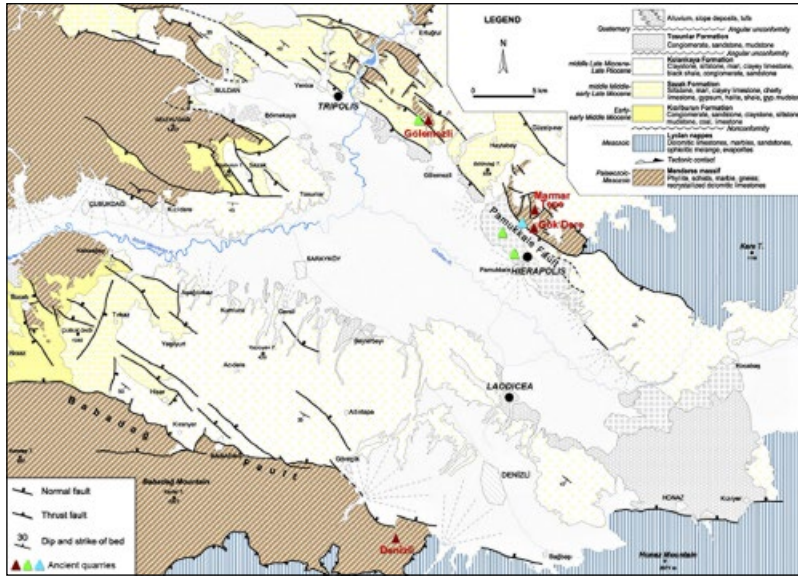


Fig. 1 – Carta geologica del bacino di Denizli (base da ALGIÇEK, VAROL, ÖZKUL 2007, fig. 2, con modifiche): sono localizzate le principali aree estrattive antiche di marmo (in bordeaux), alabastro (in verde) e breccia policroma (in ciano).

dettagliata caratterizzazione petrografica e isotopica delle cave di marmo e alabastro; ciò al fine di definire e documentare l'estensione delle aree di cava, le modalità di estrazione del materiale, i periodi di utilizzo in rapporto ai cantieri urbani e ai percorsi per il trasporto del materiale in città. Una specifica linea di ricerca riguarda inoltre lo studio del regime di proprietà e gestione delle cave. Si tratta, nel complesso, di cave che sono state in uso tra l'epoca ellenistica e quella proto-bizantina, rifornendo ampiamente tutti i cantieri di Hierapolis, che impiegavano solo eccezionalmente marmi importati³.

In particolare, le ricerche hanno interessato le cave di marmo del territorio di Hierapolis (Fig. 1), dove sono state individuate quattro principali aree

³ Cfr. ad es. il caso del Teatro, con l'utilizzo di marmo docimeno nella frontescena severiana menzionato anche dall'iscrizione di dedica incisa sulla trabeazione del primo ordine (RITTI 1985, 111-113; ATTANASIO, PENSABENE 2002; RITTI 2006, 119-124; 2007, 407, 412-413; PENSABENE 2010, 85; MASINO, SOBRÀ 2012, 217; SOBRÀ 2012, 188). Vanno poi ricordati i marmi colorati impiegati per i rivestimenti parietali e pavimentali, documentati per esempio nell'Agorà Nord (KADIOĞLU 2007) e soprattutto dal riutilizzo che ne viene fatto nei pavimenti in *opus sectile* di epoca bizantina delle Terme Chiesa (D'ANDRIA 2015), della Cattedrale (CIOTTA, PALMUCCI QUAGLINO 2002, 188-191), della Chiesa di San Filippo (D'ANDRIA 2011-2012, 20, 29, 34, 37, 40) e delle abitazioni dell'*Insula* 104 (COTTICA 2004; ZACCARIA RUGGIU 2007, 229-230, 233, 243-244, 246; ZACCARIA RUGGIU 2012, 427-428). Per la presenza di sarcofagi di produzione docimena e afrodisiense nelle necropoli hierapolitane cfr. inoltre FRATE 2006, 427-429 e 2007, 465-469.



Fig. 2 – Fronte di una cava di marmo posta lungo il torrente stagionale Gök Dere (A) ed esempio di trincea per l'estrazione selettiva dell'alabastro situata a N-O di Hierapolis (B).

estrattive con altrettante varietà di marmo bianco, bianco venato e grigio, due molto vicine alla città, Gök Dere e Marmar Tepe (Fig. 2, A), situate tra 1 e 3 km a N e N-E dell'area urbana, e due più distanti, situate rispettivamente 3,5 km a N-O del villaggio di Gölemezli (13 km a N-O di Hierapolis) e presso il villaggio di Gözler (20 km a N di Hierapolis), dove si trovano i resti dell'abitato antico di Thiounta, menzionato in varie iscrizioni di epoca imperiale (SCARDOZZI 2010, 351-366; 2012a, 117-125; 2012b; BRILLI *et al.* 2015). Sono state inoltre indagate le cave di alabastro calcareo vicine a Hierapolis (Fig. 2, B) e quelle poste a N-E del già ricordato villaggio di Gölemezli, da cui veniva estratta una pietra molto pregiata (nelle varietà listato, fiorito e ghiaccione), ampiamente utilizzata non solo a Hierapolis, ma anche esportata sia a livello provinciale che nel bacino del Mediterraneo (BRUNO 2002; SCARDOZZI 2012a, 120-121; MARABINI, SCARDOZZI 2015, 257-268; sulle caratteristiche e i processi di formazione di questi alabastri DE FILIPPIS *et al.* 2012 e MESCI *et al.* 2013). Le ricerche hanno poi interessato anche le cave di una breccia policroma a matrice rossastra, caratterizzata dalla presenza di grandi clasti grigi, giallo-ocra e bianchi provenienti dal basamento di rocce metamorfiche, tipica del territorio ierapolitano (sui processi di formazione cfr. HANCOCK, ALTUNEL 1997, 29-32; UYSAL *et al.* 2009a, 447 e 450 e 2009b) ed estratta subito a N della città (SCARDOZZI 2012a, 124-125), che trova largo impiego sia a Hierapolis stessa che nelle vicine Laodicea sul Lykos e Tripolis al Meandro.

L'altro obiettivo centrale del progetto ha riguardato lo studio e la ricostruzione dei principali complessi monumentali di Hierapolis caratterizzati da un largo impiego di marmo, per lo più inquadrabili tra la prima età imperiale e quella bizantina, ponendo particolare attenzione alla definizione delle provenienze dei materiali lapidei utilizzati (grazie alla loro caratterizzazione petrografica e geochimica) e allo studio dell'organizzazione dei grandi cantieri pubblici; nell'ambito di quest'ultima tematica, sono stati considerati gli aspetti progettuali e costruttivi, quelli giuridico-amministrativi e le scelte delle committenze, sia pubbliche (imperiali e municipali) che private (singoli evergeti, corporazioni di mestieri), senza trascurare inoltre la presenza di cantieri di demolizione e il fenomeno del riuso di materiali da costruzione.

Le ricerche hanno interessato, in particolare, i principali complessi monumentali di epoca romano-imperiale (alcuni dei quali sono caratterizzati da più fasi e rifacimenti tra l'età augustea e il IV sec. d.C.), non essendo disponibili, allo stato attuale delle ricerche, contesti di epoca ellenistica (Fig. 3)⁴; come caso esemplificativo dei cantieri di epoca bizantina, essenzialmente caratterizzati dal reimpiego di marmi recuperati da precedenti monumenti⁵, si è analizzato il complesso monumentale più ampio, costituito dal Santuario di San Filippo, con la Chiesa e il *Martyrion* dedicati all'Apostolo, situati sulla collina posta immediatamente a N-E dell'area urbana (D'ANDRIA 2011-2012).

Un'ulteriore linea di ricerca del progetto si è inoltre occupata dello studio archeometrico dei sarcofagi delle necropoli di Hierapolis e di alcuni esemplificativi monumenti funerari caratterizzati dall'impiego di marmi (come la cd. Tomba Bella), al fine di definire i materiali impiegati e le scelte delle committenze private tra l'epoca ellenistica e quella imperiale; in questo caso la ricerca si giova anche di un apparato epigrafico di II-III sec. d.C. piuttosto ricco, costituito da iscrizioni funerarie che ricordano l'impiego di marmi pregiati, come quello di Docimio (JUDEICH 1898, nn. 56, 158, 209, 213, 323, 335; D'ANDRIA 2003, 59-60; RITTI 2004, 469), cavato presso il moderno centro di Iscehisar, 20 km a N-E di Afyon, e quello di Thiounta (JUDEICH 1898, nn. 113, 178, 312, 339; D'ANDRIA 2003, 58; RITTI 2006, 56-62), proveniente, come si è visto, dall'estremità settentrionale del territorio ierapolitano.

⁴ Sono stati indagati il Teatro Nord, l'Agorà Nord (con le tre *stoai* che la circondano a N, O e S e la cd. *Stoà*-Basilica a E), il Ninfeo dei Tritoni, l'Agorà Civile (di cui sono conservati solo elementi dei portici N, E e S), il Santuario di Apollo (con i templi A, B e C, i portici che lo delimitavano a N, E e S, oltre al Ninfeo e al *Theatron* posti sul suo lato occidentale), il *Ploutonion*, la *Stoà* delle Sorgenti, la *Stoà* di Marmo, il Teatro al centro della città, il *Dodekatheon* (probabilmente ubicato a E di quest'ultimo monumento), il cd. *Bouleuterion*, il cd. *Macellum* e il portico meridionale del Ginnasio. In generale su questi monumenti cfr. SCARDOZZI 2015.

⁵ Per l'esempio delle mura proto-bizantine, che per finalità costruttive e tempi di realizzazione costituiscono comunque un caso particolare rispetto ad altri monumenti pubblici e privati dello stesso periodo, cfr. SCARDOZZI 2010, 366-374.

