

SESSIONE 2

Conservazione dei beni archeologici

**Grande Progetto Pompei: Lavori di Restauro
della Domus di Sirico**

*The Great Pompeii Project: Restoration
works on the House of Siricus*

Annamaria Mauro

Parole Chiave: *restauro, miglioramento sismico, conservazione,
fruizione, valorizzazione*

Keywords: *restoration, seismic improvement, conservation,
development*

Sommario

La casa di Sirico è una grande abitazione che occupa in senso est-ovest la parte centrale dell'insula 1 della Regio VII; essa è frutto dell'aggregazione, avvenuta nel I secolo a.C., di due dimore, l'una con ingresso da via Stabiana 25, l'altra da vicolo del Lupanare 47. L'identificazione dell'ultimo proprietario della casa, P. Vedius Siricus, si deve alla scoperta di un sigillo di bronzo nel tablino (ambiente 6) recante tale nome. Sirico apparteneva alla classe politica e commerciale di Pompei e riceveva quotidianamente i suoi clientes nella domus accogliendoli con la beneaugurante iscrizione su cocciopesto SALVE LUCRU, Benvenuto guadagno!, che si poteva leggere sul pavimento delle fauces (ambiente 1) del civico 47.

Il complesso abitativo presentava una condizione di diffuso degrado con crolli e strutture murarie con notevoli fuori piombo, il cui livello di gravità aveva raggiunto una soglia critica oltre la quale le murature sarebbero potute entrare rapidamente in uno stato di crisi anche al minimo cambiamento delle condizioni al contorno. Il progetto di restauro della domus si prefigge di restituire il bene archeologico alla sua integrità in modo da garantirne la piena fruibilità e preservarne le valenze storico-archeologiche. L'intervento prevedeva un insieme organico di opere di consolidamento, anastilosi e restauro con la realizzazione delle coperture di alcuni ambienti finalizzate alla protezione e conservazione del bene archeologico. E' un esempio emblematico della metodologia posta in essere nell'ambito del grande Progetto Pompei nell'affrontare interventi di grandi complessi. Uno dei temi progettuali più dibattuto e complesso dell'intero progetto per le implicazioni estetiche, conservative e funzionali è stato l'utilizzo di fibra di basalto, con la funzione di garantire una distribuzione uniforme dei carichi, rinforzando le zone della muratura sottoposte ai carichi concentrati trasmessi dalle travi e l'utilizzo di connettori a fiocco in basalto. Il lavoro di restauro è stato considerato "considerevole dagli ispettori Unesco" e nella realizzazione degli interventi è stato previsto l'utilizzo di materiali con caratteristiche fisico chimiche il più possibile compatibili a quelle dei materiali originari, l'impiego di materiali lapidei o laterizi nonché leganti in tutto simili a quelli in opera.

Abstract

The House of Siricus is a large dwelling that occupies the central part of Insula 1 of the Regio VII in an east-west direction; it is the result of the aggregation, which took place in the first century a.C., of two houses, one with entrance from via Stabiana 25, the other from vicolo del Lupanare 47. The identification of the last owner of the house, P. Vedius Siricus, is due to the discovery of a bronze seal in the tablinum (room 6) bearing this name. Sirico belonged to the political and commercial class of Pompeii and received his clientes daily in the domus welcoming them with the auspicious inscription on cocciopesto SALVE LUCRU, Welmome profit!, which could be read on the floor of the fauces (room 1) of number 47. The housing complex presented a condition of widespread degradation with collapses and wall structures with notable lead, whose level of gravity had reached a critical threshold beyond which the walls could have quickly entered a state of crisis even at the slightest change in conditions at the side dish. The restoration project of the domus aims to restore the archaeological heritage to its integrity in order to guarantee its full usability and preserve its historical-archaeological values. The project involved an organic set of consolidation, anastylosis and restoration works with the construction of the roofs of some areas aimed at protecting and preserving the archaeological heritage. It is an emblematic example of the methodology implemented in the context of the great Pompeii Project in dealing with large complex interventions. One of the most debated and complex design themes of the whole project for aesthetic, conservative and functional implications was the use of basalt fiber, with the function of ensuring a uniform distribution of loads, reinforcing the masonry areas subjected to concentrated loads transmitted from the beams and the use of basalt staple connectors. The restoration work was considered "considerable by Unesco inspectors" and in the implementation of the interventions the use of materials with chemical-physical characteristics as compatible as possible with those of the original materials, the use of stone materials or bricks as well as binders was envisaged. in all similar to those in place.

1. Il Progetto e il metodo

Il Grande Progetto Pompei nasce da una azione del Governo italiano che, attraverso il decreto legge n. 34/2011 (art. 2), ha inteso rafforzare l'efficacia delle azioni e degli interventi di tutela nell'area archeologica di Pompei mediante la elaborazione di un Programma straordinario ed urgente di interventi conservativi, prevenzione, manutenzione e restauro. Il progetto esecutivo identificato come GPP 10 e riguardante i "Lavori di restauro e consolidamento della Casa di Sirico" considerate la complessità del sito, la situazione di estrema emergenza iniziale e le specifiche esigenze di restauro, va interpretato come intervento puntuale per la salvaguardia del patrimonio archeologico, in grado non solo di evitare l'ulteriore perdita di materia originale, ma anche di migliorare così l'offerta fruitiva all'interno della città antica. L'intervento diretto da un team multidisciplinare di architetti, archeologi, ingegneri e restauratori, si è concluso a giugno del 2016 con la riapertura al pubblico del complesso abitativo dell'antica Pompei. Sono stati, dunque, progettati ed eseguiti in modo capillare e sistematico interventi ispirati ai principi di riconoscibilità, reversibilità, compatibilità con il contesto archeologico e minimo intervento, corredati da schede esecutive con documentazione fotografica e, ove necessario, preceduti da rilievi laser scanner e indagini diagnostiche. Attraverso l'esecuzione degli interventi di restauro e consolidamento, si è inteso tutelare e salvaguardare un'importante complesso edilizio nella direzione della conservazione e valorizzazione. Gli interventi di restauro realizzati hanno ottenuto il plauso della commissione UNESCO, che li ha definiti esemplari per l'aderenza e il pieno rispetto delle strutture antiche, per le caratteristiche di reversibilità e distinguibilità, nonché per i materiali utilizzati, compatibili con quelli originari. La casa di Sirico occupa in senso est-ovest la parte centrale dell'insula 1 della Regio VII che comprende vasta parte della zona pubblica attorno al Foro, nonché alcuni isolati residenziali caratterizzati da un reticolo stradale ad andamento irregolare. La Casa è costituita da due abitazioni unitesi nel tempo con ingressi posti su due strade quasi parallele: il numero 47 su vico del Lupanare ed il numero 25 su via di Stabia. I due complessi, entrambi a sviluppo prevalente in senso Est-Ovest, non sono posti in allineamento tra di loro ma si trovano a comunicare attraverso una porta che vede affiancati tra loro i rispettivi peristili. La Casa di Sirico fu la prima domus ad essere scavata in maniera sistematica partendo dall'alto degli edifici e asportando l'interro a partire dai tetti, in questo modo da comprendere la dinamica dei crolli e recuperare così dati utili anche per il restauro. L'attribuzione della proprietà fu suggerita da due rinvenimenti importanti: il primo relativo ad un programma elettorale, scoperto durante lo scavo del 13 febbraio del 1862 e posizionato sul muro in prossimità del lato destro della porta di ingresso in vico del Lupanare e il secondo relativo al

recupero di un anello sigillo recante la legenda SIRICI. L'ambiente più rappresentativo di questa parte della domus è senza alcun dubbio la ricca esedra (10), che si apre sul lato settentrionale dell'atrio (3), le cui decorazioni, con i suoi grandi quadri a soggetto mitologico, rappresentano uno degli esempi più belli e rappresentativi della pittura di IV stile pompeiano. La sfarzosità di questo ambiente si scontra con l'assenza di decorazione dell'atrio (3) e del tablinio (6); molto probabilmente una spiegazione può essere data dal fatto che la casa al momento dell'eruzione era in fase di ristrutturazione, per cui molti ambienti erano ancora privi di decorazione. La Domus, caratterizzata da un'eterogeneità di materiali impiegati e con uno sviluppo di superficie di circa 1500 mq, si presentava in un pessimo stato di conservazione con estese situazioni di danneggiamento, di varia entità tra cui erano rilevanti crolli e dissesti. Le condizioni di rischio più evidenti erano connesse alla consistente vegetazione infestante e all'azione diretta degli agenti atmosferici (acqua e vento) sulle strutture murarie. Il progetto era scaturito da una primaria esigenza di restituire, nella migliore condizione possibile di fruibilità, dignità al bene archeologico e garantire un possibile miglioramento sismico nei confronti delle eventuali azioni sismiche ottemperando alle NTC 2008 al fine di innalzare il grado di sicurezza della struttura muraria attraverso una puntuale opera di consolidamento. Il cantiere è stato anche occasione di conoscenza: la rimozione degli interventi di restauro moderni degradati ha consentito infatti di osservare meglio e, in alcuni casi, addirittura di mettere in luce le stratigrafie murarie, compresi gli interventi di restauro antichi. Nelle aree archeologiche le strutture più soggette a degrado sono le sommità murarie, in quanto la loro giacitura più o meno orizzontale consente una maggiore concentrazione degli agenti aggressivi. Il restauro della parte sommitale delle strutture murarie ha previsto la costruzione del cosiddetto "strato di sacrificio", lungo l'andamento irregolare del colmo del muro, alto circa 10-15 cm, rendendo omogenea la superficie di scorrimento delle acque piovane. Pertanto si è proceduto alla rimozione dell'attuale strato decoeso dei colmi, spazzolatura e successivo lavaggio con acqua deionizzata per asportare depositi incoerenti di terra, sporco, detriti, rifacimento del colmo del muro dello strato di sacrificio, con materiali differenti a seconda della tecnica muraria antica, al fine di garantire uniformità e continuità di tale strato rispetto alla muratura sottostante. La malta utilizzata è costituita da grassello di calce o calce idraulica naturale NHL 3,5 conforme alla norma UNI EN 459-1 e pozzolana. E' stata eseguita nel rifacimento del colmo la linea spezzata utilizzando materiale di recupero, proveniente dal sito, pulito e lavato, rispettando l'andamento della muratura sottostante, rimuovendo le sole pietre distaccate e/o la malta decoesa. Gli elementi litoidi allentati sono stati ricollocati nella loro posizione. La

muratura è stata consolidata rimuovendo polveri e residui per garantire l'ancoraggio della nuova malta, mediante spazzolatura e leggera pulitura del giunto con acqua deionizzata, per garantire un'utile saturazione delle superfici limitrofe. Tutte le operazioni di pulitura hanno lasciato l'interno del giunto privo di detriti o polveri, ma con la superficie scabra così da favorire un idoneo contatto con la malta di restauro con una quantità d'acqua che è stata opportunamente bilanciata rispetto alla granulometria dell'aggregato e alla lavorabilità, utilizzando un basso rapporto acqua/legante. Si è provveduto al consolidamento e all'integrazione delle murature e degli intonaci, alla sostituzione degli architravi, alla ricollocazione delle colonne in crollo, alla realizzazione di nuove coperture in legno e tegole in sostituzione di quelle dei vecchi restauri, poste a protezione degli ambienti. Nell'ambito delle lavorazioni previste dal progetto architettonico erano presenti la realizzazione di coperture di ambienti attraverso solai piani e a falda in legno al fine di proteggere intonaci o pavimenti di pregio e di restituire la percezione spaziale dell'ambiente; l'intervento riguardava undici ambienti. I nuovi solai sono stati realizzati utilizzando travi in legno di castagno, a semplice orditura, sulle quali è stato ancorato il tavolato, dello spessore di 4 cm; sul piano così realizzato è stato montato il pacchetto di finitura che prevede il massetto delle pendenze. Le travi portanti dei solai, indipendentemente dalla luce della campata, hanno dimensione 12x20 cm e sono state opportunamente trattate per aumentarne la durabilità. Tutte le pareti in muratura interessate dal posizionamento delle coperture sono state oggetto di un intervento di consolidamento, mediante iniezione di miscela inorganica a base di calce. Sul piano di appoggio degli elementi in legno della copertura a falda è stato realizzato un cordolo in malta di calce e rete in fibra di basalto, con la funzione di garantire una distribuzione uniforme dei carichi, rinforzando le zone della muratura sottoposte ai carichi concentrati trasmessi dalle travi; per migliorare la collaborazione con la sottostante muratura; si è previsto altresì l'ancoraggio della rete con l'utilizzo di connettori a fiocco in basalto, che sono stati inseriti con un passo di circa 80 cm. Le travi in legno sono state quindi incorniciate da mattoni pieni in terracotta. Al termine del restauro architettonico dell'edificio, sono iniziati i lavori di restauro degli apparati decorativi sia parietali sia pavimentali della casa anch'essi conclusi nei tempi previsti. Dopo una pulizia preliminare dai depositi superficiali incoerenti, intonaci e stucchi sono stati consolidati mediante ristabilimento della coesione della pellicola pittorica e dell'intonachino, quando presenti, nelle aree interessate da disgregazione, nonché ristabilimento dell'adesione tra supporto murario e strati componenti l'intonaco con applicazioni locali di resine acriliche in soluzione acquosa e iniezioni di malta idraulica o pozzolanica. Le successive operazioni di pulitura sono consistite nella disinfestazione mediante biocida, nella

rimozione di depositi superficiali coerenti, incrostazioni e concrezioni. Analoghe operazioni di consolidamento, pulitura, rimozione e sostituzione di interventi non idonei, protezione finale sono state eseguite sul cocchiopesto (pavimenti cementizi a base fittile). Questi interventi, pur essendo finalizzati principalmente alla conservazione, hanno grande importanza anche sul piano della valorizzazione e fruizione dell'area archeologica, in quanto hanno reso possibile l'apertura al pubblico della casa, che offre a visitatori e studiosi uno dei più raffinati complessi decorativi con i suoi grandi quadri a soggetto mitologico, della pittura di IV stile pompeiano, ma finora esclusa dai percorsi più frequentati dai turisti. La patologia di degrado e il dissesto statico delle colonne in tufo grigio campano del peristilio ambiente 18, ha reso necessario la consultazione della letteratura relativa alle caratteristiche meccaniche dei tufi litoidi che sottolinea la notevole variabilità delle caratteristiche proprie del materiale individuandone la causa nei processi genetici e diagenetici subiti dai tufi. Le caratteristiche geologiche e geotecniche del materiale derivano dal meccanismo eruttivo originario, dalle condizioni di messa in posto e dai successivi processi di litificazione e sono per questo estremamente variabili e variegate. La definizione stessa, ad esempio, delle caratteristiche di resistenza a compressione e trazione propria dei "tufi campani" risulta variabile per lo stesso materiale in condizione asciutta o imbibita. Il cantiere ha coinvolto diverse professionalità interdisciplinari, che hanno permesso, mediante studi a largo raggio, di individuare le principali caratteristiche geotecniche e meccaniche del materiale nelle sue diverse forme. Relativamente alle colonne, il ripristino della funzione originaria, caratterizzata da una prevalente resistenza a sforzo normale e a modeste sollecitazioni con effetti di eccentricità, è stato ottenuto facendo ricorso ad una tipologia di intervento caratterizzata dalla reversibilità. Si è ravvisata la necessità di un derestauo infatti la resistenza alle sollecitazioni di taglio e flessione dell'elemento strutturale metallico al suo interno, che ha solo alterato l'originario regime statico dell'elemento, ha reso irreversibile l'opera di conservazione. Infatti, la presenza di un'armatura metallica al suo interno, ha portato a una naturale frantumazione. Le colonne presentavano uno stato di conservazione con disgregazione, esfoliazione, scagliatura, distacco di porzioni di materiale, efflorescenze e attacchi biologici, fratturazione, fessurazione e mancanze. E' stato necessario un consolidamento puntuale mediante tecniche ormai consolidate di stilatura dei giunti con malta idraulica, ricostruzione con nuovi giunti di malta di allettamento per ripristinare la verticalità degli elementi, riadesione di parti distaccate con collanti in resine epossidiche ed inserimenti di piccole barre in vetroresina per garantire maggiormente il ripristino della sezione resistente. L'atrio (3) è di una tipologia, quella tuscanica, ben attestata nella città, nota ma qui non composto nella sua forma canonica per via della chiusura, a S,