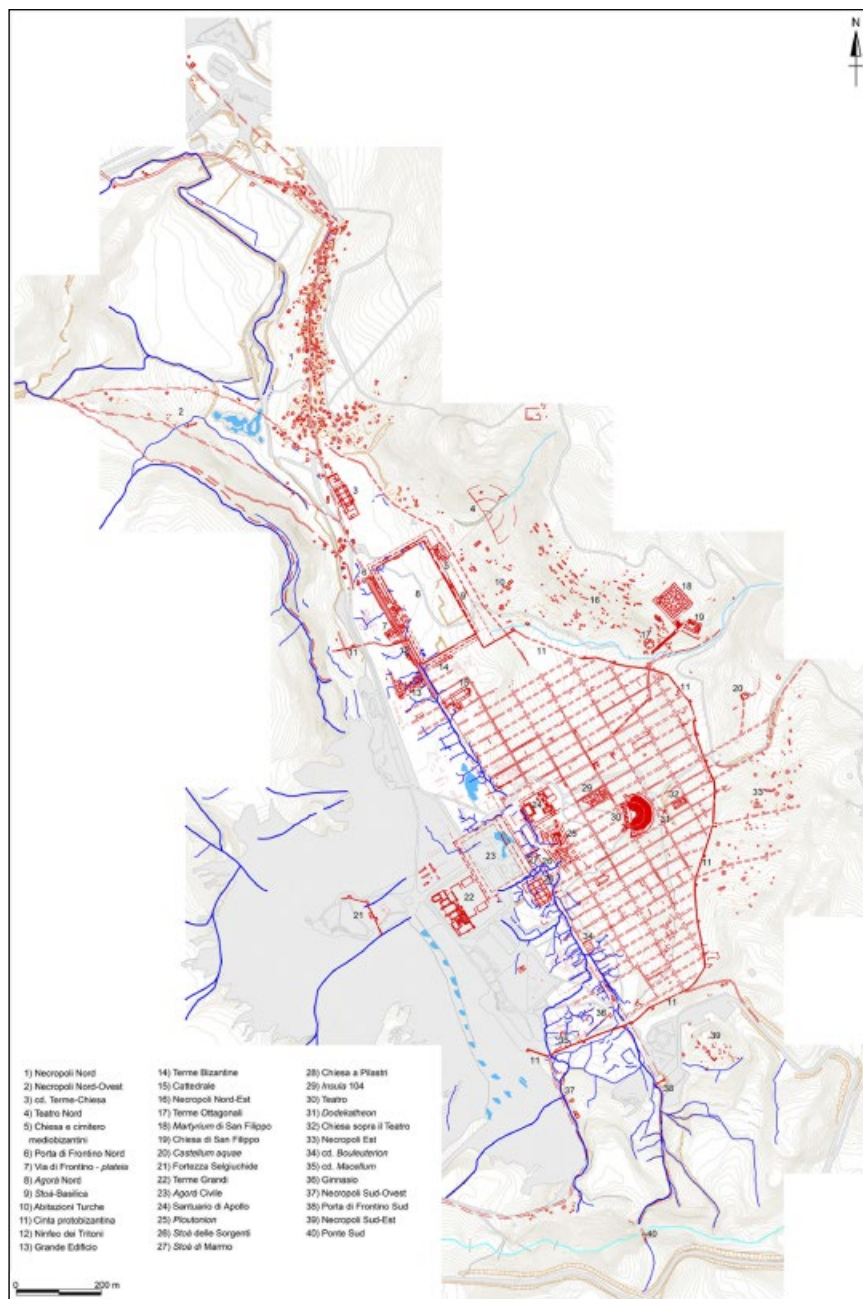


Fig. 3 – Carta archeologica di Hierapolis.

È importante evidenziare che rispetto agli studi precedenti sul tema dell’approvvigionamento di materiali lapidei a Hierapolis, limitati all’esame di pochi contesti ed essenzialmente focalizzati sulle importazioni di marmi pregiati (ATTANASIO, PENSABENE 2002; FRATE 2006, 2007), il progetto “Marmora Phrygiae” ha affrontato questo tema con un approccio sistematico, esaminando sia i materiali di estrazione locale, che quelli di importazione; inoltre, particolare attenzione è stata posta anche al fenomeno dell’espportazione di lapidei di pregio dal distretto estrattivo presente nel territorio ierapolitano, in particolare dell’alabastro calcareo, identificato con il “marmo di Hierapolis” che Strabone (IX, 5, 16) menziona tra i marmi colorati ampiamente importati a Roma dall’Asia Minore durante l’età augustea (BRUNO 2002, 23) e con il λίθος Ἱεραπολίτης che fu impiegato, secondo le fonti letterarie bizantine, per le scale che davano accesso all’ambone di Santa Sofia a Costantinopoli (PAOL. SIL., *Descriptio ambonis*, 76-104, 264-274; GNOLI 1988, 46-48, 223-224) e per i sarcofagi di Teodora (500-548 d.C.), moglie di Giustiniano, e della moglie dell’imperatore Anastasio II (che regnò tra il 713 e il 715 d.C.), entrambi un tempo collocati nella Chiesa dei Santi Apostoli sempre a Costantinopoli (CONST. PORPH., *De cerimoniis aulae Byzantinae*, 644, ll. 6, 22; GNOLI 1988, 46-48, 87-88; PENSABENE 2013, 394-397, per l’ipotesi che almeno nella prima età imperiale le cave dell’alabastro di Hierapolis fossero di proprietà imperiale).

Al fine di definire la caratterizzazione minero-petrografica e geochimica dei marmi bianchi e degli alabastri estratti nelle cave del territorio di Hierapolis e impiegati nei monumenti dell’area urbana e delle necropoli, è stato condotto un sistematico ed esteso campionamento, con georeferenziazione dei campioni prelevati mediante un sistema GPS differenziale di alta precisione. La caratterizzazione dei materiali lapidei al fine di determinarne la provenienza ha riguardato essenzialmente i marmi bianchi (comprendendo tra essi anche i bianchi venati e i grigi), per i quali non è sufficiente l’esame autoptico. Essi costituiscono a Hierapolis la tipologia di gran lunga più attestata, mentre per le pietre colorate si faceva largamente ricorso all’alabastro fiorito e listato, oltre che alla breccia policroma, disponibili *in loco*; molto scarsi sono invece i rinvenimenti di altri marmi colorati, limitati a poche lastre di rivestimento parietale e ad alcuni pavimenti in *opus sectile*, questi ultimi in chiese ed edifici privati di epoca bizantina (cfr. *supra*).

Con lo scopo di arricchire ulteriormente il database di riferimento per la determinazione delle provenienze dei marmi bianchi, il campionamento è stato inoltre esteso anche alle cave di Denizli, riferibili al territorio della vicina Laodicea e ubicate sul versante meridionale della valle dell’antico fiume Lykos (attuale bacino di Denizli), circa 25 km a S-O di Hierapolis (BRILLI *et al.* 2015, 129-130, 137-140, tavv. 2-3), e a quelle cd. “urbane” di Afrodizia, alle pendici meridionali del Babadağ (BRILLI *et al.* 2015, 129-130, 138-140, tavv. 2-3), oltre che a quelle più orientali di questo stesso distretto marmorifero, situate

in località Çamova e di fatto riferibili al territorio di Herakleia Salbake; ciò in funzione della possibilità che questi marmi potessero essere stati impiegati anche a Hierapolis (per quello di Denizli: SOBÀ 2012, 188; per quello di Afrodizia: ATTANASIO, PENSABENE 2002, 84; FRATE 2006, 425-429; FRATE 2007, 465), arricchendo così i dati archeometrici su tali cave già esistenti in letteratura (per le cave di Denizli: ATTANASIO, BRILLI, OGLE 2006, 169-176, e KORALAY, KILINÇARSLAN 2015, 270-283; per le cave di Afrodizia: ATTANASIO, BRILLI, OGLE 2006, 162-169, e LONG 2012).

I campioni prelevati sono prevalentemente di marmo (complessivamente circa 220 da cave e 340 da manufatti archeologici; i campioni di alabastro sono solo circa 40 tra cave e manufatti archeologici) e sono stati caratterizzati mediante analisi petrografiche e isotopiche, condotte rispettivamente nel Laboratorio di Microscopia Ottica ed Elettronica della sede di Lecce del CNR-IBAM e nel Laboratorio di Spettrometria di Massa della sede di Roma del CNR-IGAG, oltre che attraverso analisi in catodoluminescenza realizzate presso l'Unitat d'Estudis Arqueomètrics dell'ICAC di Tarragona. Si è così costituito un ricco database (BRILLI *et al.* 2015) che incrementa notevolmente quanto già noto per le cave del territorio di Hierapolis (ATTANASIO, BRILLI, OGLE 2006, 177-183) e per i manufatti della città e delle necropoli (ATTANASIO, PENSABENE 2002), che risultava limitato a un numero davvero esiguo di campioni, insufficiente, pertanto, a caratterizzare dettagliatamente le aree di estrazione e ancor meno a definire le dinamiche connesse all'approvvigionamento di materiali lapidei per i cantieri ierapolitani.

Un altro specifico filone di ricerca nell'ambito del progetto "Marmora Phrygiae" ha poi riguardato gli studi di diagnostica per la conservazione di marmi e alabastri nello specifico contesto idrogeologico e tettonico di Hierapolis; le peculiari caratteristiche del sito in cui sorge la città, costruita in corrispondenza di una faglia sismica attiva (MARABINI 2015; MARABINI, SCARDOZZI 2015, 232-238; SCARDOZZI 2015, 207-226), producono infatti fenomeni fortemente dannosi per la conservazione dei materiali lapidei, con la fuoriuscita dal sottosuolo di acque calcaree che inglobano i resti antichi in spesse concrezioni e l'emissione di emanazioni gassose con alte concentrazioni di anidride carbonica. Ai fenomeni naturali si aggiungono poi gli effetti spesso dannosi legati all'afflusso di centinaia di migliaia di turisti che ogni anno visitano l'area archeologica.

Per tali motivi, i ricercatori del CNR-ICVBC di Firenze si sono occupati dello studio dei meccanismi chimico-fisici responsabili delle fenomenologie di degrado, anche al fine di mettere a punto protocolli per il restauro conservativo. In quest'ottica, sono stati condotti estesi campionamenti volti allo studio dello stato di conservazione dei materiali architettonici di alcuni complessi monumentali che sorgono in corrispondenza delle principali fessurazioni prodotte dalla faglia sismica (Santuario di Apollo, *Ploutonion*, *Stoà delle Sorgenti*, cd. *Bouleuterion*), o che sono stati inglobati dalle formazioni di calcare e scavati negli ultimi anni

con l’ausilio di martelli pneumatici (*Stoà* di Marmo e Ginnasio), oppure i cui resti sono parzialmente immersi in specchi lacustri prodotti dall’acqua termale che è risalita dalle spaccature del sottosuolo (*Agorà* Civile) e che oggi sono aggrediti dai flussi turistici⁶; altri campioni sono stati inoltre prelevati, con le medesime finalità, da monumenti più distanti dalla faglia sismica (come l’*Agorà* Nord, il *Dodekatheon* e la Chiesa di San Filippo).