contro la zona delle Terme Stabiane che ne hanno impedito lo sviluppo. Il progetto che ha interessato l'atrio è quello di maggiore complessità; la struttura muraria confinante con le terme (muro perimetrale dell'atrio lato sud) presentava un vistoso ed avanzato processo di schiacciamento, trattandosi di una muratura a sacco. Questo tipo di muratura, potenzialmente fra i più pericolosi in quanto presenta una diversa rigidità, deformabilità, coesione e resistenza, tra il nucleo centrale interno ed i paramenti esterni più resistenti. Nell'ambito degli interventi di miglioramento possibili eseguiti, pur ribadendo il principio di reversibilità assunto quale rispetto verso l'integrità del monumento, sono state individuate, nella fase esecutiva del progetto di restauro, le "regole dell'arte" a cui ispirarsi per la realizzazione dei lavori, nella scelta dei materiali e nelle tecnologie costruttive. Le analisi visive sui reperti e le condizioni di pericolo in atto hanno evidenziato, anche a seguito di approfonditi esami e indagini eseguiti in corso d'opera, i fenomeni di instabilità della struttura muraria nell'ambiente, parete lato sud confinante con le terme stabiane, che sono stati prodotti dalle seguenti cause: in primo luogo dalle caratteristiche costitutive della muratura a sacco, carenza completa di un sistema scatolare delle murature, per sopravvenuta mancanza di pannelli murari mutuamente connessi che rendessero una maggiore capacità di resistenza alle azioni sismiche, infine, ma non ultima per importanza, l'assenza di strutture di confinamento contigue alle pareti in oggetto che ha contribuito a produrre anche la deviazione dal suo piano verticale, imprimendo una rotazione che non escluda quale probabile causa una spinta la cui retta d'azione si è sviluppata secondo la perpendicolare alla struttura muraria. A seguito di indagini e saggi in sito, si è proceduto alle valutazioni inerenti la ricostruzione dell'impluvio dell'ambiente 3 pervenendo alla determinazione di non effettuare tale ricostruzione per incompatibilità con le esigenze di tutela archeologica e conservazione delle pareti perimetrali in parte ricoperte di intonaci antichi. In ogni caso per il consolidamento e la messa in sicurezza delle pareti perimetrali dell'ambiente 3 si è proceduto a ricostruzioni, sarciture di lesioni, iniezioni di malta a base di calce per la rigenerazione del nucleo della muratura e, in corrispondenza della parete a confine con le Terme Stabiane, alla posa in opera di tiranti e piatti in acciaio inox per aumentare la stabilità di tale parete nella porzione più elevata e non contrastata da orizzontamenti. L'intervento prevedeva la realizzazione di una copertura dell'Atrio della Casa di Sirico con struttura portante in legno di quercia articolata in quattro falde ad impluvio, la parete est presentava diverse problematiche di natura strutturale. In particolare il piedritto posto a destra guardando (già attualmente puntellato), risulta non controventato nelle due direzioni, pur essendo caricato dal notevole peso dell'architrave ligneo 18x26 e della superiore porzione muraria ricostruita, mentre la parete nord su cui

è previsto che scarichino le due travi principali, oltre ad avere uno spessore inferiore (circa 30 cm escluso intonaco), è rivestita da affresco in corrispondenza del posizionamento degli alloggi 70x75. Dall'analisi delle relazioni di calcolo del progetto emergevano i seguenti punti, meritevoli di approfondimento: la scelta della classe d'uso, non risulta sufficientemente trattata ed approfondita l'interazione tra strutture in legno e elevazioni in muratura preesistenti, sia in corrispondenza degli appoggi delle travi principali che in corrispondenza delle sopraelevazioni delle murature su cui scaricano le orditure secondarie della copertura. La copertura del peristilio dell'ambiente 31, prevedeva la realizzazione di una copertura a falde, che si attestava sulla muratura, da una lato, e su una trave in legno, dall'altro, che collega tutte le colonne del peristilio; la struttura portante del tetto è costituita da una semplice orditura di travi in legno di castagno, aventi dimensione 12x26cm e 18x26 cm, in corrispondenza dei due compluvi. La trave di collegamento posta sulla testa delle colonne è stata realizzata in legno di castagno ed ha una dimensione 18x26 cm; in corrispondenza dell'appoggio sulla testa delle colonne è stato realizzato un giunto di collegamento costituito da due piatti in acciaio saldati di testa previa interposizione di una barra filettata in acciaio inox che è stata ancorata nella colonna; una volta montate le travi in legno si è operato il serraggio del bullone di chiusura. Il manto di copertura è realizzato in embrici e coppi la cui sagoma determina il passo degli arcarecci, pari a circa 50 cm. Il piano di appoggio degli elementi in legno sulla muratura è stato preventivamente regolarizzato attraverso la scomposizione controllata della parte esistente e la successiva ricomposizione, e con l'applicazione del cordolo in malta di calce e rete in fibra di basalto; in questo caso, prima del montaggio delle travi, si è interposto un elemento in legno (dormiente) per migliorare l'importante funzione di distribuire il carico, prevenendo l'insorgere di tensioni locali elevate nella muratura, per effetto di azioni concentrate. In tutti gli interventi si è sempre dovuto interporre una lastra in piombo tra gli elementi in legno e la muratura. La finalità dell'intervento ha consentito essenzialmente di verificare la sicurezza statica del colonnato e di comprendere i rapporti consequenziali e cronologici tra i diversi strati archeologici. Tale ambiente adibito ad area a verde nella parte centrale è caratterizzato dalla presenza di strutture ascrivibili al sistema di smaltimento delle acque chiare superficiali con recapito in cisterna che molto probabilmente è interrata nel peristilio medesimo. Secondo quanto riportato pocanzi uno degli obiettivi del progetto, finalizzato alla fruizione e alla conservazione del patrimonio, è stato dunque quello di eseguire una verifica statica del colonnato del peristilio (31). Esso infatti è stato oggetto di intervento strutturale mirato alla ricostruzione dell'antico tetto. Le colonne che hanno mostrato alcune lacune strutturali che ne hanno sicuramente causato la

diminuzione della capacità portante sono state oggetto di intervento di consolidamento mediante l'utilizzo di malta e inserti in laterizio. Il peristilio presentava 10 colonne in laterizio di circa 53 cm. rivestite in stucco bianco scanalato poggianti su un basamento in tufo; le diverse fasi di lavoro a ogni singola colonna indagata hanno contribuito all'intervento di ricostruzione. Nel peristilio (31) è stata rinvenuta una porzione della decorazione pavimentale ed è stato oggetto di un'accurata e dettagliata indagine archeologica: Il pavimento in opus signinum con tessere disposte a definire un motivo geometrico intorno alle colonne e rosette lungo il tappeto. Il pavimento si presenta coperto da depositi superficiali, lacunoso in più punti, con frammenti fuori sede e preparazione a vista. Per poter valutare l'intervento di conservazione si è reso necessario realizzare una pulizia archeologica del piano pavimentale, a seguito della quale è stata elaborata la documentazione archeologica, con analisi delle evidenze prima non visibili. Nel settore meridionale del peristilio durante la pulizia si è evidenziata una traccia circolare, non meglio indagata, riempita con frammenti di malta e cocciopesto reimpiegato, probabilmente di pertinenza della stessa pavimentazione. Ai fini della fruizione si è ancora realizzato nella Domus un esempio di allestimento volto a migliorare la fruizione dell'area archeologica. Si tratta di una sorta di "esperimento" all'interno degli scavi di Pompei, dove vengono realizzati spazi espositivi con i reperti che vi sono stati rinvenuti, in copia o, ove possibile, in originale, proprio nell'ottica di una più ampia e coinvolgente fruizione. Nel corso degli scavi nel 1861-62 si sono susseguite diverse scoperte: nel cubiculum 25 vengono trovati 4 scheletri ed un altro è rinvenuto in uno scasso nel muro tra l'ambiente 25 ed il 26. Questi corpi, così come i resti di un sesto scheletro proveniente da un altro ambiente della casa, si trovavano sullo strato depositato dai surges della seconda fase eruttiva ed appartenevano a persone che erano rimaste bloccate negli ambienti in cui si erano rifugiate. All'interno della domus è stato previsto l'allestimento permanente di tre calchi originali. Si è proceduto alla collocazione e fissaggio degli stessi sul tavolo in vetro e acciaio previsto nel nuovo allestimento. I calchi sono stati staccati dal loro supporto e fissati in maniera attenta reimpiegando le stesse basette sul nuovo supporto. Meritevole di attenzione sono stati anche gli impluvia della domus (amb. 3 e 24), con gli arredi marmorei (cartibulum e fontane) che presentavano un diffuso degrado biologico. Patine di colore scuro coprivano tutte le superfici. La situazione era maggiormente compromessa nell'ambiente 3 dove si rilevano vecchie lesioni, stuccate nel corso di precedenti interventi con materiale cementizio; sul cartibulum è stato usato un materiale coloso, probabilmente una resina. Sul plinto della fontana dell'ambiente 24 era impropriamente collocata la lastra di marmo del chiusino. Gli arredi e i rivestimenti marmorei sono stati

oggetto di una pulitura finalizzata alla rimozione delle colonizzazioni biologiche. Dopo la pulitura a secco sono stati realizzati 3 cicli di impacchi nell'ambiente 3 con un impacco di polpa di carta e sepiolite 1:2 e uno nell'ambiente 24 un ciclo di polpa di carta e sepiolite 1:1. Per completare il lavoro sono state realizzate delle scialbature sulle stuccature in cemento. Su entrambi gli impluvia è stato fatto un trattamento protettivo biocida finale. Sono stati ricollocati la lastra di marmo del chiusino a Ovest dell'impluvio (amb.24), il puteale in marmo a Sud dell'impluvio (amb.3). Si è inoltre provveduto a chiudere provvisoriamente con una fascetta in gomma i due pozzetti in marmo tra le fauces e l'impluvio, nell'attesa di realizzare una definitiva guarnizione in silicone sagomata ad hoc.



Fig.1. Atrio ambiente 3



Fig.2 Posa in opera delle fibre di Basalto



Fig. 3 Peristilio ambiente 18



Fig.4 Peristilio ambiente 31



Fig.5 ambiente 1

Bibliografia e riferimenti

Archer W.C. [1994]: "The paintings" ... Pitture e mosaici V

Fiorelli G., [1862]: *Pompeianarum Antiquitatum Historia*, Vol. 2, s.e., Neapoli

Fiorelli G.[1875]: *Descrizione di Pompei*, Napoli

Minervini G. [1852]: *Monumenti antichi inediti posseduti da Raffaele Barone negoziante di antichità con brevi dilucidazioni di Giulio Minervini. Volume primo*, Stabilimento Tipografico del Tramater, Napoli

Niccolini F.[1856]: *Strada Stabiana. Casa numero 57*, in Fausto, Felice ed Antonio Niccolini, *Le case e i monumenti di Pompei disegnati e descritti*, vol. 1, fasc. 7, (fascicolo di 3 tavole e 6 pagine di testo).

**L'Opus Caccabaceum. Una soluzione antica e
riutilizzata nei secoli XVIII e XIX**

*Opus Caccabaceum. An ancient solution and
reused in the eighteenth and nineteenth centuries*

Luigi Marino

Parole Chiave: tecniche costruttive, strutture leggere,
riutilizzo, terracotta, conservazione

***Keywords:** construction techniques, light structures, reuse,
terracotta, conservation*

Abstract

El *Opus Caccabaceum*. Una solución creada antiguamente y reutilizada en los siglos XVIII y XIX

Las primeras indicaciones críticas sobre el dispositivo *opus caccabaceum* fueron dadas por Promis en 1875 en el marco de un estudio sobre términos latinos sobre arquitectura posteriores a Vitruvio o desconocidos por el mismo. Los *caccabi* se utilizaban para las estructuras de bóvedas. Las modalidades de construcción presentan dos períodos fundamentales: el primero se desarrolla en el segundo y en el tercer siglo después de Cristo en África del Norte (sobre todo bóvedas de cañón) y el segundo, de gran difusión, aparece en Italia en la era paleocristiana.

El *opus caccabaceum* desaparece en los siglos VI y VII. Más de mil años después se vuelve a observar un procedimiento de construcción único que deriva del primitivo para seguir, aunque de manera diferente, hasta la segunda guerra mundial. En algunas partes del sur de Italia se comienzan a construir nuevamente estructuras de bóveda, losas planas y tabiques con nuevos elementos de terracota. Las denominaciones de los *caccabi* varían de una región a otra.

Nuestra investigación, que inició en Molise, se extendió a una línea temporal y geográfica más amplia. El catálogo de las columnas descubiertas hasta la actualidad, sobre todo las que aún se encuentran en construcción, traza algunos aspectos de la historia de la construcción no solo popular, sino a veces extendida a edificios de gran relevancia. Aún hoy los ejemplos que han sobrevivido demuestran que se trata de un sistema de construcción fiable, de bajo coste y que no exigía mano de obra especializada.

Los ejemplos de columnas que hemos podido analizar han sido agrupados, para mayor comodidad, en dos clases: las de forma cilíndrica y las troncocónicas, independientemente de las dimensiones que resultan muy variables en los diversos tipos. Las huellas demuestran que en todos los casos las columnas estaban destinadas a ser sumergidas en mortero.

La secuencia de montaje es la siguiente: las primeras hileras se colocan a los lados de la bóveda de cañón, de forma paralela al arco generador de la bóveda de cañón aprovechando la forma troncocónica o sedimentos extradorsales de mortero. Los elementos “se pegan” solo en las superficies de contacto, luego los espacios vacíos se sellarán con morteros cola. Las hileras siguientes se apoyan sobre las inferiores, controlando la extracción de la arcilla para que cada una de ellas se coloque entre dos inferiores. Todas las hileras sucesivas se realizan de la misma manera. Quedan escalonadas por medio módulo para formar una serie de filas paralelas, perfectamente unidas entre sí. A la vez, se crea una nueva red que se desarrolla en tres direcciones diferentes.

El desarrollo de hileras paralelas en varias direcciones crea una asociación hexagonal de siete elementos de arcilla, que puede ser considerada el módulo generador de la estructura. Esta estructura puede desarrollarse en todas las

direcciones dadas por las alineaciones de cada una de las hileras de columnas. La disposición de las columnas sigue un diseño quince de siete elementos. Cabe destacar que todas estas hileras de columnas, en las diferentes direcciones de desarrollo, constituyen estructuras sujetadas solo por compresión.

El patrón resistente (se inspira de manera sorprendente en los principios de las estructuras alveolares) se basa en la capacidad del dispositivo para excluir componentes flexibles, que requerirían secciones sólidas, para resistir solo a los esfuerzos axiales.

Los ejemplos de estructuras abovedadas con columnas que conocemos son testimonios de una significativa capacidad de resistencia incluso a los esfuerzos extremos, incluido el sísmico. En este sentido, han sido sometidas a diversas pruebas y han generado esos pequeños ajustes que la sabiduría de los desconocidos y solo aparentemente ingenuos constructores han sabido aplicar.

1. Storia locale e cultura del costruire

Nella storia del costruito avviene di frequente che alcuni fenomeni possano svilupparsi in maniera più o meno omogenea per periodi lunghi e tali da stabilizzarne gli sviluppi successivi. In tal modo è molto probabile che diventino, almeno in linea di massima, prevedibili. Più frequentemente, però, si possono avere avvenimenti che creano le condizioni per cambiamenti accelerati e/o improvvisi. Questi, a loro volta, con reazioni a catena, causeranno deviazioni di direzione di uno sviluppo che fino a quel momento poteva sembrare quasi immutabile. Avviene spesso che nella ricostruzione di un quadro storico, e quello dell'architettura in particolare, si tenda a riferirsi a orizzonti ampi e ben collaudati in maniera che ogni elemento possa essere ricondotto in un dominio conosciuto e, per molti aspetti, rassicurante. In un tale contesto, limitate possono apparire le attenzioni alla cosiddetta "storia locale" e a quella che è stata definita "cultura subalterna". Questa viene vista come qualcosa di talmente circoscritto da non meritare analisi specialistiche, ma soltanto analisi "globali" e valutazioni di sintesi. La storia locale non rappresenta la derivazione, più o meno diretta e in scala ridotta, dei grandi avvenimenti storici, ma costituisce il luogo nel quale si sviluppa, fin dall'inizio, una storia "... degli uomini nei loro stretti rapporti con la terra" (Braudel, 1950).

Il rapporto tra la tecnica e il sociale ha una lunga storia; l'attenzione si è focalizzata soprattutto intorno alle relazioni tra l'uomo e il suo ambiente per mezzo della tecnologia. La "tecnologia culturale" si occupa, tra l'altro, dei mezzi d'azione sulla materia e sulle modalità con cui l'uomo ha utilizzato le risorse locali modificandole per renderle utilizzabili con semplicità, con prezzi sostenibili ed efficacia applicativa. Gli *oggetti materiali* possono assumere un ruolo di *prova obbiettiva*, testimoni e campioni significativi. Non possiamo sottovalutare, però, il rischio che i "reperti" vengano interpretati in maniera erranea a causa dei frequenti cambiamenti d'uso e/o adattamenti oppure a causa di veri "riti di passaggio" [J.Jamin, 1985; M.Maus, 1947]. Anche nella storia dell'architettura per comprendere pienamente un oggetto, sia esso un utensile o un elemento costruttivo, è necessario esaminare le tracce sopravvissute per dedurne il funzionamento e le attività nelle quali è stato implicato [De Beaune, 2000] integrando le informazioni che provengono dagli *archivi di carta* con quelli che si possono (e si devono) ricavare dagli *archivi del suolo*. Non si tratta, evidentemente, di una semplice sommatoria di notizie presenti in una cultura. Fondamentali sono le relazioni che si riesce a coinvolgere in ogni fase della complessa *catena operatoria* [R.Cresswell, 1983] che anche la più semplice azione sul territorio comporta. La conoscenza dei materiali locali e delle tecnologie tradizionali, collaudate da impieghi ripetuti nel tempo (e frequentemente non documentate con testi scritti), in osservanza di *regole dell'arte* (talvolta solamente di valenza locale), può rappresentare una ricchezza di cui disporre ancora oggi, soprattutto quando i nuovi materiali e le tecnologie "innovative" si rivelano non adeguati a risolvere i

problemi costruttivi e manutentivi; quando addirittura non si rivelano potenzialmente pericolosi perché destinati a peggiorare in futuro. Un sintomo grave di questa situazione è costituito, tra l'altro, dall'impovertimento del lessico del costruire tradizionale anche presso gli addetti ai lavori.

Queste riflessioni sono alla base di una ricerca condotta all'approfondimento delle conoscenze di alcuni aspetti della storia del costruire locale; una storia ben testimoniata da una ricchezza insospettabile di tracce materiali che fa singolare contrasto con modelli dell'abitare in progressiva e inarrestabile trasformazione.

La ricerca è stata avviata in occasione di un progetto di restauro della Cappella di S.Gennaro a Lucito, una piccola città della regione Molise [L.Marino, 1987: 101-106]; in seguito è stata ampliata in altre aree dell'Italia meridionale e oltre.

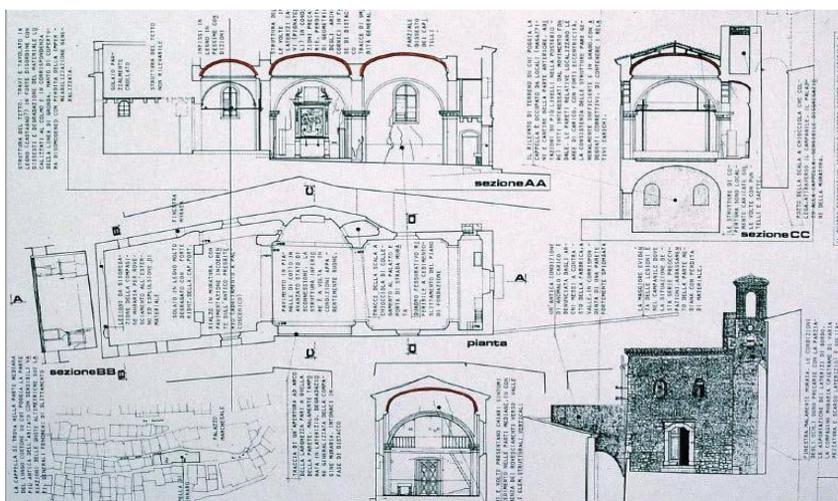


Figura 1 La cappella di San Gennaro a Lucito (Molise) con resti di strutture volte leggere

Il nostro impegno era mirato al miglioramento delle condizioni strutturali in cui si trovava l'edificio ma era diretto anche alla valorizzazione di quegli elementi che costituiscono caratteri peculiari della cultura del costruire locale e il cui rispetto e valorizzazione sono condizioni indispensabili per evitare (o almeno ridurre) il rischio di una perdita irreversibile del patrimonio storico. L'abbassamento dei livelli del senso di "appartenenza" culturale di una Comunità e la causa principale della forte riduzione dell'impegno alla tutela e alla valorizzazione della cultura locale.

La presentazione di una prima relazione [L.Marino e R.Franchi, 1987] sembrava aver provocato un certo interesse verso questa procedura costruttiva ma, al

contrario, dopo tre decenni è facile verificare quanta poca attenzione sia stata riservata a questo singolare apparecchio e constatare, anzi, la progressiva scomparsa di molti manufatti perché non sono conosciuti e non sono stati riconosciuti *in situ* e, quindi, eliminati con eccessiva disinvoltura. La giustificazione più frequente è la necessità di “adeguare” le strutture a una normativa “di sicurezza” che risulta, di fatto, poco rispettosa del patrimonio storico. Non di rado, tali strutture sono state scoperte soltanto in seguito a crolli o in occasione di interventi demolitori; pare credibile che molti edifici conservino ancora vaste porzioni di murature apparecchiate con fittili non immediatamente riconoscibili per il generale buono stato di conservazione dei singoli elementi e degli intonaci che li coprono. Durante il terremoto che ha colpito il Molise nel 2002 abbiamo verificato, tra l'altro, l'ottima “risposta” che le strutture voltate (ma anche solai piani e tramezzature) leggere hanno potuto offrire contro le sollecitazioni sismiche. L'affidabilità strutturale dei pignatielli è stata verificata in numerose occasioni. Anche nel caso di crollo (spesso provocato da incuria ma anche da interventi errati) della volta a botte i singoli elementi caduti nella maggior parte dei casi non si frantumano tanto da poter essere riutilizzati.

2. *L'opus caccabaceum*

L'apparecchio murario di cui ci occupiamo, utilizzato prevalentemente per la costruzione di cupole e volte si basa sull'impiego di singolari elementi vuoti di cotto [Marino, 2008: 61-65; Marino, Toniatti, 2016: 37-45]. I riferimenti più immediati vanno cercati nei *tubi fittiles* presenti nell'ingegneria romana e bizantina ma sensibili sono le differenze tipologiche e di impiego e, soprattutto, i periodi in cui sono stati utilizzati. Il termine deriva da quello latino di *caccavus* e ancora presente (*caccavella*) in molti dialetti dell'Italia meridionale per indicare un tegame di terracotta.

Uno degli esempi più antichi di *caccabi* pare essere un piccolo forno a Pompei. Per i metodi di costruzione si fa riferimento a due periodi fondamentali: il primo è databile al secondo e terzo secolo d.C. prevalentemente in Nord Africa (soprattutto per la realizzazione di volte a botte); la seconda, più ampiamente distribuita, apparirà in Italia al momento della prima cristianità¹. Nel contesto africano (Tunisia et Algeria) sono state proposte tipologie che nei tempi più antichi tengono conto di due modelli principali: i *tubuli* a cilindro corto e quelli a punta allungata che sono impiegati sia nelle architetture civili che nelle chiese

¹ Sulle strutture antiche apparecchiate con elementi fittili esiste una bibliografia vasta e ben conosciuta. In questa occasione ci limitiamo a ricordare soltanto i più importanti: Bergau 1857, Choisy 1883, Monneret de Villard 1924, Verzone 1936, Giovannoni 1940, De Angelis D'Ossat 1941, Crema 1952, Bovini 1960.

cristiane (*tubuli* lunghi e punta corta). Le evoluzioni più sensibili dei modelli si avranno tra il terzo e il quarto secolo. Gli esempi più importanti del secondo periodo sono a Ravenna, nella Basilica Ursiana (370-96) nella santa Agata, al battistero Neoniano - undici metri di larghezza - (449-458), la cupola di San Vitale (quasi un secolo dopo) che raggiunge i sedici metri di luce. A Roma si trovano a Giano Bifronte e a Santo Stefano (dove i tubuli sono stati usati mammati con strisce a spirale), nelle absidi S. Agata dei Goti e dei Santi Cosma e Damiano. Esempi importanti sono anche a Milano, Vercelli e Grado. Si tratta di soluzioni tecnologiche semplici eppure talvolta geniali che hanno contribuito a un sensibile rinnovamento del modo di costruire sostituendo, prima di tutto, elementi leggeri a elementi pesanti semplificandone le procedure di apparecchio. La manifattura di oggetti di terracotta (sia per uso domestico che per l'edilizia) era molto sviluppata sia a livello "privato" sia a livello che potremmo definire "industriale". Ne sono testimoni i ricchi e frequenti toponimi che ne ricordano l'esistenza; a Roma è interessante la presenza della chiesa di Santa Maria dei "Calderari" demolita nel 1881.

Gli elementi in terracotta possono essere di tipologie diverse ma molto simili nelle modalità di utilizzo: si tratta di elementi apparecchiati in forma di catene nelle quali ogni elemento è inserito in un altro. I più comuni sono i *tubuli* a forma di siringa (detti anche *bottiglie fittili*) o piccole anfore (o tappi di anfore più grandi) di forma ovoidale oppure anforischi piriformi [Guagliumi, 1987]. Nei monumenti cristiani la disposizione dei tubuli in laterizio avviene di regola per strati orizzontali e le volte sono formate da un doppio involucro costituito da filari di tubi disposti in piano e perpendicolari alle direttrici. Giustamente, in una cupola o in una volta i filari disegnano, per ogni piano sovrapposto, una curva circolare che segue un parallelo della superficie di rotazione. In Africa i tubuli sono assemblati per filari verticali (o inclinati di poco come nella geometria delle volte nubiane) per formare curve paraboliche che, idealmente ribaltate, non si differenziano molto dalla catenaria. Il modello forse è da ricercare nelle volte sasanidi. Per la loro costruzione si aveva bisogno di centinature molto ridotte. Non solo queste strutture sono autoportanti (lavorano a compressione pura su tutta la sezione) ma sono destinate a sopportare dei carichi fissi (cappa estradorsale di calcestruzzo) e carichi accidentali. In realtà non raramente si è potuto verificare che le strutture voltate si sono trovate a reggere carichi anomali, spesso concentrati, come elementi dissestati delle coperture malamente puntellati. Per ridurre carichi anomali dovuti a colature di malta molto spesso la gettata estradorsale veniva realizzata in due volte: la prima gettata creava su tutta la struttura uno strato uniforme che, lasciato essiccare, costituiva la base per la posa di un secondo strato e per l'eventuale riempimento alle reni. Solo in pochi casi, però, abbiamo potuto riscontrare la presenza di strutture di contrasto, frenelli realizzati con gli stessi elementi fittili e con materiali leggeri di recupero.

3. I p'gnatiell'

Le prime indicazioni critiche sull'apparecchio "moderno" in tubi fittili sono state date da C.Promis [1875] nel contesto di uno studio da lui condotto sui termini latini posteriori a Vitruvio o a lui ignoti. In precedenza se ne era occupato il Rondelet che aveva citato fittili a sezione quadrata e anche ottagonale dichiarando apertamente la sua sfiducia nel loro uso, soprattutto dopo i crolli del sisma del 1782, proponendo piuttosto rinforzi con elementi metallici. E' da osservare che un disegno di Francesco di Giorgio Martini rappresenta in maniera efficace una volta a botte realizzata con elementi cavi che sembrano troncoconici (e perciò radiali), denominati *tomboli* o *cannoni*, apparecchiati perpendicolarmente così come si troveranno alcuni secoli più tardi. L'*opus caccabaceum* sembra scomparire tra il sesto e il settimo secolo, salvo qualche sporadico impiego più tardivo. Più di un millennio dopo una singolare procedura costruttiva apparirà in alcune aree dell'Italia meridionale, forse le più antiche sono di area napoletana [A.Aveta, 1987]; derivata dall'antico, presenta interessanti novità tecnologiche e funzionali. Elementi cavi in cotto vedranno un vasto impiego che, sia pur con storie differenti nelle diverse aree, continuerà localmente fino alla seconda guerra mondiale per la costruzione di strutture voltate ma anche solai con voltine, muri divisorii, tamponature e cornici aggettanti. Le voltine sono a sesto fortemente ribassato rette da putrelle di ferro. L'altezza delle longarine supera mediamente di 40-50 mm l'altezza dei fittili corrispondenti allo spessore medio della caldana impiegata nella parte superiore della soletta. Una procedura utile, forse, ad evitare che gli addetti alla manutenzione potessero poggiare i piedi direttamente sui fittili. Va riconosciuto come la molteplicità degli avvenimenti che riguardano la costruzione (realizzazione, modifiche, abbandono e recupero) e la difficoltà di registrazione condizionano la riconoscibilità e le classificazioni suggerendo gruppi e modelli che non possono essere omogenei ma che, con l'ampliamento delle casistiche e delle indagini, devono essere riformulati. Allo stesso tempo vanno rivisti i rapporti tra utilizzo (o riutilizzo) di soluzioni già esistenti e il "mistero della creatività" su cui molti autori si appoggiano quando non si spiegano le dinamiche delle naturali evoluzioni nell'uso degli stessi materiali nello sviluppo degli utensili e delle soluzioni costruttive.