Al fine di gestire la grande quantità di dati eterogenei, sia archeologici che archeometrici, raccolti ed elaborati nel corso delle attività di ricerca del progetto, il Laboratorio di Topografia Antica, Archeologia e Telerilevamento del CNR-IBAM ha sviluppato e implementato la piattaforma online “Marmora Phrygiae”. Essa costituisce, da un lato, un repository in cui archiviare e integrare tra loro, da più sedi di lavoro (Lecce, Roma, Firenze e Tarragona), informazioni georeferenziate relative ai contesti indagati, ai manufatti studiati e alle analisi che su di essi sono state condotte; dall’altro lato, la piattaforma rappresenta anche uno strumento per rendere, alla fine del progetto, questi dati fruibili e accessibili gratuitamente attraverso il web. Si tratta pertanto di una piattaforma che permette alle unità di ricerca di condividere i risultati delle proprie attività svolte sia sul campo che in laboratorio e, al contempo, uno strumento conoscitivo delle caratteristiche archeologiche e archeometriche delle cave e dei cantieri di Hierapolis di Frigia; nell’ottica dell’open data, queste informazioni sono quindi rese accessibili alla comunità scientifica direttamente interessata a questo specifico contesto e agli studiosi che potranno utilizzare i risultati delle ricerche del progetto “Marmora Phrygiae” nell’ambito dei propri siti di indagine o delle proprie tematiche di studio.

3. LA PIATTAFORMA “MARMORA PHRYGIAE”: CARATTERISTICHE GENERALI

La piattaforma “Marmora Phrygiae” si compone di un geodatabase capace di gestire simultaneamente i dati cartografici e quelli alfanumerici relativi alle ricerche condotte nel territorio di Hierapolis e, più in generale, nel bacino di Denizli (Fig. 4). I primi sono costituiti dalle immagini satellitari ad alta risoluzione disponibili attraverso il Web Map Service di Google Earth (per i distretti estrattivi di Hierapolis-Gök Dere e Marmar Tepe, Gölemezli, Thiounta, Denizli, Afrodisia e Herakleia Salbake), dalla cartografia ufficiale della Repubblica di Turchia in scala 1:25.000 (per il territorio di Hierapolis, comprendente anche i distretti di Gölemezli e Thiounta), da un’orto-immagine

⁶ L’elevata presenza di turisti determina il degrado e l’alterazione delle superfici dei manufatti antichi sia con azioni meccaniche sia con l’effetto di prodotti (come le creme solari) che vengono lasciate su di essi. Va inoltre ricordato che il CNR-ICVBC ha anche condotto analisi dei gas disciolti nelle acque termali, misurazioni delle anomalie termiche e attività di monitoraggio dei parametri ambientali e delle superfici; si è altresì occupato della caratterizzazione archeometrica di intonaci e malte, oltre che dello studio delle tracce di colore sulle decorazioni scultoree.

satellitare QuickBird-2 acquisita nel 2002 (per le cave più vicine a Hierapolis) e dalla cartografia archeologica digitale della città e delle necropoli. Si tratta pertanto di “basi cartografiche” multiscala, che consentono differenti tipologie di analisi, da quelle generali a quelle estremamente dettagliate; inoltre, i primi tre layer sono raster, mentre l'ultimo è vettoriale.

I dati alfanumerici, implementati dalle varie unità di ricerca attraverso una web application, sono strutturati all'interno di un database relazionale open-source e organizzati in tre livelli corrispondenti ad altrettante schede, denominate “Contesto”, “Oggetto” e “Campione”⁷. La prima (Fig. 5) si riferisce ai contesti indagati, siano essi cave di materiali lapidei oppure monumenti della città e delle necropoli, di ognuno dei quali è fornita un'accurata descrizione. Particolare attenzione viene posta all'estensione dei contesti e ai volumi di materiale lapideo estratto, nel caso delle cave, o messo in opera, nel caso dei complessi monumentali, distinguendone le differenti tipologie (marmo, alabastro e breccia) e varietà (in particolare nel caso del marmo e dell'alabastro); questi dati sono infatti fondamentali per valutare, da un lato, l'ampiezza e l'importanza delle cave (per le quali viene anche registrata la presenza e l'entità dei detriti di estrazione e prima lavorazione) e, dall'altro, la grandezza dei complessi monumentali, nonché le strategie di approvvigionamento dei materiali lapidei e le scelte operate nei cantieri costruttivi.

Relativamente a quest'ultima tematica, è importante sottolineare che nell'ambito del progetto “Marmora Phrygiae” si è posta particolare attenzione alla ricostruzione dell'articolazione planimetrica dei contesti monumentali indagati, integrando i dati provenienti dagli scavi archeologici con quelli acquisiti mediante tecniche di indagine non invasive, come il telerilevamento da piattaforma aerea e satellitare e soprattutto l'impiego di diverse tecniche di prospezione geofisica (georadar, geomagnetica, geoelettrica) finalizzato all'individuazione di strutture antiche sepolte (come nel caso dell'*Agorà* Civile, del Ginnasio e del Santuario di Apollo, dove settori anche piuttosto ampi dei monumenti sono coperti da depositi di calcare e potenti strati di interro)⁸; inoltre, nei casi in cui la documentazione archeologica lo ha consentito, si è proceduto alla ricostruzione degli alzati degli edifici attraverso il rilievo e lo studio accurato degli elementi architettonici conservati, utilizzando anche le moderne tecniche digitali per la ricostruzione virtuale, concepita come strumento conoscitivo per una migliore comprensione dei monumenti, come la definizione dei prospetti e dei sistemi di copertura (LIMONCELLI, SCARDOZZI 2013).

⁷ Alla definizione dei campi delle tre schede hanno collaborato M. Brilli (CNR-IGAG), E. Cantisani (CNR-ICVBC), T. Ismaelli e G. Quarta (CNR-IBAM).

⁸ Le prospezioni geofisiche, realizzate dal Laboratorio di Geofisica per l'Archeologia e per i Beni Architettonici del CNR-IBAM (G. Leucci), sono state anche finalizzate alla caratterizzazione del contesto tettonico delle due principali aree sacre di epoca imperiale (il Santuario di Apollo e il *Ploutonion*), che sono costruite in corrispondenza della faglia sismica di Hierapolis.

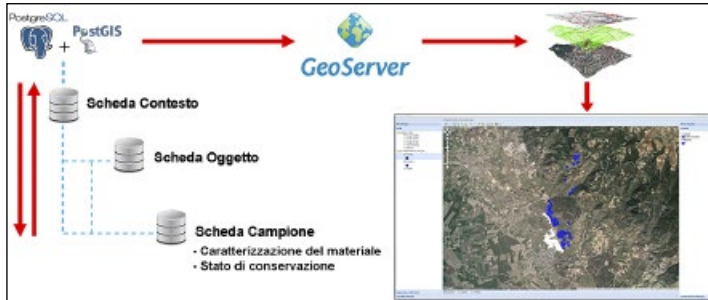


Fig. 4 – Schema della piattaforma “Marmora Phrygiae”: il geodatabase in PostgreSQL/PostGIS trasferisce i dati cartografici e alfanumerici a GeoServer, che li elabora e li trasforma in mappe dinamiche, pubblicandoli sul web; le schede possono essere navigate in modo bidirezionale.

| ID | Nome | Oggetto | Posizione nel contesto |
|---------|-------------|---------|------------------------|
| 101_01 | colonna | | colonna alta |
| 101_02 | colonna | | colonna alta |
| 101_03 | regolamento | | colonna alta |
| 101_04 | colonna | | colonna alta |
| 101_05 | colonna | | colonna alta |
| 101_06 | colonna | | colonna alta |
| 101_07 | colonna | | colonna alta |
| 101_08 | colonna | | colonna alta |
| 101_09 | colonna | | colonna alta |
| 101_10 | colonna | | colonna alta |
| 101_11 | colonna | | colonna alta |
| 101_12 | colonna | | colonna alta |
| 101_13 | colonna | | colonna alta |
| 101_14 | colonna | | colonna alta |
| 101_15 | colonna | | colonna alta |
| 101_16 | colonna | | colonna alta |
| 101_17 | colonna | | colonna alta |
| 101_18 | colonna | | colonna alta |
| 101_19 | colonna | | colonna alta |
| 101_20 | colonna | | colonna alta |
| 101_21 | colonna | | colonna alta |
| 101_22 | colonna | | colonna alta |
| 101_23 | colonna | | colonna alta |
| 101_24 | colonna | | colonna alta |
| 101_25 | colonna | | colonna alta |
| 101_26 | colonna | | colonna alta |
| 101_27 | colonna | | colonna alta |
| 101_28 | colonna | | colonna alta |
| 101_29 | colonna | | colonna alta |
| 101_30 | colonna | | colonna alta |
| 101_31 | colonna | | colonna alta |
| 101_32 | colonna | | colonna alta |
| 101_33 | colonna | | colonna alta |
| 101_34 | colonna | | colonna alta |
| 101_35 | colonna | | colonna alta |
| 101_36 | colonna | | colonna alta |
| 101_37 | colonna | | colonna alta |
| 101_38 | colonna | | colonna alta |
| 101_39 | colonna | | colonna alta |
| 101_40 | colonna | | colonna alta |
| 101_41 | colonna | | colonna alta |
| 101_42 | colonna | | colonna alta |
| 101_43 | colonna | | colonna alta |
| 101_44 | colonna | | colonna alta |
| 101_45 | colonna | | colonna alta |
| 101_46 | colonna | | colonna alta |
| 101_47 | colonna | | colonna alta |
| 101_48 | colonna | | colonna alta |
| 101_49 | colonna | | colonna alta |
| 101_50 | colonna | | colonna alta |
| 101_51 | colonna | | colonna alta |
| 101_52 | colonna | | colonna alta |
| 101_53 | colonna | | colonna alta |
| 101_54 | colonna | | colonna alta |
| 101_55 | colonna | | colonna alta |
| 101_56 | colonna | | colonna alta |
| 101_57 | colonna | | colonna alta |
| 101_58 | colonna | | colonna alta |
| 101_59 | colonna | | colonna alta |
| 101_60 | colonna | | colonna alta |
| 101_61 | colonna | | colonna alta |
| 101_62 | colonna | | colonna alta |
| 101_63 | colonna | | colonna alta |
| 101_64 | colonna | | colonna alta |
| 101_65 | colonna | | colonna alta |
| 101_66 | colonna | | colonna alta |
| 101_67 | colonna | | colonna alta |
| 101_68 | colonna | | colonna alta |
| 101_69 | colonna | | colonna alta |
| 101_70 | colonna | | colonna alta |
| 101_71 | colonna | | colonna alta |
| 101_72 | colonna | | colonna alta |
| 101_73 | colonna | | colonna alta |
| 101_74 | colonna | | colonna alta |
| 101_75 | colonna | | colonna alta |
| 101_76 | colonna | | colonna alta |
| 101_77 | colonna | | colonna alta |
| 101_78 | colonna | | colonna alta |
| 101_79 | colonna | | colonna alta |
| 101_80 | colonna | | colonna alta |
| 101_81 | colonna | | colonna alta |
| 101_82 | colonna | | colonna alta |
| 101_83 | colonna | | colonna alta |
| 101_84 | colonna | | colonna alta |
| 101_85 | colonna | | colonna alta |
| 101_86 | colonna | | colonna alta |
| 101_87 | colonna | | colonna alta |
| 101_88 | colonna | | colonna alta |
| 101_89 | colonna | | colonna alta |
| 101_90 | colonna | | colonna alta |
| 101_91 | colonna | | colonna alta |
| 101_92 | colonna | | colonna alta |
| 101_93 | colonna | | colonna alta |
| 101_94 | colonna | | colonna alta |
| 101_95 | colonna | | colonna alta |
| 101_96 | colonna | | colonna alta |
| 101_97 | colonna | | colonna alta |
| 101_98 | colonna | | colonna alta |
| 101_99 | colonna | | colonna alta |
| 101_100 | colonna | | colonna alta |