Nel tempo abbiamo esteso la ricerca a un orizzonte temporale e geografico più ampio. Il catalogo dei pignatielli rinvenuti, soprattutto quelli ancora in opera, delineano alcuni aspetti della storia costruttiva non solo vernacolare ma, talvolta, estesa anche a edifici di primaria importanza. Gli esempi sopravvissuti dimostrano come si tratti di un sistema costruttivo affidabile, non costoso e che non aveva bisogno di maestranze specializzate. I pignatielli possono essere raggruppati in classi tipologiche riconoscibili (per forma, materiale, fabbricazione, e funzione). Si ha motivo di ritenere che la maggior parte di pignatielli venissero costruiti in piccole fornaci artigianali ben distribuite nel territorio in corrispondenza delle aree di affioramento di argille utilizzabili. A Campobasso, nella zona di S. Antonio, per

esempio, c'era la *via delle creterie*. Nel *Libro dove si registrano gl'Introiti, ed Esiti di questa Madrice chiesa di Morrone ...* nel 1838 (9?) è annotata la spesa di ducati 2,55 per “*compra di n° 1000 pignatelli pei divisori uno con il trasporto*” e di 13 ducati per “*forme 30 di gesso*”. Un'area di produzione di maggiore importanza era a S.Lorenzello di Cerreto Sannita. Le denominazioni stesse possono variare da regione a regione: i fittili cilindrici cavi sono noti come *p'gnatiell'*, *pinciariell'*, *carusiell'* (anche per indicare i salvadadari), *bombole* o *bubbole*, *'mmumm'* e *caccavelle* (anche per indicare in generale tegami di terracotta).

I pignatielli che abbiamo potuto analizzare sono stati raggruppati, per comodità, in due classi: quelli a forma cilindrica e quelli a tronco di cono, indipendentemente dalle dimensioni che possono risultare molto variabili nei vari tipi. Gli spessori delle pareti possono variare da 5 a 10 mm.

I fittili cilindrici sono di vario tipo: le basi circolari possono variare da 75 a 13 mm con una maggiore concentrazione di esempi compresi tra 95 e 100. Le altezze sono variabili con maggiore frequenza passando da circa 50 mm per arrivare a 110



Figura 2 Campionatura dei diversi modelli di pignatielli a cui va aggiunta la eventuale convessità della base superiore. Tra gli esempi di misura anomala che abbiamo rinvenuto si

ricordano un elemento alto solo 40 mm (destinato alla formazione di una parete divisoria) e altri lunghi oltre 200 mm (destinati all'allestimento di cornici). Un esempio che viene dal napoletano ha la base di 125 mm e un'altezza di 155 più 15 mm di convessità della base superiore; era stato utilizzato per l'apparecchio di una volta a botte con unghie di circa 6 metri di luce. Di grande interesse sono alcuni fittili sviluppati in lunghezza (provengono dal castello di Circello) nei quali la base inferiore è stata resa quadrangolare da una sommaria rilavorazione del cerchio prima della cottura.

Quelli a tronco di cono sembrano essere più regolari riscontrandosi dimensioni solitamente più omogenei. Le basi inferiori sono comprese solitamente tra 100 e 110 mm, quelle superiori vanno da 110 a 120 con altezze variabili ma comprese tra i 45 e i 70 mm a cui va aggiunta la convessità superiore. Il rapporto tra i diametri delle due basi sembra essere di norma costante; tale condizione, pur con le dovute cautele, può far assimilare i pignatielli a concii radiali.

Elemento comune a tutti i fittili è la base inferiore piatta mentre quella superiore può essere piatta o più o meno convessa. La faccia superiore è di regola forata, procedura efficace per evitare la deformazione causata dall'aria calda durante la cottura. A volte si vedono le striature superficiali dovute alla pressione delle dita del vasaio per ridurre i lucignoli. Altre volte le rigature sono impresse a stecca, solo raramente le superfici sono ben lisce. Il più delle volte è possibile riconoscere il dischetto di base e le tracce lasciate dalla corda o dal filo di metallo per staccare il pignatiello dal piano di lavoro. La faccia superiore, quando convessa sembra essere stata realizzata con il metodo classico usato per la fabbricazione di vasi e stoviglie. In alcuni casi sembra che la parete cilindrica sia stata applicata sul dischetto di base, preventivamente appoggiato sul piatto rotante; altre volte, invece, sembra che la parte di base sia stata applicata alla fine e liscia lungo i bordi. Spesso si vedono i riccioli lasciati dalla spatola sull'argilla fresca; in alcuni casi (soprattutto per pignatielli molto bassi e con le due basi piatte) è probabile che sia stato costruito su un piatto fisso. La fattura è solitamente rozza vista la funzione che dovevano svolgere. D'altra parte, le tracce di malta dimostrano che in tutti i casi i pignatielli erano destinati ad essere affogati nella malta. Nel caso di pignatielli a tronco di cono possiamo ricordare che le basi circolari inferiori hanno misure comprese mediamente tra i 10 e i 12 centimetri, quelle superiori tra gli 11 e i 13.

4. La logica costruttiva: una simulazione

Per analizzare e documentare la logica delle strutture in elementi di argilla cotta a sezione circolare abbiamo adottato dei tappi di sughero, elementi che per forma e proporzione possono essere assimilati ai pignatielli. Siamo consapevoli,

evidentemente, che questa rappresentazione è soltanto un “gioco di simulazione” [Mathieu, 2002] comodo, ma soltanto un gioco che può, però, fornire interessanti indicazioni. La sequenza di montaggio è questa: i primi filari vengono posizionati sui lati della volta a botte, parallelamente alla generatrice della volta stessa sfruttando la forma a tronco di cono oppure riporti riporti extradorsali di malta. I singoli elementi vengono “incollati” tra loro soltanto nelle superfici di contatto; i vuoti saranno subito dopo sigillati con colature di malta. La malta è solitamente costituita da gesso con l’aggiunta, come inerti, di frammenti di rocce carbonatiche (15-20%). Non di rado la miscela è stata alleggerita con elementi vegetali come paglia di cereali.

La composizione mineralogica più ricorrente dei pignatielli è caratterizzata dalla presenza di quarzo (19,5%), feldspati alcalini (8%), plagioclasti (10%), calcite (25%) e fillosilicati (37%). Spesso si trovano tracce di ossido di ferro e clasti derivati dal riutilizzo di altri materiali cotti. La presenza di calcite e materiali argillosi permette di ipotizzare temperature di cottura inferiori a quelle usuali nelle fornaci.

L’uso di malte di gesso è stato segnalato, dai tempi più antichi, in numerose occasioni; in particolare quando si dovevano “gettare” strutture ampie senza centinature. Per il battistero di Ravenna, per esempio, *“l’adozione del gesso fu evidentemente dovuta al rapido grado della sua essiccabilità, sicché i fittili, anche se collocati in oggetto, tenevano facilmente il loro posto”* [Bovini, 1960]. Nei documenti d’archivio del Molise spesso la malta è indicata come *“cola di gesso”*. I filari successivi poggiano su quello inferiore, avendo l’accortezza di slittare i fittili in maniera che ognuno di essi venga alloggiato tra due inferiori. In tal modo si assicura ad ogni pignatiello il contatto con altri due elementi appartenenti al primo allineamento.

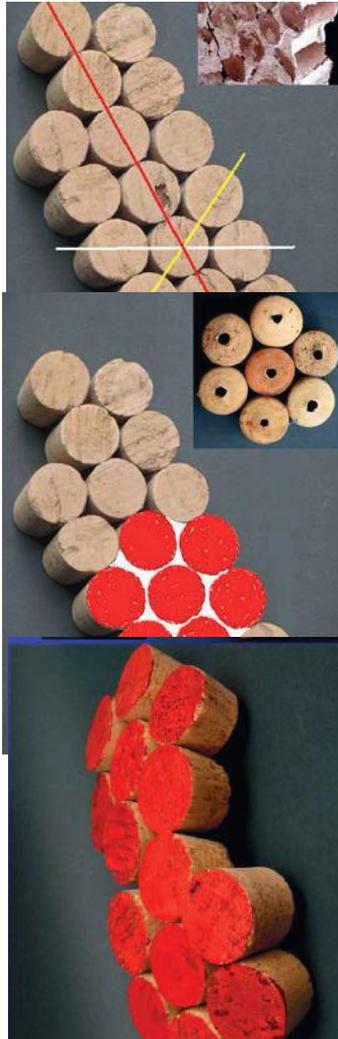


Figura 3 La logica di assemblaggio dei singoli fittili (moduli di 7 elementi) è stata simulata con tappi di sughero a tronco di cono

Anche se i pignatielli impiegati tendono ad essere tutti della stessa dimensione, in alcuni casi si è potuto accertare l'impiego di elementi di taglia maggiore o minore, probabilmente per contenere eventuali anomalie avvenute nelle precedenti file. Allo stesso modo, talvolta per correggere imprecisioni di curvatura nella verticale,

sono stati adottati pignatielli rovesciati oppure elementi non radiali. Con la prosecuzione del posizionamento dei fittili si assicura un maggior contatto tra loro. Nel caso di conci che possiamo definire radiali abbiamo accertato che quasi sempre è costante la proporzione tra le due facce. La verifica grafica del cono teorico definito dal rapporto tra le due facce ha rivelato che il vertice è posto prevalentemente a 120-140 cm dalla faccia inferiore; in alcuni casi può arrivare anche a superare i 200 cm se si corregge il rapporto tra i singoli pignatielli modificando la quantità di malta degli interstizi. Tutti i filari successivi seguono la stessa regola ma risultano sfalsati di un mezzo modulo in maniera da formare una serie di file parallele, ben connesse tra loro. In questo modo si crea una nuova maglia che si sviluppa nelle tre diverse direzioni.

Lo sviluppo per file parallele a più direzioni crea una associazione esagonale di sette elementi di argilla che può essere considerato il modulo generatore della struttura. Il valore della tensione dei singoli elementi è con buona approssimazione riconducibile alla formula $\delta = Pr$ (δ =tensione, P=pressione, r=raggio).

Questa struttura si può sviluppare in tutte le direzioni date dagli allineamenti delle singole file di pignatielli. Localmente sono state adottate anche soluzioni diverse, in relazione alla singolarità delle geometrie dei vani da coprire e per particolari situazioni strutturali. Questo sistema è particolarmente efficace nel caso di volte a botte ma, soprattutto, nel caso di volte a vela a doppia curvatura (non necessariamente uguali nelle due direzioni). In molti casi si è potuto notare come, quando la struttura voltata ha ceduto, le parti crollate tendono ad adeguarsi alla geometria dell'apparecchio di macrovolumi corrispondenti a questi moduli esagonali. Resta da capire se gli antichi costruttori fossero realmente consapevoli della affidabilità di questo sistema o se, al contrario, si siano basati soltanto sulla pratica acquisita nel tempo e trasmessa di generazione in generazione collaudandone nel tempo l'affidabilità. I vuoti sono riempiti di colate di gesso (più raramente calce con inerti piccoli e solitamente non ben distribuiti) mentre la superficie di estradosso è coperta da uno/due strati di malta posta a formare una cappa. La superficie di intradosso, invece è accuratamente intonacata e spesso decorata con stucchi a forte spessore.

Importante notare come tutte queste file di pignatielli, nelle diverse direzioni di sviluppo, costituiscono strutture soggette soltanto a compressione. In alcuni casi è stato fatto un rinforzo di rinfianco alle reni utilizzando una doppia o tripla fila di pignatielli riempiti di malta, dopo aver eliminata la parte superiore. E' evidente la preoccupazione di far corrispondere all'incremento di sforzo una sezione resistente più efficace. Lo schema resistente (riprende sorprendentemente i principi delle strutture alveolate) si basa sulla capacità del dispositivo di escludere componenti flettenti, che richiederebbero sezioni massicce, per far vivere i soli sforzi assiali. La volta in pignatielli può essere pensata come "schiacciata" sul suo piano tangente medio, e il suo funzionamento meccanico ricondotto a quello

della superficie da questo generata. Tale superficie risulta assai prossima alla funicolare dei carichi (qui sostanzialmente derivanti dal solo peso proprio) e, dunque, soggetta ad un regime statico che possiamo definire di tipo *membrana*.

5. Il funzionamento strutturale: la *membrana*

Le volte in pignatielli rappresentano un dispositivo costruttivo semplice, economico ma, allo stesso tempo, sorprendentemente efficace. Appartiene a quella classe di soluzioni strutturali che basano le loro prestazioni sulla “forma” i cui caratteri sono costituiti dalla leggerezza, ottenuta dall'accostamento di pseudocilindri vuoti, dalla curvatura (semplice o doppia) e da uno spessore molto ridotto (mediamente non superiore ai 10-14 cm per luci di molti metri). Lo schema resistente può essere compreso se si immagina di tagliare con un piano medio una porzione di volta nella direzione della sua estensione; si vede facilmente come il sistema sia composto da una matrice, costituita dal materiale legante, intervallata da una fitta trama di anelli, o asole, in laterizio. La responsabilità resistente è compito della matrice, capace di realizzare un mezzo continuo attraverso cui fluiscono gli sforzi, ma importante è il compito degli elementi cilindrici che consentono il trasferimento delle azioni interne favorendo al contempo la possibilità di alleggerimento. Non può sfuggire il confronto con le strutture alveolate, presenti in natura tra i radiolari e ispiratrici di molti sistemi voltati a guscio o in conglomerato alleggerito. Carattere saliente del funzionamento statico è la capacità del dispositivo di escludere, in virtù della esile geometria adottata, componenti flettenti (che richiederebbero sezioni massicce) per far vivere i soli sforzi assiali. Il modello più pertinente che ne può interpretare il regime statico è certamente la *teoria della membrana*; in base a questa teoria si immagina la volta “schiacciata” sul suo piano tangente medio, e si riconduce il suo funzionamento meccanico a quello associato alla sola superficie così generata [Pizzetti, Zoragno Trisciunglio, 1980].

Tale superficie risulta, nel nostro caso, assai prossima alla funicolare dei carichi (qui sostanzialmente derivanti dal solo peso proprio) e dunque soggetta ad un regime di sollecitazione che trova l'equilibrio proprio in assenza di azioni flettenti. Si tratta dell'estensione spaziale del funzionamento che, nel piano, attribuiremmo ad una struttura ben disegnata ad arco, con il vantaggio di poter contare su un più facile raggiungimento dell'equilibrio grazie al contributo delle componenti assiali agenti nella terza dimensione. Sia nelle soluzioni frequenti di sezioni “a botte” che nelle possibili varianti, grazie a geometrie sempre ribassate e a spessori sottili, la superficie media risulta essere totalmente compressa. Tutto ciò si ricava con facilità rifacendosi alla soluzione statica di una struttura nota e molto prossima nel disegno a quella delle nostre volte, vale a dire quella delle cupole sferiche sottili

molto ribassate [E.Torroja, 1966], ove si evidenzia appunto un regime di sforzi di schiacciamento in tutte le direzioni (lungo i meridiani e lungo i paralleli). Ora le coperture in *pignatelli*, siano esse a botte o a vela o composte, non si discostano, in geometria e distribuzione dei carichi, significativamente da queste talché risulta lecito mutuarne la soluzione per quanto riguarda la qualità delle sollecitazioni. In più la notevole leggerezza dell'apparecchio (il peso di un pignatiello di taglia medio-grande è di circa 300 gr., ne risulta un peso medio a mq (compresa la caldana estradorsale e l'intonaco intradorsale) che non arriva a 80-100 kg.) garantisce un'entità degli sforzi molto modesta, dunque compatibile, e con enormi margini di sicurezza, con le capacità resistenti del dispositivo (sostanzialmente non idonee a sopportare tensioni di trazione). Queste capacità sono concentrate nelle nervature (a forma dendritica) in cui si concentra la matrice in gesso (o calce) e trovano nei gusci chiusi cilindrici in laterizio mezzi per l'irrigidimento del composito e per il trasferimento dei carichi perfettamente efficienti. L'eventuale problema delle azioni di spinta alle imposte è tenuto sotto controllo dalla modestia dei carichi in gioco; ma a questo si aggiunge il fatto notevole che, essendo caratteristica della malta in gesso, adottata in prevalenza sui dispositivi di maggior estensione, il suo aumento di volume durante la presa, tale comportamento garantisce la conquista di uno stato non fessurato all'insieme e dunque un carattere di monoliticità (non spingente) che può essere vinto solo da possibili cedimenti o cambiamenti di configurazione dei muri perimetrali.

Va ricordato a questo proposito il carattere peculiare del legante gessoso; esso è presente in molte culture costruttive dal Mediterraneo a tutto l'Oriente con ruolo strutturale di grande efficienza testimoniato da prestazioni resistenti in compressione che possono tranquillamente superare i 15 Mpa [Fratini, Rovero, Stipo, Tonietti, 2012].

Osservazione non secondaria sulla tecnica adottata è la consuetudine (sebbene non sia una regola) di riempire i vasi disposti intorno ai rinfranchi e vicini alle imposte con malta, oppure l'utilizzo di *pignatelli* di maggior spessore nelle stesse collocazioni (spesso assecondati anche da strati maggiorati di malta in posizione estradorsale), con la evidente preoccupazione di far corrispondere all'incremento di sforzo una sezione resistente più efficace. Le strutture voltate con fittili sono state utilizzate soltanto per interni, venivano allestite soltanto quando il vano era stato già coperto dal tetto; in alcuni casi sono ancora evidenti i rimaneggiamenti delle murature d'ambito per la formazione del piano di posa del primo filare di fittili. In alcuni casi si è riscontrata la presenza di una risega nella muratura utilizzata (o una traccia scavata nel muro) come alloggiamento per i primi pignatelli; altre volte si è notato come si sia preferito affidare le strutture voltate alla sola aderenza alle pareti, lasciate appositamente ruvide.

Le strutture voltate superstiti rappresentano oggi in corpus documentario di grande interesse. Molte strutture sono andate distrutte negli ultimi anni perché sottovalutate nella presunzione che le tecnologie moderne siano sempre e

comunque migliori di quelle tradizionali. Gli esempi di strutture voltate in pignatielli che conosciamo sono la testimonianza di una non indifferente capacità di resistenza anche a sollecitazioni estreme. Terremoti compresi; non dimentichiamo che tutta l'Italia centro-meridionale è altamente sismica. In tal senso i pignatielli hanno subito diversi collaudi e hanno provocato quei piccoli aggiustamenti che la saggezza di ignoti, e solo apparentemente ingenui, costruttori ha saputo mettere in opera.

Le strutture in pignatielli più interessanti sono costituite dalle volte e cupole. La maggior parte delle volte sono a padiglione, conosciute localmente come volte a cielo di carrozza. Queste rappresentano, approssivamente il 50% delle realizzazioni mentre le volte a botte rappresentano un altro 30%.

Nella costruzione di volte a crociera, in particolare, si riscontrano alcune difficoltà d'apparecchio nelle superfici di contatto tra le unghie. Nella maggior parte dei casi sono state risolte con molta abilità pratica e una certa dose di inventiva che hanno contribuito a creare quella diffusa capacità del *buon costruire* che caratterizza una larga parte dell'architettura tradizionale. E' proprio questa abilità che ha permesso a tanti edifici, pur se apparentemente fragili, di arrivare fino a noi e sopportare sollecitazioni che, teoricamente, non avrebbero potuto sopportare. La nostra perdita di capacità costruttiva (insieme a una insensata e inadatta normativa che privilegia interventi sostitutivi), purtroppo, potrebbe non garantire che questi piccoli capolavori possano sopravvivere ancora per molto tempo.

6. Alcuni esempi

Tra i tanti esempi catalogati presentiamo alcuni di quelli (tutti nel Molise) che possono costituire una prima campionatura di riferimento.

6.1. La cappella di S.Gennaro a Lucito è stata fondata nel 1731 dal marchese Capececelatro; ampliata nel 1767 e completata dopo pochi anni. Con la legge di Gioacchino Murat (1808) venne sconosciuta. Per circa un secolo è rimasta in abbandono fino agli interventi del 2001. Il nostro progetto aveva previsto anche il recupero, il restauro e la valorizzazione delle strutture in pignatielli prevedendo anche una piccola esposizione dedicata a questo singolare apparecchio. Il progetto però non è mai stato realizzato. Gli interventi inopportuni di qualche anno più tardi hanno contribuiranno alla scomparsa di quanto nel

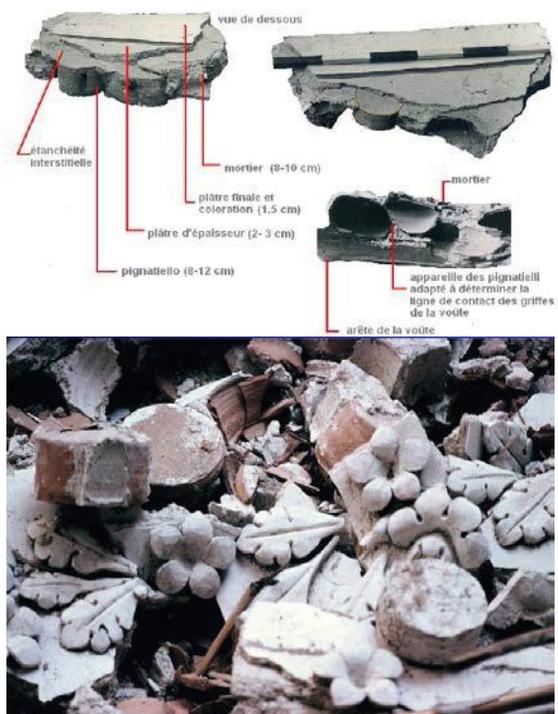


Figura 4 – La stratigrafia delle strutture con fittili (struttura e decorazioni intradorsali) è evidente negli elementi crollati

tempo si era salvato. La cappella di san Gennaro avrebbe potuto costituire un esempio di monumento significativo per la storia locale. Un intervento corretto e rispettoso delle preesistenze avrebbe potuto costituire un esempio da prendere a modello. Un modello utile per la riscoperta di soluzioni costruttive ancora oggi poco conosciute.

Ancora a Lucito sopravvivono altre importanti tracce di strutture in caccabacco: voltine a sesto ribassato (databili agli anni '30 del '900), su putrelle nella parrocchiale di S.Nicola, cornicioni a forte aggetto e tamponature in altre chiese ma anche voltine in edifici civili.

6.2. Il monastero di San Nazario a Morrone del Sannio è stato fondato nel 1410, rinnovato nel 18° secolo e, dal 1867, lasciato in abbandono. Le poche tracce di *opus caccabacum* superstiti erano (1989) limitate a due voltine a crociera che un recente intervento non è stato in grado di proteggere.

6.3. La chiesa di Santa Maria di Faifoli. Si tratta di una piccola chiesa di campagna (del 1263) importante non tanto dal punto di vista architettonico quanto piuttosto perchè vi ha preso messa Pietro da Morrone, poi diventato papa Celestino quinto. Nel 1971 sono state demolite le voltine a crociera in pignatielli che erano state costruite alla fine del 1800. Resti di pignatielli erano presenti anche nel contiguo palazzotto (oggi demolito) che aveva sostituito il conventino.

6.4. Nel castello angioino di Civitacampomariano è presente una singolare struttura in *opus craticium* con telai di legno e pannelli realizzati con pignatielli messi in verticale allettati in una malta di calce.

6.5. A Ripabottoni sopravvivono alcune vaste strutture voltate a padiglione realizzate con pignatielli in palazzi civili (importante è il palazzo Cappuccilli) che sono testimoni di una grande abilità costruttiva. La regolarità diffusa nella maggior parte della superficie si perde in corrispondenza delle unghie di raccordo. Sono bene evidenti come i pignatielli abbiano avuto cottura diversa, alcuni sono ferrioli (pur senza arrivare alla quasi vetrificazione) altri albasì (molto più porosi). Si tratta, quasi sempre, di pignatielli tendenzialmente dello stesso spessore murati a gesso.

6.6. In occasione dei sopralluoghi eseguiti in alcuni comuni del Molise, colpiti dal sisma del 2002, abbiamo avuto occasione di trovare altri esempi di strutture leggere. Nascoste da intonaci recenti sono stati messi in luce da piccole cadute di intonaci e crolli superficiali. Pure a fronte di crolli più importanti ed estesi va osservato come queste strutture leggere, pur quando lesionate non sono cadute e, soprattutto, non hanno fatto danni alle persone.

6.7. Le nostre ricerche, iniziate nel Molise, sono state estese ad altre aree, anche lontane. Il primo caso si riferisce al Palazzo Pubblico di San Marino (1884-1894), costruito sui resti della *Domus Magna Communis* del 14° secolo, da Francesco Azzurri, architetto romano che probabilmente aveva avuto modo di vedere altre costruzioni italiane. La logica costruttiva delle voltine è simile a quelle già viste anche se i fittili sono un po' diversi.

Un altro esempio è il *Neues Museum* di Berlino, voluto da [Federico Guglielmo IV di Prussia](#) fra il 1841 e il 1859 e realizzato dall'architetto [Friedrich August Stüler](#). Come si possa spiegare la presenza di queste volte a catino con fittili leggeri non è ancora chiaro.

Un ultimo interessante esempio di valore documentario va riferito ad alcune soluzioni adottate a Gerusalemme per la costruzione di parapetti leggeri.

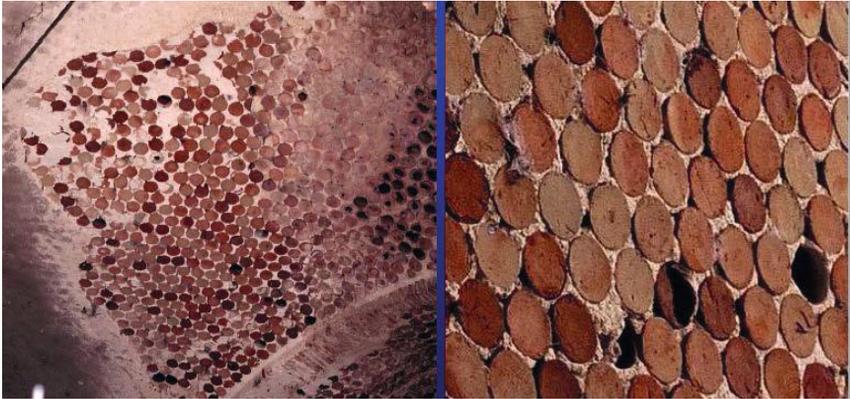


Figura 5 Volte/membrane di grande luce, a botte e a padiglione (a cielo di carrozza) apprechiate con pignatielli

7. Conclusioni

La realizzazione di un atlante delle risorse locali (pietra, terra, legno ...), delle tecniche costruttive e delle procedure tradizionali di manutenzione potrà essere la base per la costituzione di archivi da utilizzarsi a più chiavi di lettura. Questi potranno suggerire nuovi orizzonti per ampliare gli orizzonti di conoscenze e per fornire pertinenti indicazioni anche sulle metodologie tradizionali di intervento di conservazione al fine di una valorizzazione del costruito storico. Lucien Febvre, dopo aver affermato che la storia delle tecniche era una disciplina ancora tutta da creare, aveva indicato come prioritari il riconoscimento del concetto di progresso tecnico (e progresso continuo), l'evoluzione delle tecnologie (modifiche provvisorie e/o definitive) ma anche il recupero delle tecnologie e la gestione delle informazioni.

Si tratta, oltre tutto, di quelle conoscenze che sono base indispensabile per la progettazione e la gestione di una politica di conservazione. Conservazione del carico di informazioni che i manufatti possono darci oggi e, soprattutto, quelle che potranno darci in futuro. Solo, però, se le tracce delle antiche tecnologie si saranno conservate in originale e se saremo capaci di interpretarle. I modelli a cui riferirsi sono sotto gli occhi di tutti (i *monumenti* sopravvissuti, innanzitutto) e i "testimoni" diretti di questa singolare e incredibile ricchezza culturale (i vecchi muratori, per esempio) sono ancora disponibili. Partire dalle conoscenze dei modi di costruire di altra epoca e valutarne tutti gli aspetti può costituire la base più efficace per la loro tutela e il loro sviluppo futuro.

Bibliografia

- Aveta A. [1987], *Materiali e tecniche tradizionali nel Napoletano*, Napoli
- Bovini G. [1960], “L’impiego di tubi fittili nelle volte degli edificio di culto ravennati”, in *Felix Ravenna*, giugno
- Cresswell R. [1983], *Transfert de techniques et chaînes opératoires*, in “Techniques et culture” , 2,
- De Beaune S.A. [2000], *Pour une archéologie du geste*, Paris
- Fratini F., Rovero L., Stipo G., Tonietti U. [2012], “Testing innovative methodologies for the reinforcement of masonries built with the use of gypsum binder”, in *Rencontre internationale sur le patrimoine architectural méditerranéen 4*, M'Sila - Algérie, April 10-12.
- Guagliumi A. [1978], “Appunti sulle ‘cucuzzelle’ romane”, in *Antiqua* 10, luglio-settembre
- Jamin J. [1985], *Les objets ethnographiques sont-ils des choses perdus?*, in Jainard L., Kaehr R. (a cura di), *Temps perdu, temps retrouvés*, Neuchâtel
- Marino L. [1987], “La cappella di San Gennaro a Lucito”, in *Conoscenze*. Soprintendenza archeologica e per i beni ambientali.... del Molise, 3, Campobasso
- Marino L. [2008], *L’Opus caccabaceum. Strutture leggere in cotto*, in *Tecniche costruttive tradizionali nel Molise*, Verona
- Marino L., Franchi R. [1987], *Notizie su alcune strutture leggere apparecchiate con tubi fittili. Indagini mineralogiche-petrografiche*, in G.Biscontin (a cura di), *Conoscenze e sviluppi teorici per la conservazione di sistemi tradizionali in muratura*, Padova
- Marino L., Tonietti U. [2016], *L’Opus Caccabaceum. Une singulière maçonnerie légère en terre cuite*, in *Les temps de la construction*, 2^e Congrès francophone d’histoire de la construction (Lyon, 29-31 gennaio 2014), Paris
- Mathieu J.R. [2002], “Experimental Archaeology. Replicative past objects, behaviours and processes”, in *B.A.R. International Series 1035*, Oxford
- Mauss M. [1947], *Manuel d’ethnographie*, Paris
- Pizzetti G., Zorgno Trisciuglio A.M. [1980], *Principi statici e forme strutturali*, Torino
- Promis C. [1875], *Vocaboli latini di Architettura posteriori a Vitruvio oppure a lui sconosciuti*, Torino, sub voce *opus caccabaceum*
- Torroja E. [1966], *La concezione strutturale*, Milano

**Il BIM per i beni archeologici: il caso studio
delle Terme Romane dell'Indirizzo di
Catania**

*BIM for archaeological heritage: the case
study of the Terme Romane dell'Indirizzo
of Catania*

Santi Cascone, Giuseppe Russo,
Nicoletta Tomasello

Parole Chiave: HBIM, Patrimonio costruito, Valore,
Conservazione

Keywords: HBIM, Built Heritage, Value, Conservation

Sommario

Negli ultimi anni, lo sviluppo di software sempre più performanti e accessibili da parte degli utenti ha accompagnato l'evoluzione della cosiddetta "archeologia virtuale", processo in grado di fornire, attraverso una ricostruzione che parte dallo stato di fatto e include il sapere storico ereditato, una visuale completa di come il bene appariva, spesso accompagnata da una rappresentazione ipotetica dei suoi utilizzi e dei suoi fruitori. La ricostruzione del bene archeologico attraverso la tecnologia digitale è in potenza di racchiudere in sé un duplice obiettivo: da un lato essa è in grado di rendere "accessibile" il bene, che diviene visitabile e comprensibile agli occhi del visitatore; dall'altro lato, invece, essa permette di ottenere come prodotto finale un "contenitore informativo" in grado di racchiudere le informazioni raccolte nel passato e arrivate sino ai nostri giorni. Se per il raggiungimento del primo obiettivo la ricerca ha effettuato notevoli passi avanti, arrivando alla realizzazione di veri e propri "percorsi virtuali", è ancora viva l'esigenza di mettere a punto sistemi e metodologie per la raccolta integrata delle informazioni e della documentazione prodotta per il bene, al fine di rendere ottimale il suo utilizzo ad oggi e la sua gestione futura. In tale ottica, è indispensabile l'utilizzo del Building Information Modeling, metodologia che, a differenza di quelle finalizzate alla sola riproduzione virtuale del bene, intrinsecamente racchiude in sé la realizzazione di un modello tridimensionale in grado di fornire una rappresentazione realistica associata alla catalogazione delle informazioni relative ai suoi componenti.