Fig. 5 – Un esempio di Scheda Contesto, visualizzata attraverso Manydesigns Portofino; a destra, gli elenchi delle Schede Oggetto e delle Schede Campione collegate e un’immagine del monumento.

Infatti, soltanto giungendo a ricostruzioni il più possibile complete dei monumenti (e quindi dei volumi di materiali impiegati) è possibile affrontare correttamente tematiche legate per esempio ai tempi e ai costi di esecuzione; inoltre, solo un attento esame degli elementi costruttivi permette di approfondire specifici temi di ricerca come le tecniche di lavorazione dei materiali

caratterizzano il territorio immediatamente a O e N-O della città), di materiali semilavorati e di strade di lizza ancora riconoscibili. Per cave e cantieri viene inoltre sinteticamente registrato anche lo stato di conservazione, un aspetto particolarmente importante soprattutto per le prime, vista la progressiva distruzione di molte aree estrattive avvenuta negli ultimi decenni a seguito della ripresa delle attività.

La Scheda Oggetto (Fig. 6) riguarda i “manufatti” che, all’interno dei contesti di indagine, sono stati oggetto di campionamento ai fini della caratterizzazione dei marmi e la determinazione delle provenienze. Nell’ambito delle cave sono stati considerati i fronti antichi conservati *in situ* o rinvenuti in frammenti tra i detriti di aree in cui è ripresa l’attività estrattiva, oltre ai materiali semilavorati abbandonati; per quanto riguarda i complessi monumentali, invece, i manufatti considerati corrispondono a tutte le tipologie di elementi architettonici e costruttivi (considerando tutto lo sviluppo degli alzati, da basamenti e stilobati a cornici e coronamenti), oltre che a statue, rilievi scultorei, sarcofagi e stele. La scheda contiene informazioni sulla cronologia, la posizione e funzione nel contesto (sia in quello originario che, eventualmente, in quello di riutilizzo), un’accurata descrizione che tiene in considerazione anche la tipologia del materiale e la sua provenienza, nonché lo stato di conservazione, con una sintesi dei risultati delle analisi archeometriche contenute nella Scheda Campione.

Quest’ultima scheda presenta infine una dettagliata descrizione dei risultati delle analisi condotte sui singoli campioni prelevati dai manufatti in marmo e in alabastro, sia in cava che in città e nelle necropoli. Nel corso delle attività di progetto essa è stata suddivisa in due record: uno (Scheda Campione- Caratterizzazione del materiale, Fig. 7) contiene i risultati delle analisi condotte per determinare le caratteristiche e la provenienza dei materiali (analisi minero-petrografiche, isotopiche, in catodoluminescenza e, in alcuni casi, anche dello spettro EPR)⁹; l’altro (Scheda Campione-Stato di conservazione, Fig. 8) presenta invece i risultati delle analisi condotte per definire lo stato di conservazione degli oggetti campionati (diffrattometria a raggi X-XRD; spettrometria in infrarosso in trasformata di Fourier-FTIR; spettrofotometria XRF; microscopia a scansione elettronica e microanalisi ai raggi X a dispersione di energia-SEM EDS).

L’insieme delle Schede Campione- Caratterizzazione del materiale costituisce di fatto il database di riferimento che è stato utilizzato per la determinazione delle provenienze dei marmi campionati nei principali cantieri dell’area urbana

⁹ Per una selezione di campioni in marmo, sia di cava che da manufatti archeologici, è stata prevista la realizzazione di analisi dello spettro EPR da parte dell’équipe di ricerca di Yannis Maniatis, nell’ambito del Laboratory of Archaeometry del Department of Materials Science del National Centre for Scientific Research (NCSR) “Demokritos” con sede ad Aghia Paraskevi (Atene); per motivi tecnici, queste analisi verranno ultimate dopo la conclusione del progetto e successivamente implementate nella piattaforma.

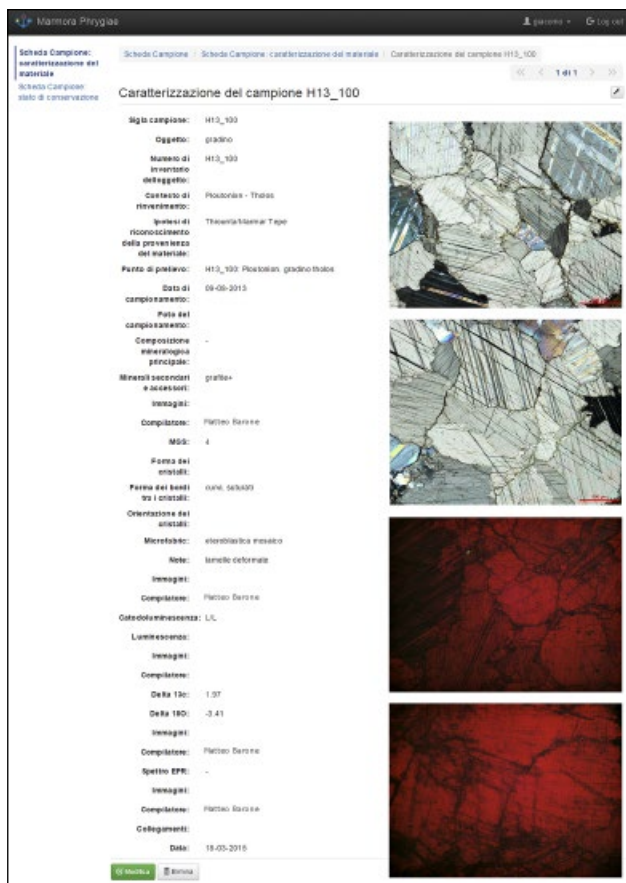


Fig. 7 – Un esempio di Scheda Campione-Caratterizzazione del materiale: a destra, dall'alto, due foto della sezione sottile e due immagini della stessa in catodoluminescenza.

di Hierapolis e nelle necropoli circostanti la città, integrato con i dati già noti in letteratura per le principali cave di marmo bianco della Turchia sud-occidentale, che, oltre ai già ricordati distretti di Denizli e Afrodisia, comprendono anche quelli di Docimio-Ischisar, Altıntaş, Göktepe, Efeso e Mileto (ATTANASIO, BRILLI, OGLE 2006, 151-162, 185-197; ATTANASIO, BRUNO, YAVUZ 2009; YAVUZ, BRUNO, ATTANASIO 2011; ATTANASIO *et al.* 2012, 2015).

Nelle schede i dati sono archiviati in maniera strutturata, al fine di ottimizzare il recupero delle informazioni in modo veloce ed efficiente attraverso il web (cfr. *infra* § 4, 5 e 6); infatti, nello stesso record del database sono archiviati sia i dati descrittivi che le informazioni geospaziali, che legano in un link solido

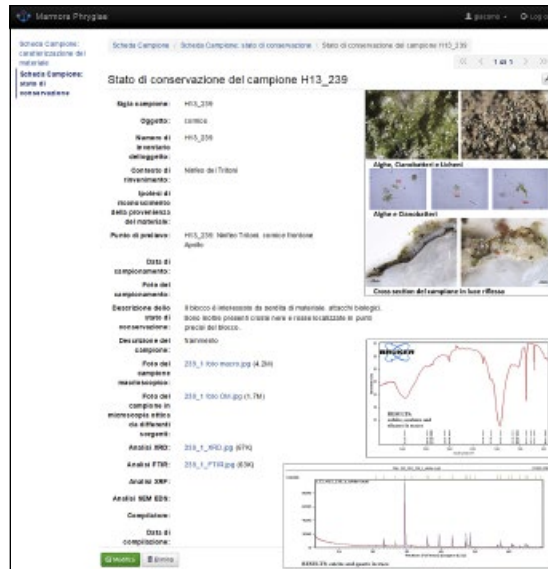


Fig. 8 – Un esempio di Scheda Campione-Stato di conservazione: a destra, dall’alto, i risultati delle analisi in microscopia ottica, della spettrometria in infrarosso in trasformata di Fourier (FTIR) e della diffrattometria a raggi X (XRD).

l’entità al territorio. La consultazione della piattaforma può così avvenire sia attraverso ricerche testuali nella componente alfanumerica del geodatabase (con la possibilità di integrare le ricerche nei tre livelli “contesto-oggetto-campione”), sia mediante query eseguite dinamicamente a partire dalle basi cartografiche.