La presente ricerca, attraverso l'analisi del caso studio delle Terme Romane dell'Indirizzo di Catania, si pone l'obiettivo di illustrare il processo che, partendo dal rilievo del bene archeologico e dalla raccolta delle informazioni reperite in passato e arrivate ai nostri giorni, giunge alla realizzazione di un modello "intelligente", contenitore di informazioni interrogabili e integrabili con l'evoluzione del bene, utilizzabili per la sua corretta gestione e per la pianificazione di attività finalizzate al suo recupero e mantenimento nel tempo.

Abstract

In recent years, the development of increasingly high-performance and accessible software lead to the evolution of the so-called "virtual archaeology", a process that can provide, through a reconstruction that starts from the current state and includes historical knowledge, a complete view of how the building appeared,

often with a hypothetical representation of its uses and users. The reconstruction of the archaeological heritage through digital technology can achieve two goals: on one hand, it is able to make the building "accessible", because it can be visited and understood by the visitor; on the other hand, it allows to obtain an "information container" as a final product, able to include the information collected in the past and up to day. For the achievement of the first objective the research has made considerable progress, reaching the realization of real "virtual paths", but the need to develop systems and methodologies for the integrated storage of information and documentation of the building, to optimize its current use and its future management, still occurs. From this point of view, the use of Building Information Modeling is indispensable, because this methodology, unlike those aimed only at the virtual reproduction of the building, also includes the creation of a three dimensional model able to provide a realistic representation associated with the storage of its components' information. The present research, through the analysis of the case study of the Terme Romane dell'Indirizzo of Catania, aims to illustrate the process that, starting from the relief of the archaeological heritage and the storage of its information, reaches the realization of a "smart" model. This model represents a container of data that can be integrated with the evolution of the building and can be used for its correct management and for the planning of activities aimed at its recovery and maintenance over time.

1. Il BIM per il patrimonio storico

Il patrimonio storico-monumentale situato in Italia riveste una rilevanza riconosciuta a livello mondiale. Ad oggi, infatti, l'Italia è il paese che detiene il maggior numero di patrimoni dell'umanità dell'Unesco nel mondo, pari a 53¹. Il valore che intrinsecamente possiedono, oltre che oggettivo, è legato all'identità dei luoghi e al valore simbolico che ricoprono per le società che si sviluppano intorno a loro.

Appare dunque indispensabile e doveroso preservarne le peculiarità, salvaguardandone l'immagine e rendendone accessibili i luoghi come previsto sin dall'ideazione dell'opera. Per perseguire questi fini in maniera razionale esistono, tuttavia, delle limitazioni entro cui circoscrivere scelte e mezzi tecnici: il valore di un edificio in seguito alla sua ri-funzionalizzazione o al suo recupero non deve diminuire e l'edificio stesso deve rispondere alle esigenze nuove senza perdere il valore artistico, storico ed estetico.

Non solo: un'azione ponderata da attuare nei confronti del bene storico deve migliorarne anche l'accessibilità all'utente, sia di tipo fisico che dal punto di vista conoscitivo.

In questo campo, negli ultimi anni, l'utilizzo della metodologia BIM – acronimo significativo Building Information Modeling – ha registrato un notevole incremento, diventando uno standard diffuso a livello globale in grado di facilitare la collaborazione tra le parti e l'integrazione dei dati, nonché di supportare le attività del progetto [Quattrini et al., 2017]. Ideato nel 1975 [Eastman, 1975], il BIM è in grado di fornire una rappresentazione virtuale dell'edificio che consente di integrare, in più steps, le informazioni relative all'edificio. I vantaggi che derivano da questa metodologia si basano sulla possibilità di interrogare il modello per ricavare dati, misure, quantità, computi e altre informazioni di non facile reperibilità.

Applicato prevalentemente negli edifici di nuova realizzazione, il BIM negli ultimi anni è stato applicato anche negli edifici storici [Quattrini e Baleani, 2015], al punto da arrivare alla definizione del cosiddetto HBIM, acronimo di “Historical Building Information Modeling” [Murphy et al., 2009].

L'HBIM è uno strumento in grado di consentire sia il monitoraggio dello stato di fatto degli edifici storici sia la pianificazione di futuri interventi destinati alla loro conservazione o al loro restauro. L'HBIM si differenzia dal BIM tradizionalmente

¹ www.unesco.org

applicato per il tipo di informazioni che i modelli digitali contengono, nonché per gli step esecutivi che si susseguono per la sua applicazione: se nel BIM tradizionale il core esecutivo risiede nella coordinazione tra le diverse figure del processo edilizio, al punto da arrivare alla definizione di figure finalizzate per l'appunto al sincronismo delle parti, l'HBIM si concentra invece sul rilievo dello stato di fatto dei luoghi e sulla definizione dei materiali, al fine di ottenere una pianificazione degli interventi adeguata al manufatto edilizio, dunque consapevole e non invasiva [Logothetis et al., 2015]. Come meglio illustrato a seguire, il rilievo degli edifici esistenti è fondamentale anche poiché, in fase di modellazione, non è possibile utilizzare elementi costruttivi desunti da librerie specifiche, al contrario di quanto accade negli edifici tradizionali; invero, è necessario modellare le masse e le geometrie di ciascun componente, spesso complesse nella forma e nella connessione.

Il punto di partenza dell'applicazione dell'HBIM risiede, ove possibile, nell'acquisizione di dati di partenza tramite metodi che consentono un rilievo dettagliato delle parti componenti l'edificio. A tal fine, il rilievo digitale rappresenta un fondamentale strumento di conoscenza e supporto per analisi tematiche e indagini diagnostiche sul manufatto storico in quanto, contrariamente a quello eseguito con metodi tradizionali, si basa sull'utilizzo di tecnologie quali il laser scanner o la fotogrammetria digitale.

2. Il BIM per il patrimonio archeologico

Negli ultimi anni, il campo dell'archeologia virtuale è stato oggetto di una forte evoluzione, dovuta perlopiù allo sviluppo di applicativi software e di sistemi hardware da un lato più performanti, dall'altro più accessibili in termini di facilità di utilizzo e di costi relativi.

Alla base della conoscenza del bene archeologico e della relativa gestione risiedono i dati ad esso relativi. Da qui nasce l'esigenza di mettere a punto sistemi e metodologie di documentazione sempre più precisi e completi per la raccolta e il trattamento dei dati relativi ai beni archeologici. A conferma di ciò, si delineano le sperimentazioni portate avanti in anni recenti e volte a definire una procedura finalizzata all'integrazione di modelli 3D con dati esterni [Apollonio et al., 2011; Scianna 2015]. La naturale evoluzione del procedimento è quindi riscontrabile nella possibilità di rappresentare il bene sotto forma di modello 3D BIM, da cui è possibile estrapolare informazioni complete in modo semplice e veloce.

Il BIM applicato ai beni archeologici è ancora un processo in fase di evoluzione. In ambito nazionale, una delle più illustri applicazioni riguarda Sant'Apollinare Nuovo a Ravenna, illustre esempio di architettura bizantina cristiana in Europa. Lo studio relativo a tale edificio, svolto in collaborazione con l'ateneo di Bologna, era finalizzato alla messa a punto di una metodologia mirata ad integrare, in ambiente BIM, i dati dell'edificio ricavati tramite fotogrammetria e indagini laser. Fulcro della ricerca condotta è stata l'importazione della nuvola di punti acquisita con il laser scanner e importata direttamente nell'applicativo Autodesk Revit®. Tale nuvola di punti, successivamente, è stata utilizzata come base per la costruzione delle famiglie parametriche atte a rappresentare i componenti del bene.

3. Caso studio: le Terme Romane dell'Indirizzo a Catania

3.1 Descrizione del complesso

Le Terme Romane dell'Indirizzo è un complesso archeologico di epoca romana situato a Catania e confinante a est con Piazza Currò e a sud con via Bozomo. Impianto termale di particolare pregio, tale complesso, quasi totalmente integro, deve il suo nome all'ex convento di S. Maria dell'Indirizzo, a cui appartiene. Tale posizione, probabilmente, ha preservato il complesso nel tempo e ha consentito il mantenimento di un buono stato di conservazione.

Dell'antico complesso si sono conservate dieci stanze che possiedono le coperture originarie. Due ambienti di forma rettangolare sono collegati mediante gradini. Da queste stanze, si accede a differenti vani posti ad un livello inferiore di un metro circa. Tra tutti gli ambienti rilevati, il più grande presenta una pianta ottagonale e ha una copertura a cupola.

Basandoci sulla descrizione in pianta fornitaci da Ittar – che elaborò una pianta e una sezione del manufatto – e da Wilson – che si interessò all'impianto e ne fornì una descrizione in pianta – è possibile descrivere come segue il bene e la dislocazione interna degli ambienti.

L'ingresso, posto all'angolo nord-est, conduceva all'*apodyterium*, ambiente avente la funzione di spogliatoio, al cui interno erano solitamente disposte, lungo le pareti, delle lunghe panche e delle mensole lignee continue intervallate da setti di separazione. Nella parete settentrionale, una nicchia per la statua consentiva lo spostamento del fruitore sia verso gli ambienti riscaldati sia verso il *frigidarium*, vano utilizzato per i bagni in acqua fredda. Un secondo *frigidarium* era disposto nell'angolo nord-ovest. Gli ambienti aventi forma rettangolare erano

presumibilmente dei *tepidarium*, ambienti riscaldati con moderazione che venivano utilizzati per la fase di transizione dagli ambienti più freddi all'ambiente più caldo del *calidarium*. Il *calidarium*, avente struttura simile al *tepidarium*, ospitava il *labrum*, una vasca larga e bassa sorretta da un piedistallo. Alcuni degli ambienti rilevati erano probabilmente destinati a *laconicum*, in quanto aventi forma circolare e volta a cupola; all'interno di questi ambienti non emergono tracce di vasche bensì di pavimenti con *suspensurae*, adiacenti al *prae-furnium*.

3.2 Tecnologia costruttiva

Sebbene non esista ad oggi una cronologia storica inerente le fasi del manufatto, è credenza comune per molti studiosi la collocazione del manufatto nell'era imperiale avanzata.

Relativamente alla tecnologia costruttiva, la maggior parte delle strutture murarie è realizzata con muri a sacco con paramenti in pietra lavica, ottenuti per sovrapposizione di fasce orizzontali di dimensioni comprese tra i 70 e gli 85 cm, in materiale lavico macrovaculare o compatti di pezzatura e forma variabile. I paramenti esterni sono realizzati con conci grossolanamente sbazzati; il riempimento interno è costituito da un conglomerato in malta di calce e pietrame di pezzatura minuta (circa 10-15 cm). Gli elementi lapidei di dimensioni maggiori e di forma più regolare sono localizzati in corrispondenza delle zone maggiormente sollecitate, come le intersezioni murarie, i cantonali o gli stipiti delle aperture.

In corrispondenza di alcune aperture esterne, sono stati adoperati i laterizi per la costruzione degli archi, la maggior parte dei quali è stata realizzata con la tecnica

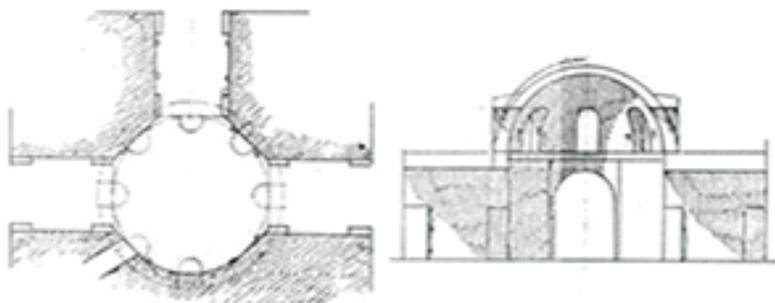


Figura 1

Catania, Terme dell'Indirizzo – Stralcio di pianta e sezione [Houel J].

dell'*opus vittatum*. Gli archi delle restanti aperture esterne e interne sono invece stati realizzati con conci di grandi dimensioni a giacitura radiale in calcare (Figura 2). La tecnica dell'*opus caementicium*, messa in atto utilizzando materiale leggero e di pezzatura minuta, è stata adottata per il rinfiacco delle volte.

Per le volte, infine, sono stati adoperati massi lavici irregolari nel caso delle volte a botte e conci lavici e calcari siracusani nel caso della volta a bacino in corrispondenza del vano ottagonale.

3.3 Modellazione e digitalizzazione del manufatto archeologico in ambiente BIM

Assumendo come base il rilievo geometrico e architettonico dell'edificio e la documentazione storica reperita, che hanno consentito di acquisire conoscenza circa le caratteristiche descritte, è stato possibile effettuare la modellazione del manufatto. In tale step, è stato utilizzato Autodesk Revit 2017[®], un software BIM in grado sia di restituire una rappresentazione digitale del manufatto sia di raccogliere dati e informazioni ad esso relativi e di varia natura, che saranno aggiornabili nel tempo e interrogabili dagli utenti.

Nel presente studio, partendo dal file .dwg del rilievo architettonico, si è proceduto con una prima modellazione dell'edificio, eseguita con un LOD 100. Successivamente, è stata eseguita una modellazione dettagliata di ciascun elemento dell'edificio, utilizzando famiglie parametriche di sistema o creandone di nuove ove necessario. Trattandosi infatti di un manufatto storico, dotato di peculiarità non presenti nelle famiglie parametriche disponibili nell'ambito del software adoperato, è stato necessario procedere con la realizzazione di nuove famiglie.



Figura 2

Catania, Terme dell'Indirizzo – Archi in corrispondenza delle aperture esterne.

Nel caso delle murature storiche, di differenti tipologie, si è proceduto con la realizzazione di famiglie che sono state dotate sia dell'aspetto estetico del componente che delle sue caratteristiche meccaniche e fisiche, analoghe a quelle riscontrate in loco. Similmente, è stata effettuata la modellazione delle volte a botte e della cupola, arricchite nei materiali da quelle informazioni ritenute necessarie a rendere il componente simile a quello reale.

La siffatta modellazione dell'edificio, arricchita delle informazioni inerenti ai componenti studiati, è stata "collocata" su una superficie topografica, realizzata su Autodesk Revit 2017® partendo dalle curve di livello. Il contesto, infine, è stato arricchito con dei volumi rappresentativi degli edifici realmente situati in loco (Figura 3).

Dal modello è stato possibile ricavare gli elaborati architettonici del manufatto storico quali piani, prospetti, sezioni, spaccati ed esplosi assonometrici (Figura 4). Questi ultimi, in particolare, sono in grado di fornire una visuale completa degli ambienti interni e delle stratigrafie dei componenti l'edificio. Dal modello, inoltre, sono stati estrapolati anche gli abachi inerenti, tra gli altri, i dati dimensionali degli



Figura 3

Catania, Terme dell'Indirizzo – Localizzazione dell'edificio.

elementi architettonici, le informazioni riguardanti i materiali adoperati e i dati dimensionali dei vani. Tali dati, oltre che a rappresentare un archivio virtuale del bene che possa essere di supporto ai futuri interventi ad esso destinati, potranno essere integrati o modificati in accordo con l'incrementarsi della conoscenza dell'edificio e con l'effettuazione di interventi di restauro o cambio di destinazione d'uso.

4. Conclusioni

Il presente lavoro inerente al caso di studio delle Terme Romane dell'Indirizzo situate a Catania ha avuto, come obiettivo principale, la creazione di un prodotto destinato sia ad una maggiore conoscenza del manufatto sia alla raccolta delle informazioni ad esso inerenti. L'obiettivo, come dimostrato, è stato raggiunto grazie, in una prima fase del lavoro, ad un attento rilievo dell'edificio e ad un'altrettanta precisa raccolta delle informazioni circa i suoi componenti principali e, in una seconda fase del lavoro, al convogliamento dei dati raccolti nella realizzazione di un modello BIM completo delle informazioni riguardanti l'edificio, aggiornabili e interrogabili.

L'utilizzo della metodologia BIM, sebbene ancora limitata per la modellazione di elementi storici in quanto basata su software perlopiù destinati allo studio di edifici moderni o di nuova realizzazione, è in grado di garantire una conoscenza completa del manufatto storico. Il modello BIM creato, infatti, potrà essere adoperato per la raccolta di ulteriori dati e informazioni aggiornate nel tempo e utili alla conservazione, al monitoraggio, alla valorizzazione e alla fruizione

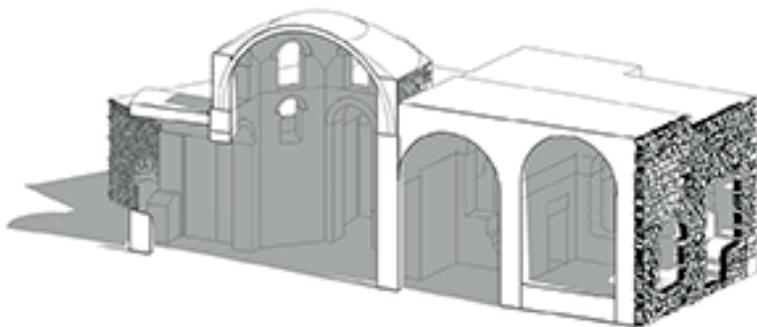


Figura 4

Catania, Terme dell'Indirizzo – Spaccato dell'edificio.

virtuale del manufatto. Tali dati potranno rappresentare, in un futuro lavoro di recupero del bene, un valido supporto decisionale.

Gli esiti del lavoro proposto rappresentano un contributo per l'approfondimento di metodologie di rappresentazione tridimensionale applicata all'archeologia per ciò che concerne la fruizione virtuale del bene e il suo mantenimento nel tempo.

Bibliografia e riferimenti

Apollonio F.I., Benedetti, B., Gaiani M., Baldissini, S. [2011]. “Construction, management and visualization of 3d models of large archeological and architectural sites for E-Heritage GIS systems”, in *XXIIIrd International CIPA Symposium Proceedings*, pp. B.2.97 - B.2.104.

Eastman C.M. [1975]. “The use of computers instead of drawings in building design”, *ALA Journal*, 63(3), pp.46-49.

Logothetis, S., Delinasiou, A., Stylianidism, E. [2015]. “Building information modelling for cultural heritage: a review”, in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp.177-183.



Figura 5

Catania, Terme dell'Indirizzo – Render.

Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S. [2009]. “Historic building information modelling (HBIM)”, *Structural Survey*, 27(4), pp. 311-327.

Quattrini, R., Pierdicca, R., Morbidoni, C. [2017]. “Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web”, *Journal of Cultural Heritage*, 28, pp. 129-139.

Quattrini, R., Baleani, E. [2015]. “Theoretical background and historical analysis for 3D reconstruction model. Villa Thiene at Cicogna”, *Journal of Cultural Heritage*, 16(1), pp. 119-125.

Scianna, A., Serlorenzi, M., Gristina, S., Filippi, M., Paliaga, S. [2015]. “Sperimentazione di tecniche BIM sull’archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all’interno della cripta della chiesa dei ss. Sergio e Bacco in Roma”, in *II SITAR nella Rete della ricerca italiana. Verso la conoscenza archeologica condivisa*, pp. 199-212.

**L'area extraterritoriale di S. Maria di Galeria:
valorizzazione del patrimonio archeologico e
paesaggistico**

*The extranational site of S. Maria di Galeria:
enhancement of the archaeological and
landscape heritage*

Leonardo Di Blasi, Maura Fadda, Giorgio Filippi,
Michele Magazzù, Elisabetta Pallottino, Paola Porretta

Parole Chiave: Etruria, via Clodia, Restauro archeologico,
Cantiere-scuola, Paesaggio

Keywords: *Etruria, via Clodia, Archaeological restoration,
Worksite school, Landscape*

Sommario

L'Etruria meridionale è oggetto di studi sistematici da più di due secoli ma offre ancora numerosi contesti pressoché sconosciuti. L'attenzione degli studiosi è principalmente dovuta all'importanza che tale territorio riveste ai fini dell'individuazione e della comprensione degli antichi percorsi stradali, in particolare etruschi e romani.

L'area extraterritoriale di S. Maria di Galeria, sede di un centro trasmettente della Radio Vaticana dagli anni '50, custodisce al suo interno un tratto ben conservato della via Clodia di età romana e, con essa, alcune strutture murarie appartenenti a diversi edifici coevi riferibili alla *statio* di *Careiae*, riportati alla luce nel corso di varie campagne di ricerche.

Grazie ad una convenzione stipulata nel 2013 tra il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre e i Musei Vaticani, è stato costituito un gruppo di lavoro interdisciplinare (archeologi, architetti e restauratori) che ha dato vita a una cantiere-scuola, impegnato in attività rivolte alla conoscenza del contesto territoriale, alla ricognizione del tracciato dell'antica via Clodia quale importante asse di collegamento tra Roma e l'Etruria, nonché allo studio e al restauro di due mausolei di epoca romana che sorgono presso l'incrocio di un diverticolo sul lato ovest della strada. L'esperienza ha permesso al gruppo di lavoro di ripercorrere tutte le fasi operative di un cantiere di restauro archeologico - quali quelle di scavo, di rilievo delle strutture murarie, di progetto ed esecuzione del restauro - ed è stata un'occasione concreta per sperimentare l'efficacia della collaborazione tra le due istituzioni e per confermare la validità di una programmazione unitaria della ricerca e della didattica universitaria.

Il presente contributo, prendendo a riferimento i mausolei sopra citati, si propone di ripercorrere gli aspetti salienti del lavoro di restauro effettuato e di offrire alcuni spunti di riflessione sul tema della conservazione e della valorizzazione del patrimonio archeologico e paesaggistico.

Un'attenzione particolare è stata riservata all'individuazione dei materiali e delle tecniche costruttive originali, documentate dai frammenti ancora *in situ*, allo scopo di salvaguardarne le testimonianze superstiti e di facilitarne la lettura, grazie alla predisposizione di reintegrazioni analogiche. Inoltre, in un contesto paesaggistico che conserva ancora tracce riconoscibili dell'assetto antico, segnato oggi dalla forte presenza del tracciato romano e dalle antenne radio, l'area di S. Maria di Galeria si presta a essere studiata e valorizzata secondo le sue stesse vocazioni, ancora ampiamente decifrabili sul territorio.

Abstract

For more than two centuries southern Etruria has been object of systematic studies. The interest of the scholars is due to the strategic importance of this area for the comprehension of old roads system, particularly the Etruscan and Roman ones.

The extraterritorial area of S. Maria di Galeria, the Vatican Radio's headquarters from early '50, preserves a segment of the ancient roman road Clodia together with different wall structures of a Roman station (*statio*), named *Careiae* in ancient sources.

Thanks to an agreement signed between the Architecture's Department of the University of Roma Tre and the Vatican Museums for the creation of an interdisciplinary working group (archaeologists, architects and restorers) it was possible to create a university-on-site project. The Roma Tre team has been carrying out a topographic survey to investigate the old layout of ancient via Clodia, an important connection road between Rome and Etruria. It was also possible to study and to restore ancient Roman buildings situated inside the archaeological area.

The working group has been gaining practical experience in archaeological excavation, the surveying and drawing of architectural remains and in carrying out restoration work, moreover the activity has been an important moment to experiment the collaboration between the two institutions.

The research aims at presenting the salient aspects of the practical side of archaeological restoration as applied to the two sepulchral monuments located close to Via Clodia and to reflect on the preservation and enhancement of archaeological and landscape heritage.

Attention was given to the recognition of the original materials and construction techniques, documented by the fragments still *in situ*, in order to take care of the surviving testimonies and to facilitate their reading, thanks to the predisposition of analogue reintegration.

Moreover, the area of S. Maria di Galeria is a landscape that still preserves recognizable traces of the ancient system, marked today by the strong presence of the Roman track and the radio aerials.

1. Il contesto territoriale dell'Etruria meridionale

A partire dalla metà del XIX secolo, il territorio dell'Etruria meridionale è stato oggetto di numerosi studi orientati alla conoscenza e all'individuazione delle diverse fasi di antropizzazione e strutturazione dei contesti antichi. Tali ricerche hanno contribuito a porre le basi della moderna etruscologia e hanno messo in luce le tecniche di pianificazione territoriale promosse dalla civiltà etrusca.

La morfologia dell'Alto Lazio si caratterizza per la presenza di catene montuose di origine vulcanica, come i monti Volsini, Cimini e Sabatini e di estesi depositi di natura tufacea e leucitica [Mattias, Ventriglia, 1970]. I confini fisici della regione sono definiti dal sistema idrografico: a nord dal fiume Fiora, a sud e a est dal Tevere, a ovest dal mar Tirreno. Il Tevere, nel configurarsi come elemento naturale di confine territoriale, rappresentò anche il limite e il luogo di incontro tra la cultura etrusca e quella latina.

La scoperta di giacimenti metalliferi, come quelli dei Monti della Tolfa, favorì l'uso delle armi e contribuì al rafforzamento del tessuto sociale delle popolazioni autoctone, consolidando e prediligendo gli stanziamenti permanenti. Importanti città come Veio, Caere, Vulci, Tarquinia, spesso impostate su percorsi di crinale, divennero crocevia di importanti traffici commerciali e permisero una gestione organica e strategica del territorio. Gli Etruschi, sfruttando la conformazione naturale dei luoghi, predilessero la direzionalità anti-peninsulare dei tracciati stradali e lasciarono importanti testimonianze della loro pianificazione ancora oggi leggibili nelle tagliate realizzate nei banchi tufacei [Cataldi, 1969].

La parte più meridionale dell'Etruria era controllata dalla città di Veio che crebbe notevolmente fra VIII e VII secolo a.C., sia dal punto di vista economico che sociale. Durante il VI secolo a.C. la Dodecapoli etrusca coinvolse diverse città, sia costiere che dell'entroterra, in un'alleanza finalizzata al rafforzamento commerciale e politico. Ciò non fu però sufficiente a esportare la cultura etrusca oltre le sponde del Tevere; la sconfitta nella battaglia di Cuma del 474 a.C. e la presa di Veio nel 396 a.C. segnarono l'inizio del declino e la fine del dominio etrusco sul territorio. Già durante tale periodo, man mano che il modello insediativo diventava più articolato, si manifestò la necessità di individuare alcune vie di comunicazione che sfruttando l'orografia dei luoghi – spesso un piano di calpestio costituito da roccia naturale affiorante – facilitassero le connessioni fra i centri primari e gli altri insediamenti.

L'avanzata romana, alimentata da motivi di carattere commerciale, causò violente guerre (con i Latini, gli Etruschi, gli Equi e i Volsci) e portò a un graduale

decadimento della struttura politica e amministrativa del territorio. Fu durante queste guerre che gli eserciti romani cominciarono a servirsi della rete viaria etrusca, sia per implementare i commerci che per muovere gli eserciti. Stabilizzati i rapporti con le popolazioni locali, i romani ripensarono un sistema più articolato di strade che polarizzasse verso Roma, utilizzando e adattando i tracciati più antichi. Tra i vari assi stradali, anche la via Clodia si definì attraverso un parziale adattamento di percorsi precedenti e venne integrata in un nuovo sistema di strade peninsulari che partivano a raggiera dall'Urbe.

2. L'area extraterritoriale di S. Maria di Galeria: le tracce dell'antica via Clodia e della *mansio di Careiae*

L'area extraterritoriale vaticana si estende per oltre 440 ettari e fa parte del complesso sistema territoriale sinteticamente descritto, nella porzione dell'Etruria meridionale compresa tra Roma e il lago di Bracciano.

Negli anni '50, quest'area, fino ad allora a vocazione esclusivamente agricola, fu ceduta dal Collegio Germanico alla Santa Sede che la utilizzò per la costruzione del nuovo Centro Trasmittente di Santa Maria di Galeria¹. Già durante la prima creazione delle strutture di Radio Vaticana, insediatesi nel 1931 nei giardini vaticani, era infatti emersa la necessità di potenziare ed estendere il segnale radio per adeguarlo a un sistema in continua espansione. Le antenne furono costruite nella nuova sede a partire dal 1955 e la stazione di trasmissione di Santa Maria di Galeria fu inaugurata il 27 ottobre 1957: da allora i grandi tralicci metallici sono entrati a far parte del paesaggio locale che, per il resto, ha mantenuto inalterato il proprio carattere agricolo. La gestione vaticana e la nuova destinazione attribuita a questa porzione di territorio hanno contribuito a preservare i luoghi da processi di trasformazione e urbanizzazione più o meno radicali e l'area extraterritoriale di Radio Vaticana è oggi un luogo privilegiato per studiare e comprendere i processi di strutturazione territoriale durante il periodo romano.

All'interno dell'area si conservano le tracce materiali di un tratto significativo della via Clodia e i resti della *mansio di Careiae*, antica stazione di posta collocata a 15 miglia da Roma sulla stessa strada consolare.

La *mansio* è riportata negli itinerari antichi - *Tabula Peutingeriana* [Prontera, 2003] e *Itinerarium Antonini* [Parthey, Pinder, 1848] - con la locuzione (*ad Careias*) e la sua esatta identificazione in quest'area fu stabilita per la prima volta da John Bryan

¹ Cfr. l'Accordo del 8 ottobre 1951 tra Santa Sede e Italia per impianti radio nelle zone extraterritoriali.