G.S.

4. IL MODELLO CONCETTUALE DEL GEODATABASE DELLA PIATTAFORMA “MARMORA PHRYGIAE”

Come è noto, i database, in quanto rappresentazione informatica di una parte definita della realtà, per funzionare correttamente devono essere progettati attraverso l’elaborazione di un modello concettuale capace di evidenziare le esigenze che il sistema deve soddisfare. Nel caso del progetto “Marmora Phrygiae” è stato necessario realizzare un sistema che, attraverso una struttura il più possibile semplificata, fosse in grado di gestire sia informazioni relative a evidenze archeologiche complesse ed eterogenee, sia i risultati delle analisi scientifiche condotte sui campioni lapidei provenienti da cave e manufatti antichi; inoltre, questo sistema doveva anche supportare informazioni geospaziali riferite ai contesti di studio, agli oggetti esaminati e ai campioni analizzati.

Si è quindi dovuto normalizzare il complesso polimorfico della realtà analizzata, definendo sin da subito quali fossero le informazioni da archiviare e in che modo andassero strutturate e, contemporaneamente, è stato necessario fare in modo che tutto il sistema fosse accessibile da remoto, poiché il progetto ha coinvolto diverse équipes, italiane e straniere, che hanno lavorato in stretta collaborazione pur essendo dislocate in diversi Enti di Ricerca. Da ultimo, l'intero sistema doveva essere realizzato sfruttando al massimo le tecnologie open-source, al fine di abbattere i costi e consentire il più possibile di avere un sistema facilmente riutilizzabile e integrabile in altri database per la gestione di informazioni relative a dati archeologici e archeometrici.

Il geodatabase "Marmora Phrygiae", come si è visto, è un archivio condiviso di informazioni geografiche e alfanumeriche relative a contesti (cave e cantieri antichi), ad oggetti nel senso più ampio del termine (fronti di cava, manufatti non finiti, elementi architettonici e costruttivi, statue, sarcofagi, etc.) e a risultati di analisi di laboratorio condotte su campioni provenienti dagli oggetti presenti all'interno dei contesti. Lo stesso, pertanto, riassume e indicizza armonicamente i risultati delle indagini condotte sul campo e delle analisi di laboratorio svolte in tempi diversi, con differenti tecniche e metodologie, dai gruppi multidisciplinari di ricercatori coinvolti nel progetto.

Il modello concettuale che si è strutturato rispecchia in pieno il paradigma "contesto-oggetto-campione", che ha dato luogo alla creazione di tre tabelle principali: la Scheda Contesto (SCo), la Scheda Oggetto (SOg) e la Scheda Campione (SCa), che comprende sia la "sotto-tabella" relativa alla caratterizzazione del materiale sia quella inerente lo stato di conservazione. Nelle SCo sono quindi contenuti tutti i dati relativi ai contesti in cui si trovano gli oggetti descritti nelle SOg, da cui sono stati prelevati i campioni analizzati che sono documentati nelle SCa. Pertanto, ogni oggetto descritto nella SOg appartiene al dominio della SCo, che quindi contiene la SOg stessa; ugualmente, la SCa, che gestisce i risultati delle analisi scientifiche condotte in laboratorio su ogni campione prelevato dagli oggetti, appartiene al dominio della SOg.

Questo modello "a matrioska" crea quindi un legame biunivoco tra le tipologie eterogenee di elementi presi in esame e consente l'interrogazione bidirezionale del geodatabase, con la possibilità di passare sempre alla scheda immediatamente superiore o inferiore nel già citato paradigma "contesto-oggetto-campione".

5. L'ARCHITETTURA HARDWARE E SOFTWARE DELLA PIATTAFORMA "MARMORA PHRYGIAE"

Al fine di gestire i dati archeologici, archeometrici e geografici, per la piattaforma "Marmora Phrygiae" si è optato per l'utilizzo del RDBMS PostgreSQL con estensione PostGIS, sulla base delle esperienze già maturate dal

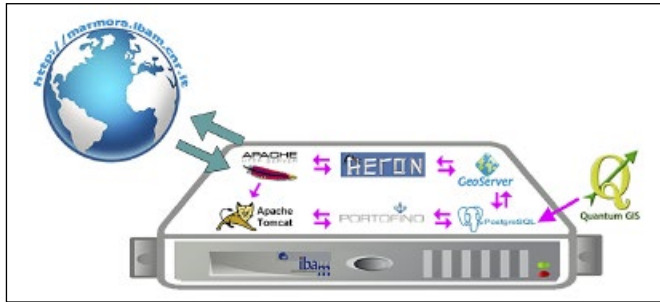


Fig. 9 – Interrogazione della piattaforma “Marmora Phrygiae”: la richiesta proveniente dal web viene interpretata da Apache Server, che la inoltra all’interfaccia per la gestione del database (Apache Tomcat, Portofino) oppure al webGIS; dopo l’elaborazione della risposta, il sistema la invia nuovamente all’utente. QGIS offre la possibilità di inserire i dati nel database attraverso un collegamento diretto.

Laboratorio di Topografia Antica, Archeologia e Telerilevamento della sede di Lecce CNR-IBAM (DI GIACOMO, SCARDOZZI 2014, 2015), che ha messo a disposizione l’intera infrastruttura hardware necessaria a questo lavoro (Fig. 9); tale struttura consiste in un armadio rack all’interno del quale è ospitato un server dedicato con sistema operativo Microsoft Windows Server 2012 R2 x64, unico software acquisito con licenza proprietaria per esigenze informatiche legate alla struttura ospitante. Su questa piattaforma hardware sono stati installati, oltre al server database già citato, il server web Apache¹⁰ e l’application server Apache Tomcat¹¹: il primo è necessario a ospitare la landing page (scritta in HTML5) di accesso alla piattaforma online, il secondo a supportare il sistema CRUD (Create, Read, Update and Delete) funzionale all’inserimento e alla gestione dei dati nel database attraverso il web. Il CRUD funziona da interfaccia tra l’utente (o i gruppi di utenti) e le risorse del sistema informatico. Si è installato anche il server geospaziale GeoServer¹² (IACOVELLA 2014), utile alla rappresentazione delle informazioni spaziali e alla gestione del data sharing attraverso il Web Map Service (WMS; DE LA BEAUJARDIÈRE, DOYLE 2002; DE LA BEAUJARDIÈRE 2006).

¹⁰ Apache HTTP Server (<https://httpd.apache.org/>) è la piattaforma Server Web più utilizzata al mondo, in grado di essere installata su tutti i più diffusi sistemi operativi; si caratterizza per la sua semplicità di implementazione e configurazione, oltre che per l’alta modularità.

¹¹ Apache Tomcat (<http://tomcat.apache.org/>) è un contenitore servlet open-source sviluppato dalla Apache Software Foundation. Implementa le specifiche JavaServer Pages e Servlet di Sun Microsystems, fornendo quindi una piattaforma software per l’esecuzione di applicazioni web sviluppate in linguaggio Java.

¹² La versione utilizzata per questo progetto è la 2.7-Snapshot, installata a partire dal pacchetto precompilato rilasciato da Boundless Spatial (<http://boundlessgeo.com/products/opengeo-suite/geoserver/>).

Una volta strutturato il database PostgreSQL/PostGIS, sono state implementate le tre tabelle principali (SCo, SOg, SCa), nonché una serie di tabelle a esse relazionate attraverso chiavi esterne, funzionali a definire i vocabolari da utilizzare nei menu a tendina delle schede principali. I campi delle SCo, SOg e SCa, che nella struttura del database corrispondono alle colonne di ogni singola tabella, sono stati concordati e definiti insieme alle diverse équipe coinvolte nel progetto, in modo da normalizzare e ottimizzare la struttura e, di conseguenza, i dati. Nello specifico, la SCo (Fig. 5) espone una chiave primaria (ID) che identifica univocamente ogni singolo contesto e presenta una serie di campi utili a descriverlo in maniera esaustiva; tra questi, il più importante dal punto di vista informatico è “Nome contesto”, che è collegato con il campo “Contesto di rinvenimento” della SOg; attraverso questa relazione, dalla SCo è possibile risalire a tutte le SOg collegate in maniera biunivoca.

La SOg (Fig. 6), che contiene le informazioni relative ai manufatti (nel senso più ampio del termine) da cui sono stati prelevati i campioni delle SCa, espone una chiave primaria (ID) utile all’indicizzazione e un campo relativo al “Numero di inventario dell’oggetto” preso in esame. Quest’ultimo è un codice univoco che nel database corrisponde a un campo con duplicati non ammessi; nell’ambito del progetto “Marmora Phrigiae”, tale codice è stato assegnato a ogni oggetto e costituisce il campo attraverso il quale avviene il collegamento biunivoco verso la SCa, che a sua volta contiene un omonimo campo “Numero di inventario dell’oggetto”, riferito al manufatto da cui è stato prelevato il campione. Dunque, con questo sistema si hanno n campioni collegati a un solo oggetto e n oggetti collegati a un solo contesto.

La SCa (Figg. 7-8) risulta essere la più complessa delle tre, in quanto contiene i risultati delle analisi per la caratterizzazione dei materiali per la determinazione delle provenienze e quelli per le analisi volte a definire lo stato di conservazione dell’oggetto da cui il campione è stato prelevato. Ogni SCa ha un campo con un numero seriale per l’identificazione univoca (ID) e si collega alla scheda di livello immediatamente superiore (SOg) attraverso il campo “Numero di inventario dell’oggetto”. Questa soluzione dà luogo a una relazione “uno-a-molti”, per cui a una SOg possono riferirsi n SCa. Inoltre, per ogni tupla delle tre tabelle SCo, SOg e SCa è stato generato un campo geometria, all’interno del quale sono memorizzate le informazioni geografiche relative alla localizzazione dei contesti (per i quali è spesso registrata anche la forma), degli oggetti e dei campioni. I dati spaziali sono stati acquisiti mediante rilievi di dettaglio eseguiti con un sistema GPS differenziale di alta precisione. I contesti sono stati archiviati nel geodatabase come entità di tipo puntuale, lineare e areale, mentre gli oggetti e i campioni solo come entità puntuali.

Per quanto riguarda l’interfaccia di inserimento dei dati, dopo una prima fase sperimentale in cui sono state testate alcune piattaforme CRUD, la scelta finale è ricaduta sulla web application open-source Portofino, un progetto

creato da ManyDesigns srl (<http://www.manydesigns.com/>) e rilasciato sotto Lesser General Public License (LGPL). Essa si è rivelata particolarmente adatta allo sviluppo della piattaforma, in quanto la velocità di installazione e configurazione di Portofino, da un lato, e la flessibilità del sistema, supportato da un'attiva community, dall'altro, hanno garantito la corretta pubblicazione dell'interfaccia sul web.

Il CRUD Portofino, dunque, si compone di una pagina per il login degli utenti, da cui si può accedere a una seconda pagina, che costituisce la guida all'uso della risorsa, in ogni caso molto intuitiva. Sulla sinistra di questa pagina si trova il menu di navigazione che consente di consultare (o inserire, modificare e anche cancellare se si hanno le credenziali) le SCo, le SOg e le SCa. Iniziando la navigazione da una qualunque delle tre schede si ha subito a disposizione, per ciascuna di esse, un elenco di tutti i record contenuti nella rispettiva tabella del geodatabase. Supponendo di navigare a partire dalla SCo, selezionando un record qualunque si accede alla scheda di dettaglio, in fondo alla quale sono elencate tutte le SOg e le SCa collegate. La navigazione può quindi proseguire o navigando direttamente da questo punto verso una delle SOg collegate, oppure recandosi all'elenco di tutte le SOg per richiamare, attraverso un tool di ricerca nella parte alta della pagina, la SOg di interesse. Il tool consente infatti di eseguire ricerche in tutti i campi della tabella di PostgreSQL, che sono stati attivati e predisposti per questa funzione.

Nella sostanza, attraverso questa web application si sono inseriti tutti i metadati relativi ai “contesti-oggetti-campioni” esaminati nel corso del progetto, a eccezione delle sole informazioni inerenti la loro posizione geografica, che non è possibile gestire attraverso il CRUD; si è così reso necessario l'uso di applicativi quali Quantum GIS e Geoserver per implementare le informazioni geospaziali su queste entità (GIANNECCHINI, AIME 2011; CASAGRANDE *et al.* 2012).

6. LA PIATTAFORMA “MARMORA PHRYGIAE”: COMPONENTE GEOGRAFICA E TECNOLOGIA PER L'OPEN DATA

La componente geografica è fondamentale per un database del tipo sopra descritto (§ 4-5), soprattutto per le informazioni che possono derivare dall'analisi spaziale: per esempio, la distanza tra le cave da cui è stato estratto il materiale e i cantieri in cui è stato messo in opera; la distribuzione di specifiche tipologie di materiali nei cantieri urbani e nelle necropoli; il rapporto tra il diverso stato di conservazione dei materiali o le loro caratteristiche petrografiche e la posizione dei contesti rispetto alla faglia sismica e alle sue manifestazioni in superficie; etc. Queste sono solo alcune delle principali query spaziali a cui la piattaforma “Marmora Phrygiae” può dare risposta, proprio perché ogni singola entità analizzata è stata anche geolocalizzata in maniera

assoluta nel database. PostgreSQL con PostGIS, infatti, mette a disposizione una o più colonne destinate a ospitare le informazioni geografiche relative a ogni singola tupla (GESCHWINDE, SCHÖNG 2002; RIGGS *et al.* 2015), definendo per ciascuna di esse il sistema di riferimento e le coordinate dei vertici che la compongono. Nel caso in cui si tratti di un'entità puntuale vengono registrati solo il sistema di riferimento e le coordinate.

Per omogeneità nel trattamento dei dati e per facilitare la creazione dinamica delle cartografie tematiche (Fig. 10), si è deciso di utilizzare come riferimento il sistema UTM sull'ellissoide WGS84, fuso 35N (corrispondente, nella notazione dell'European Petroleum Survey Group-EPSSG, al codice 32635): questa soluzione ha consentito di sovrapporre direttamente le entità rilevate sia alle immagini satellitari ad alta risoluzione, sia alla cartografia archeologica vettoriale di Hierapolis, recentemente edita (SCARDOZZI 2015). Pertanto, in Quantum GIS è stato predisposto un progetto contenente la cartografia archeologica e le immagini satellitari, su cui sono state importate le referenze geografiche di oggetti e campioni acquisite con GPS differenziale; tali entità sono state dunque trasformate in uno strato vettoriale e i vettori sono stati memorizzati in una tabella di PostgreSQL/PostGIS.

Per quanto riguarda poi la rappresentazione di queste entità (e dei metadati collegati) sulle basi cartografiche utilizzate nella piattaforma web, si è utilizzato il server geospaziale open-source GeoServer in unione con Heron Mapping Client (<http://heron-mc.org/>), un tool che facilita la creazione di applicazioni per la visualizzazione di mappe dinamiche consultabili via browser web, sfruttando la potenza delle librerie OpenLayers (<http://openlayers.org/>)¹³.

La piattaforma “Marmora Phrygiae”, che, come si è visto, è interamente sviluppata attraverso strumenti open-source, è stata anche progettata per condividere i dati acquisiti nel corso del progetto, fornendo un punto di accesso rapido e affidabile attraverso il web per chiunque voglia utilizzarli (HALL, LEAHY 2008). A tal fine, la tecnologia messa a disposizione da Geoserver consente di creare dinamicamente, su richiesta dell'utente, strati WMS che possono essere importati in altri progetti GIS o webGIS, facilitando l'interoperabilità tra questa e altri repository di dati geospaziali. Infatti Geoserver è un server open-source, scritto in Java, funzionale alla gestione, diffusione e analisi di dati geospaziali; perfettamente aderente agli standard elaborati dall'Open Geospatial Consortium – un'organizzazione internazionale no-profit che si occupa di definire gli standard per l'implementazione di servizi geospaziali e location-based e per l'interscambio di dati geografici – e dall'International Organization for Standardization's Technical Committee (ISO TC211),

¹³ Heron è stato installato sul server Apache e configurato per gestire gli strati WMS prodotti da GeoServer, che si occupa di leggere direttamente i dati contenuti nel database PostgreSQL. Per un approfondimento su Openlayers, cfr. HAZZARD 2011.

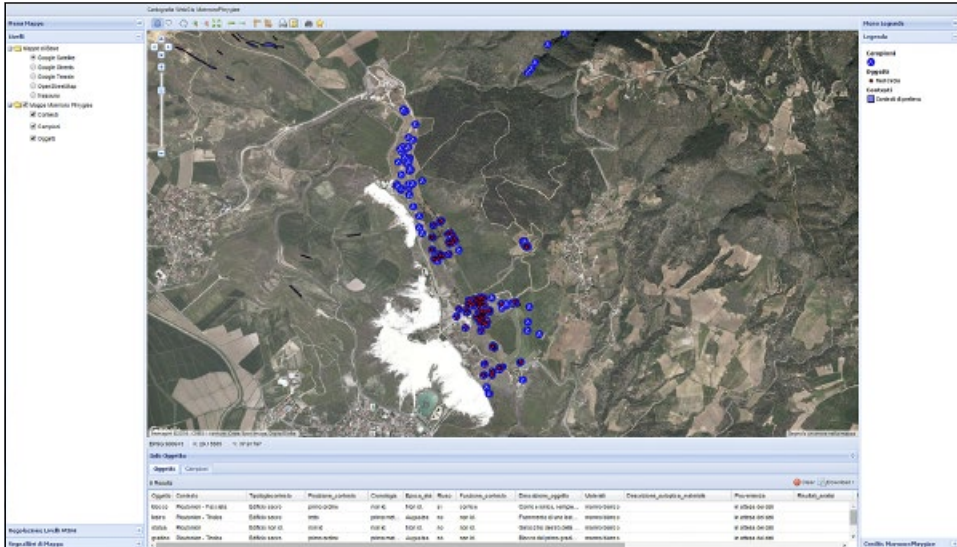


Fig. 10 – Una vista del webGIS (Heron) della piattaforma “Marmora Phrygiae”: sulla sinistra i diversi layer del sistema, al centro la finestra di navigazione e, in basso, i risultati di una query relativa a “oggetti” e “campioni”.

fornisce le funzionalità per creare infrastrutture di dati territoriali basate su tali standard.

È il motore su cui si basa tutto il sistema cartografico implementato per la piattaforma e attraverso cui i dati sono resi disponibili a chiunque vorrà farne uso, previa registrazione al sito dedicato al progetto, raggiungibile all'indirizzo <http://marmora.ibam.cnr.it/>. L'unico vincolo che si impone agli utilizzatori terzi della piattaforma è, come sempre nei progetti open data, quello di citare la fonte, poiché «knowledge is open if anyone is free to access, use, modify, and share it - subject, at most, to measures that preserve provenance and openness» (<http://opendefinition.org/>). Dal sito è previsto un triplice accesso ai dati: in sola consultazione (link al database), in navigazione sulla mappa (webGIS) e, ovviamente, in formato WMS, in maniera che i dati possano essere importati anche in altri progetti.

G.D.G.

7. CONCLUSIONI

La piattaforma “Marmora Phrygiae” si configura pertanto come un efficace strumento di gestione, integrazione, diffusione e condivisione dei dati raccolti nel corso del progetto e dei risultati conseguiti, che sono il frutto di una stretta integrazione tra analisi archeometriche e ricerca archeologica, storico-artistica

e architettonica; essa costituisce una nuova risorsa nel campo degli open data archeologici e archeometrici, andando ad arricchire il panorama e le infrastrutture già esistenti¹⁴. Per il suo specifico contenuto, la piattaforma rappresenta a oggi un *unicum*, poiché non si hanno esempi paragonabili nell'ambito dello studio archeometrico di marmi e bacini estrattivi antichi¹⁵; i dati petrografici e isotopici, oltre a quelli derivanti dalle analisi in catodoluminescenza, che vengono resi accessibili dal sistema, offrono, come si è visto, una dettagliata caratterizzazione delle cave di marmo e alabastro della Frigia meridionale, che va a integrare i dati editi nella bibliografia scientifica esistente per l'Anatolia occidentale (ANTONELLI, LAZZARINI 2015), costituendo un valido strumento per gli specialisti che si occupano degli studi sulla provenienza dei marmi antichi.

In particolare, se i dati sui cantieri ierapolitani potranno avere particolare utilità per le varie équipes di ricerca che operano nell'ambito della Missione Archeologia Italiana, quelli sulle cave di marmo della Frigia meridionale saranno invece utili per gli studi sulla provenienza dei materiali lapidei delle vicine città della valle del Lykos, prime fra tutte Laodicea e Tripolis, dove si stanno avviando questo tipo di indagini e i primi risultati (KORALAY, KILINÇARSLAN 2016, per Laodicea) documentano anche qui il prevalente impiego di marmi locali; la piattaforma "Marmora Phrygiae" potrà offrire un ricco database di riferimento in tal senso, oltre che un modello replicabile per la gestione dei dati sui cantieri urbani e le necropoli di queste città. Infine, se i marmi bianchi hanno avuto una circolazione essenzialmente locale, così come la breccia policroma di Hierapolis, una diffusione molto più ampia ebbe invece, come si è visto, l'alabastro calcareo ierapolitano, esportato non solo nelle città della valle del Lykos e dell'Anatolia occidentale, ma anche nel bacino del Mediterraneo; la caratterizzazione archeometrica di questa pietra particolarmente pregiata, con un dataset piuttosto ricco di campioni, potrà essere sicuramente utile nell'identificazione di manufatti archeologici realizzati in questa tipologia di alabastro, offrendo per la prima volta la possibilità di distinguerlo dalle altre

¹⁴ Tra le più grandi infrastrutture digitali di open data archeologici si può ricordare quella sviluppata dal progetto ARIADNE (<http://www.ariadne.infrastructure.eu/>), ispirato alla filosofia open access, che consente il collegamento di molti archivi digitali online di vari Paesi Europei. Da segnalare anche il Journal of Open Archaeology Data (<http://openarchaeologydata.metajnl.com/>).

¹⁵ Su questo specifico argomento sono disponibili come risorse online solo i dati contenuti in numerosi articoli scientifici, spesso raccolti in riviste specializzate open access (come per esempio «Archaeometry», «Open Journal of Archaeometry» o «Mediterranean Archaeology & Archaeometry. International Scientific Journal»), i risultati del progetto "QuarryScapes - Conservation of Ancient Stone Quarry Landscapes in the Eastern Mediterranean" (2005-2008), volto al censimento solo geologico e archeologico delle cave antiche del Mediterraneo orientale (Turchia, Egitto e Giordania; cfr. ABU-JABER *et al.* 2009) con finalità di conservazione (<http://www.quarryscapes.no/>), e il Stone Quarries Database, coordinato da Ben Russell nell'ambito del progetto "Sculpted Stone and Roman Economy", pubblicato online in The Oxford Roman Economy Project (<http://www.romaneconomy.ox.ac.uk/>), che contiene una rassegna dettagliata di tutte le cave antiche del bacino del Mediterraneo, con una scheda descrittiva e la bibliografia di riferimento, senza però dati archeometrici.

varietà di alabastro utilizzate in antico non solo attraverso il semplice esame autoptico (sulle antiche cave di alabastro del bacino del Mediterraneo e la loro caratterizzazione archeometrica, cfr. LAZZARINI *et al.* 2012).

G.S.

GIACOMO DI GIACOMO, GIUSEPPE SCARDOZZI
Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali (IBAM)
CNR – Lecce
g.digiacomo@ibam.cnr.it, g.scardozzi@ibam.cnr.it

BIBLIOGRAFIA

- ABU-JABER N., BLOXAM E.G., DEGRYSE P., HELDAL T. (eds.) 2009, *Quarry Scapes: Ancient Stone Quarry Landscapes in the Eastern Mediterranean*, Geological Survey of Norway, Special Publication, 12.
- ALÇIÇEK H., VAROL B., ÖZKUL M. 2007, *Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey*, «Sedimentary Geology», 202, 596-637.
- ANTONELLI F., LAZZARINI L. 2015, *An updated petrographic and isotopic reference database for white marbles used in antiquity*, «Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali», 26, 399-413.
- ATTANASIO D., BRILLI M., OGLE N. 2006, *The Isotopic Signature of Classical Marbles*, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- ATTANASIO D., BRUNO M., YAVUZ A.B. 2009, *Quarries in the region of Aphrodisias: The black and white marbles of Göktepe (Muğla)*, «Journal of Roman Archaeology», 22, 313-348.
- ATTANASIO D., BRUNO M., PROCHASKA W., YAVUZ A.B. 2012, *Aphrodisian marble from the Göktepe quarries: The little barbarians, Roman copies from the Attalid dedication in Athens*, «Papers of the British School at Rome», 80, 65-87.
- ATTANASIO D., BRUNO M., PROCHASKA W., YAVUZ A.B. 2015, *A multi-method database of the black and white marbles of Göktepe (Aphrodisias), including isotopic, EPR, trace and petrographic data*, «Archaeometry», 57, 217-245.
- ATTANASIO D., PENSABENE P. 2002, *I marmi del teatro di Hierapolis*, in DE BERNARDI FERRERO 2002, 69-85.
- BONETTO J., CAMPOREALE S., PIZZO A. (eds.) 2014, *Arqueología de la construcción IV. Las canteras en el mundo antiguo: sistemas de explotación y procesos productivos*, Mérida, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- BRILLI M., GIUSTINI F., CONTE A.M., LAPUENTE MERCADAL P., QUARTA G., ROYO PLUMED H., SCARDOZZI G., BELARDI G. 2015, *Petrography, geochemistry, and cathodoluminescence of ancient white marble from quarries in the southern Phrygia and northern Caria regions of Turkey: Considerations on provenance discrimination*, «Journal of Archaeological Science, Reports», 4, 124-142.
- BRUNO M. 2002, *Alabaster quarries near Hierapolis (Turkey)*, in L. LAZZARINI (ed.), *Interdisciplinary Studies on Ancient Stones. Proceedings of the Sixth International Conference of the “Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity”*, ASMOSIA VI (Venice 2000), Padova, Bottega d'Erasmus Aldo Ausilio Editore, 19-24.
- CAMPOREALE S., DESSALES H., PIZZO A. (eds.) 2008, *Arqueología de la construcción I. Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia y provincias occidentales*, Mérida, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- CAMPOREALE S., DESSALES H., PIZZO A. (eds.) 2010, *Arqueología de la construcción II. Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia y provincias orientales*, Madrid-Mérida, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- CAMPOREALE S., DESSALES H., PIZZO A. (eds.) 2012, *Arqueología de la construcción III. Los procesos constructivos en el mundo romano: la economía de las obras*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- CASAGRANDE L., CAVALLINI P., FRIGERI A., FURIERI A., MARCHESINI I., NETELER M. 2012, *GIS open source. Grass GIS, Quantum GIS e SpatiaLite. Elementi di software libero applicato al territorio*, Palermo, Dario Flaccovio Editore.
- CIOTTA G., PALMUCCI QUAGLINO L. 2002, *La cattedrale di Hierapolis*, in DE BERNARDI FERRERO 2002, 179-216.
- COTTICA D. 2004, *Pavimenti in opus sectile dall'insula 104 a Hierapolis di Frigia*, «Rivista di Archeologia», 28, 89-106.
- D'ANDRIA F. 2003, *Hierapolis di Frigia (Pamukkale). Guida archeologica*, Istanbul, Ege Yayınları.
- D'ANDRIA F. 2011-2012, *Il santuario e la tomba dell'Apostolo Filippo a Hierapolis di Frigia*, «Rendiconti della Pontificia Accademia Romana di Archeologia», 84, 3-52.
- D'ANDRIA F. 2015, *Cd. Terme-Chiesa*, in SCARDOZZI 2015, 112-113.
- 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., CAGGIA M.P., ISMAELLI T. (eds.) 2012, *Hierapolis di Frigia, V. Le attività delle campagne di scavo e restauro 2004-2006*, Istanbul, Ege Yayınları.
- D'ANDRIA F., SCARDOZZI G., SPANÒ A. (eds.) 2008, *Atlante di Hierapolis di Frigia*, Istanbul, Ege Yayınları.
- DE BERNARDI FERRERO D. (ed.), *Hierapolis IV. Scavi e ricerche. Saggi in onore di Paolo Verzone*, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- DE FILIPPIS L., FACCENNA C., BILLI A., ANZALONE E., BRILLI M., ÖZKUL M., SOLIGO M., TUCCIMEI P., VILLA I.M. 2012, *Growth of fissure ridge travertines from geothermal springs of Denizli Basin, Western Turkey*, «Geological Society of America Bulletin», 124, 9-10, 1629-1645.
- DE LA BEAUJARDIÈRE J. 2006, *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification, Version 1.3.0*, Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.
- DE LA BEAUJARDIÈRE J., DOYLE A. 2002, *Web Map Service Implementation Specification*, Wayland, MA, USA, Open GIS Consortium Inc.
- DI GIACOMO G., SCARDOZZI G. 2014, *Gis Cloud per l'archeologia. Strumenti open source per la gestione e la condivisione dei dati*, «Archeologia e Calcolatori», 25, 93-112.
- DI GIACOMO G., SCARDOZZI G. 2015, *A GIScloud system for knowledge, data sharing and management: Urban archaeology and smart city solutions for culture and tourism in Lecce (Apulia, Italy)*, in *Proceedings of the 19th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT19, 2014)*, Vienna, Museen der Stadt Wien, 1-18.
- FRATE O. 2006, *Il materiale lapideo come indicatore sociale, culturale ed economico. Il caso dei sarcofagi di marmo della necropoli nord di Hierapolis di Frigia*, in V. BADINO, G. BALDASSARRE (eds.), *Le risorse lapidee dall'antichità ad oggi in area mediterranea (Canosa di Puglia 2006)*, Torino, GEAM, 423-430.
- FRATE O. 2007, *I sarcofagi in marmo della Necropoli Nord. Metodo della ricerca e risultati preliminari*, in D'ANDRIA, CAGGIA 2007, 457-472.
- GESCHWINDE E., SCHÖNG H.J. 2002, *PostgreSQL Developer's Handbook*, Indianapolis, USA, Sams Publishing.
- GIANNACCINI S., AIME A. 2011, *Geoserver, il server open source per la gestione interoperabile dei dati geospaziali*, in *Atti della XV Conferenza ASITA (Reggia di Colorno 2011)*, Milano, ASITA, 1183-1194.
- GNOLI R. 1988, *Marmora romana*, Roma, Edizioni dell'Elefante.
- HANCOCK P.L., ALTUNEL E. 1997, *Faulted archaeological relics at Hierapolis (Pamukkale), Turkey*, «Journal of Geodynamics», 24, 21-36.
- HALL B., LEAHY M.G. (eds.) 2008, *Open Source Approaches in Spatial Data Handling*, Berlin, Springer.

- HAZZARD E. 2011, *OpenLayers 2.10 Beginner's Guide, Create, optimize and deploy stunning cross-browser web maps with the Open Layers Javascript web-mapping library*, Birmingham-Mumbai, Packt Publishing.
- IACOVELLA S. 2014, *Geoserver Cookbook*, Birmingham-Mumbai, Packt Publishing.
- ISMAELLI T. 2013, *Ancient architectural restoration in Asia Minor. Typology, techniques and meanings discussed with reference to examples of large-scale public buildings in Hierapolis of Phrygia, a Seismic City in Western Turkey*, «Istanbuler Mitteilungen», 63, 267-324.
- JUDEICH W. 1898, *Inschriften*, in C. HUMANN, C. CICHORIUS, W. JUDEICH, F. WINTER, *Altertümer von Hierapolis*, «Jahrbuch des Kaiserlich Deutschen Archäologischen Instituts. Ergänzungsheft», 4, Berlin, 67-180.
- KADIOĞLU M. 2007, *Die opus sectile-Wandverkleidung der Agora von Hierapolis in Phrygia (Regio I)*, in D'ANDRIA, CAGGIA 2007, 413-419.
- KORALAY T., KILINÇARSLAN S. 2015, *Minero-petrographic and isotopic characterization of two antique marble quarries in the Denizli region (Western Anatolia, Turkey)*, «Periodico di Mineralogia», 84, 2, 263-288.
- KORALAY T., KILINÇARSLAN S. 2016, *A multi-analytical approach for determining the origin of the marbles in Temple-A from Laodicea ad Lycum (Denizli-Western Anatolia, Turkey)*, «Journal of Cultural Heritage», 17, 42-52.
- LAZZARINI L., VISONÀ D., GIAMELLO M., VILLA I. 2012, *Archaeometric characterisation of one Tunisian and two Italian calcareous alabasters used in antiquity*, in *Proceedings of the IX International Conference of ASMOSIA (Tarragona 2009)*, Tarragona, 436-444.
- LIMONCELLI M., SCARDOZZI G. 2013, *Dalla cartografia archeologica digitale al restauro virtuale: recenti casi di studio a Hierapolis di Frigia*, «Archeologia e Calcolatori», 24, 75-99.
- LONG L.E. 2012, *The Regional Marble Quarries*, in C. RATTÉ, P.D. DE STAEBLER (eds.), *Aphrodisias V. The Aphrodisias regional survey*, Mainz, Verlag Philipp von Zabern, 165-201.
- MARABINI S. 2015, *Note illustrative della carta geologica di Hierapolis*, in SCARDOZZI 2015, 7-11.
- MASINO F., SOBRÀ G. 2012, *Ricerche e interventi nel Teatro*, in D'ANDRIA, CAGGIA, ISMAELLI 2012, 207-233.
- MARABINI S., SCARDOZZI G. 2015, *Appendice I - La ricerca geo-archeologica a Hierapolis*, in SCARDOZZI 2015, 227-268.
- MESCI B.L., TATAR O., PIPER J.D.A., GÜRSOY H., ALTUNEL E., CROWLEY S. 2013, *The efficacy of travertine as a palaeoenvironmental indicator: Palaeomagnetic study of neotectonic examples from Denizli, Turkey*, «Turkish Journal of Earth Sciences», 22, 191-203.
- ÖZKUL M., KELE S., GÖKGÖZ A., SHEN C.-C., JONES B., BAYKARA M.O., FÖRİZS I., NÉMETH T., CHANG Y.-W., ALÇİÇEK M.C. 2013, *Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data*, «Sedimentary Geology», 294, 179-204.
- PENSABENE P. 2010, *Cave di marmo bianco e pavonazzo in Frigia. Sulla produzione e sui dati epigrafici*, «Marmora», 6, 71-134.
- PENSABENE P. 2013, *I marmi nella Roma antica*, Roma, Carocci.
- RIGGS S., CIOLLI G., KROSLING H., BARTOLINI G. 2015, *PostgreSQL 9 Administration Cookbook*, Birmingham-Mumbai, Packt Publishing.
- RITTI T. 1985, *Fonti letterarie ed epigrafiche*, Hierapolis. Scavi e ricerche, I, Roma, L'Erma di Bretschneider.
- RITTI T. 2004, *Iura sepulcrorum a Hierapolis di Frigia nel quadro dell'epigrafia sepolcrale micrasiatica. Iscrizioni edite e inedite*, in S. PANCIERA (ed.), *Libitina e dintorni. Libitina e i luci sepolcrali. Le leges libitinariae campane. Iura sepulcrorum. Vecchie e nuove iscrizioni. Atti dell'XI Rencontre franco-italienne sur l'épigraphie, Libitina 3*, Roma, Quasar, 455-634.
- RITTI T. 2006, *Guida epigrafica a Hierapolis di Frigia (Pamukkale)*, Istanbul, Ege Yayınları.
- RITTI T. 2007, *Iscrizioni pertinenti all'edificio teatrale*, in D. DE BERNARDI FERRERO, G. CIOTTA, P. PENSABENE (eds.), *Il teatro di Hierapolis di Frigia. Restauro, architettura ed epigrafia*, Genova, De Ferrari, 389-439.

- SCARDOZZI G. 2010, *Hierapolis di Frigia, dalle cave ai cantieri di demolizione: l'approvvigionamento di materiali lapidei nella città di età imperiale e proto-bizantina*, in CAMPOREALE, DESSALES, PIZZO 2010, 351-374.
- 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, *Ricognizioni archeologiche nel territorio di Hierapolis (campagne 2005-2006): gli acquedotti, le cave di materiali lapidei, gli insediamenti rurali, i tumuli funerari*, in D'ANDRIA, CAGGIA, ISMAELLI 2012, 109-143.
- SCARDOZZI G. 2012b, *Ancient marble and alabaster quarries near Hierapolis in Phrygia (Turkey): New data from archaeological surveys*, in *Proceedings of the IX International Conference of ASMOSIA (Tarragona 2009)*, Tarragona, 573-583.
- SCARDOZZI G. 2015 (ed.), *Nuovo Atlante di Hierapolis di Frigia. Cartografia archeologica della città e delle necropoli*, Istanbul, Ege Yayınları.
- SCARDOZZI G. c.s., *Marmora Phrygiae. Un progetto per lo studio delle antiche cave di marmo e di alabastro di Hierapolis di Frigia e delle strategie di approvvigionamento dei materiali lapidei: approcci metodologici e prospettive di ricerca*, in *Atti del Convegno DECOR - Decorazione e architettura nel mondo romano (Roma 2014)*, in corso di stampa.
- SOBRÀ G. 2012, *The analysis of the fragments from the scaenae frons of the theatre*, in F. MASINO, P. MIGHETTO, G. SOBRÀ (eds.), *Restoration and Management of Ancient Theatres in Turkey: Methods, Research, Results. Proceedings of the Hierapolis International Symposium (Karabayit 2007)*, Galatina, Congedo Editore, 183-204.
- UYSAL I.T., FENG Y., ZHAO J., ISIK V., NURIEL P., GOLDING S.D. 2009a, *Hydrothermal CO₂ degassing in seismically active zones during the late Quaternary*, «Chemical Geology», 265, 442-454.
- UYSAL I.T., ZHAO J., FENG Y., GOLDING S.D. 2009b, *CO₂-driven hydrothermal eruptions in geothermal systems of Turkey*, in *Proceedings of the Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering (Stanford, California, 2009)*, Stanford, Stanford University, 1-4.
- YAVUZ A.B., BRUNO M., ATTANASIO D. 2011, *An updated, multi-method database of Ephesos marbles, including white, greco scritto and bigio varieties*, «Archaeometry», 53, 2, 215-240.
- ZACCARIA RUGGIU A. 2007, *Regio VIII, insula 104. Le strutture abitative: fasi e trasformazioni*, in D'ANDRIA, CAGGIA 2007, 211-256.
- ZACCARIA RUGGIU A. 2012, *Un quartiere residenziale: l'insula 104*, in D'ANDRIA, CAGGIA, ISMAELLI 2012, 419-442.

ABSTRACT

The “Marmora Phrygiae” project deals with some of the main issues related to the study of ancient quarries and building sites with a systematic approach, integrating the skills of experts from different disciplines: archaeology, ancient topography, art history, architecture, geology, geophysics, chemistry, geochemistry, biology, remote sensing, computer science, and Roman law. This paper summarizes the main scientific results of the project and the computer techniques used for implementing the Marmora Phrygiae online geodatabase, a system aimed at data presentation on the web, sharing knowledge through Open Data. The Marmora Phrygiae database dynamically stores the results of archaeological research and archaeometric analyses in order to publish them online at the end of the project: after a registration process, free access to available data will be allowed. The same database is also interfaced to Geoserver, a web-oriented cartographic engine, in which the coordinates of each feature (monuments, quarries, artefacts, stone samples), acquired by a high-precision topographic GPS, are stored. This solution allowed acquiring important new data on the marble extractive district of Hierapolis, the organization of the urban building sites during the Roman Imperial age and the Early-Byzantine period, and their dynamics of supplying stone materials within the overall ancient marble extractive district of south-western Turkey.