Ward Perkins [Ward Perkins, 1955] che ebbe modo di individuarla grazie alle ricognizioni archeologiche effettuate dalla British School at Rome e all'utilizzo delle foto aeree. Le prospezioni georadar, le ricognizioni topografiche, le ricerche d'archivio e i saggi di scavo promossi dai Musei Vaticani negli ultimi anni hanno contribuito in modo determinante all'aggiornamento scientifico dei dati emersi nella prima metà del Novecento. Nel 2017 sono state riportate alla luce anche le evidenze materiali della *mansio* – purtroppo ridotta allo stato di fondazione – ed è stato possibile comprenderne le utilizzazioni durante il periodo alto medievale. Le strutture murarie, in fase di abbandono e distruzione, vennero riutilizzate come luogo di sepoltura, come testimoniato dal rinvenimento di diverse inumazioni prive di corredo, realizzate direttamente nel banco geologico. Oltre a tali strutture sono emerse le tracce di altri edifici afferenti a un centro abitato che sono tuttora oggetto di studio. Per quanto concerne il basolato della via Clodia, questo è stato rimesso in luce e accuratamente documentato nel corso di varie campagne di scavo svolte su diverse sezioni a partire dal 1992. Il tratto più significativo, che si estende nella parte centro-meridionale della proprietà vaticana, è stato principalmente riportato alla luce nel corso del 2013 (fig. 1); la sede stradale, mediamente di 4,10 m di larghezza, appare delimitata da crepidini che fanno da contenimento al piano di calpestio pedonale. L'accuratezza delle connessioni fra i basoli e l'ottimo stato di conservazione della pavimentazione di questo tratto contribuiscono a rendere il sito di S. Maria di Galeria un luogo di particolare interesse per lo studio e la futura valorizzazione di questo importante asse stradale romano.



Figura 1

Il basolato della via Clodia all'interno dell'area extraterritoriale di S. Maria di Galeria.

Nel 2016, nuove indagini hanno rimesso in luce un'altra porzione di strada basolata, collocata più a sud della prima porzione scavata, in prossimità del muro di cinta della proprietà. Gli scavi hanno palesato la presenza della sede stradale romana gravemente danneggiata nella porzione centrale a causa del passaggio di una condotta idrica realizzata nel 1998, poi ricoperta utilizzando in modo disordinato i basoli divelti. Per recuperare la porzione di strada antica è stata intrapresa una difficile iniziativa di restauro mirata a risarcire le lacune e a ricollocare i basoli nella loro sede originaria. Questi ultimi sono stati numerati e schedati in base a caratteristiche che tenessero conto della lavorazione, della geometria e della presenza di solchi causati dal transito carraio. Sulla base di tali dati e mediante l'ausilio di ortofoto, è stato possibile creare un modello plausibile di disposizione degli elementi, poi utilizzato nel corso del restauro (fig. 2).



Figura 2

Tratto di via Clodia presso il muro di cinta dell'area vaticana. Situazione prima e dopo gli interventi di restauro del basolato.

3. Un'esperienza interdisciplinare tra ricerca e formazione: il cantiere-scuola

Nell'ambito delle attività di studio e di valorizzazione promosse nell'area extraterritoriale di Santa Maria di Galeria, i Musei Vaticani hanno stipulato nel 2013 un accordo di collaborazione scientifica con il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre, grazie al quale sono state promosse molteplici attività didattiche e di ricerca sostenute da entrambe le istituzioni. Oltre a tesi di laurea e ricerche di dottorato, ha preso avvio un'importante esperienza di cantiere-scuola che ha avuto per oggetto i resti di due mausolei disposti lungo un diverticolo della via Clodia. Sotto la direzione dei Musei Vaticani e di un gruppo di esperti appartenenti a diverse discipline², alcuni studenti del Dipartimento di Architettura e del Dipartimento di Studi Umanistici di Roma Tre hanno potuto ripercorrere direttamente tutte le fasi di un progetto di restauro archeologico e di valorizzazione: studio, scavo, rilievo archeologico e architettonico, progetto di restauro, esperienza di cantiere.

3.1 I primi interventi sul colombario 'α' e sul mausoleo 'β'

I due sepolcri oggetto del cantiere-scuola sono denominati 'α' e 'β' (fig. 3): il primo è stato rinvenuto durante le campagne di scavo mirate all'identificazione del tracciato della via Clodia, il secondo è da sempre affiorante dal terreno.

I manufatti architettonici e il tratto di strada prospiciente sono apparsi in cattivo stato di conservazione e fortemente danneggiati dai mezzi meccanici usati per le lavorazioni agricole che hanno prodotto asportazioni, scheggiature e graffi. La campagna di scavo 2013 ha messo in luce l'intero perimetro murario e gran parte delle strutture di fondazione.

Le indagini archeologiche condotte dal gruppo di studio di Roma Tre, con il coordinamento dei responsabili dei Musei Vaticani, hanno interessato prima il mausoleo 'α' (maggio-giugno 2014 e giugno-luglio 2015) e in seguito quello 'β' (2016).

Inizialmente è stata condotta una pulitura manuale delle strutture: sono stati eliminati con le dovute cautele gli elementi vegetali che intaccavano gli elevati ed è stato asportato lo strato di humus adiacente alle evidenze. Esclusivamente presso

². Per i Musei Vaticani: responsabile scientifico dott. Giorgio Filippi; coordinatore scientifico dott. Leonardo Di Blasi. Per Roma Tre: responsabile scientifico prof.ssa Elisabetta Pallottino; coordinatore scientifico arch. Paola Porretta; collaboratori scientifici dott.ssa Maura Fadda, arch. Michele Magazzù. Hanno preso parte alle esperienze di cantiere-scuola: Gabriele Ajò, Isabella Ameli, Eleonora Antonucci, Geoffroy Bracq, Silvia Calvigioni, Caleb Maestri, Adriana Miranti, Alessandra Moscone, Salvatore Occhipinti, Lea Fanny Pani.

il colombario α è stato svolto un limitato scavo stratigrafico. Durante i lavori si è provveduto a redigere le schede di unità stratigrafica (US) e di unità stratigrafica muraria (USM) soffermandosi sull'analisi delle rispettive relazioni. A seguito dello scavo tutta la documentazione è stata digitalizzata.

Il colombario α a pianta quadrata poggiante su una fondazione continua in cementizio (circa 3.80 m x 3.80 m) presentava uno stato di conservazione fortemente compromesso a causa delle profonde arature. I muri, di spessore di 0.60 m, erano costituiti da malta tenace color grigio-cenere e schegge di leucitite e laterizi. Le esigue porzioni di elevato per le quali è stata possibile una lettura della tessitura muraria presentavano una cortina in opera reticolata costituita da cubilia di piccole dimensioni realizzati in leucitite e in materiale fittile, ottenuto segnando le ali delle tegole. Presso gli angoli esterni della cortina erano presenti ricorsi di blocchetti quadrati in leucitite sui quali erano poggiati i ricorsi in laterizio. All'interno dell'ambiente la cortina era invece realizzata con tegole prive di alette (*tegulae fractae*) e mattoni ritagliati. La parete prospiciente il diverticolo presentava uno spessore più grande rispetto alle altre ed è probabilmente qui che si doveva aprire l'accesso per il colombario.

Le pareti nord, sud e ovest palesavano importanti lacune probabilmente provocate dall'azione dell'aratro che aveva compromesso anche l'ambiente interno dove sono stati rinvenuti due frammenti di tegole posizionate di taglio, con orientamento nord est – sud ovest, segno evidente dell'attività distruttiva dei mezzi agricoli.



Figura 3

In secondo piano il colombario α e in primo il mausoleo β dopo gli scavi del 2013.

All'interno della struttura sono stati individuati gli strati archeologici numerati ma non scavati nella precedente campagna di scavo: uno strato riempiva tutta la superficie interna del vano e un limitato accumulo di deposito archeologico, erroneamente interpretato come inumazione entro fossa terragna.

In posizione prossima alla via Clodia si attesta invece il mausoleo β . La pianta è quadrata (circa 2.60 m per lato) e l'altezza raggiunge circa i 3.10 m.

Ad oggi si conserva il nucleo in opera cementizia (*opus caementicium*) costituito da una malta molto tenace e *caementa* di piccole schegge di leucitite. Ormai privo del suo originario rivestimento esterno, mostra sottili livelli orizzontali di malta sbiancata che costituiscono il limite della giornata lavorativa effettuata.

Osservando le evidenze monumentali e analizzandone la loro disposizione lungo il diverticolo si osservano le seguenti peculiarità.

L'allineamento sul diverticolo riscontrato nel colombario α non viene rispettato nel mausoleo: questo infatti si orienta in posizione leggermente ruotata verso nord - ovest. Inoltre, osservando il lato di contatto tra le due strutture si osserva che il limite occidentale del recinto del Mausoleo β ha subito nel corso della sua realizzazione un cambio di orientamento, poiché durante l'opera è stato intercettato il sepolcro attiguo, forse ormai in disuso.

Prima di iniziare le attività, è stata allestita una copertura provvisoria in grado di proteggere le strutture dalle condizioni atmosferiche e di agevolare i lavori di cantiere.

Della struttura si conserva solo la fondazione presso i lati ovest e sud, realizzata gettando il cementizio direttamente in fossa (ovvero all'interno del cavo di fondazione realizzato nel banco geologico). Anche in questo caso, come per il nucleo centrale, sono state utilizzate schegge di leucitite come *caementa*.

Un limitato approfondimento rispetto alle indagini precedenti è stato effettuato presso l'angolo sud-est del recinto. Lo scavo ha messo in luce un ulteriore elemento che in precedenza era stato interpretato come pilastro. Alla luce delle nuove osservazioni si tratterebbe piuttosto di un ulteriore porzione di fondazione rettilinea che si doveva sviluppare presso il lato est del mausoleo. Accanto all'angolo sud-est sopra descritto, si individua inoltre un'altra fondazione, con orientamento nord-sud, che prosegue parallelamente alla via Clodia verso il lato meridionale oltre il limite del saggio.

Presso il lato sud del recinto infine è presente l'unica porzione di elevato, realizzato con una malta grigio chiara e una cortina di laterizi di forma triangolare.

3.2 I restauri

A seguito delle operazioni di scavo sono stati eseguiti i rilievi dei manufatti, sia con metodo diretto di dettaglio in scala 1:10, supportati da documentazione fotografica e dagli eidotipi realizzati in corso d'opera, che con documentazione fotografica costruita con la tecnica del foto-mosaico e del foto-raddrizzamento (fig. 4).

Considerata la complessità del mausoleo β , dovuta all'asimmetria della pianta e all'irregolarità dell'elevato in conglomerato cementizio, si è deciso di realizzare un rilievo tridimensionale del manufatto creato tramite set di fotografie elaborate da software di modellazione 3D utile a formulare precise restituzioni grafiche.

Al termine delle operazioni di rilievo, gli studenti hanno interagito con il Laboratorio di restauro materiali lapidei dei Musei Vaticani al fine di acquisire competenze sui metodi di contrasto del degrado e sulle tecniche di consolidamento e ancoraggio delle porzioni murarie più compromesse.

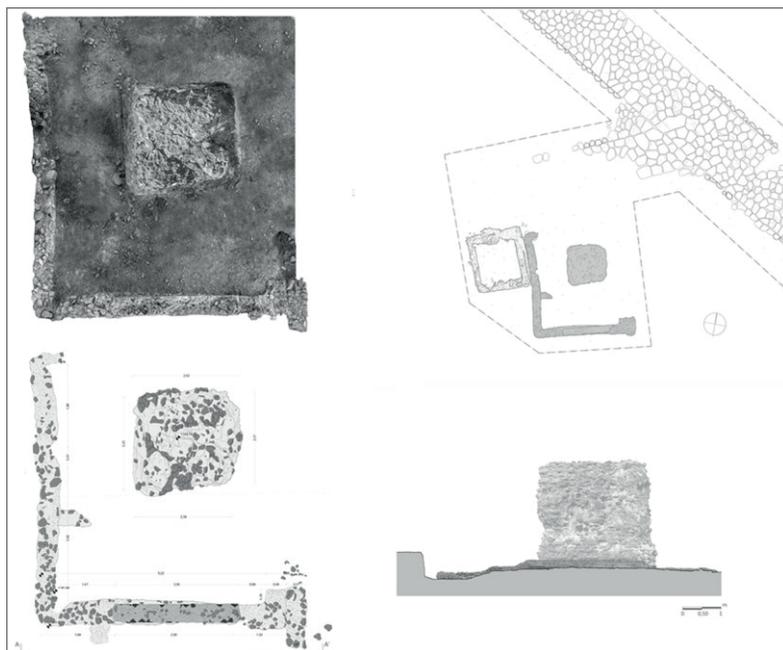


Figura 4

Elaborati grafici di rilievo realizzati per il mausoleo β .

L'individuazione delle patine di aggressione biologica dei materiali, unitamente al monitoraggio costante delle condizioni ambientali del luogo, hanno permesso di individuare il trattamento più idoneo a garantire la conservazione degli elementi originali e l'ancoraggio delle nuove malte. Queste ultime, accuratamente documentate, sono state realizzate con una miscela adeguata, capace di elevate prestazioni meccaniche.

Dopo un breve periodo di formazione il gruppo di lavoro, sotto la Direzione lavori dei Musei Vaticani, ha concretamente eseguito il restauro dei manufatti, concordando con responsabili e committenza le tempistiche e le modalità di intervento.

Gli interventi eseguiti sui brani murari, pur dissimili per tecniche costruttive e stato di conservazione, hanno avuto l'unico obiettivo di consolidare le strutture superstiti integrandole con materiali compatibili con quelli originali (fig. 5).

Lo stato di deterioramento del colombario rendeva incomprensibile sia la pianta

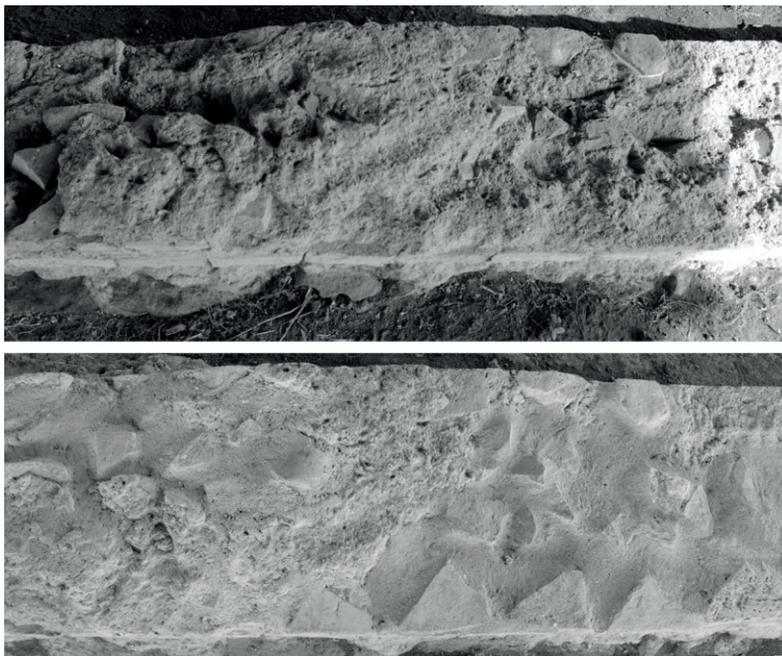


Figura 5

Parte del recinto del mausoleo prima e dopo gli interventi di restauro.

che gli alzati, ad eccezione del prospetto est che manteneva gran parte degli elementi in situ grazie alla sua vicinanza con il nucleo del mausoleo adiacente, come precedentemente descritto. La scelta operativa del restauro è stata quella di ricostruire le porzioni murarie incoerenti al fine di ancorare i materiali originali e di rendere comprensibile lo sviluppo in pianta dell'edificio.

Durante le fasi preliminari, gli studenti hanno numerato i singoli elementi costruttivi e, tramite l'ausilio dei rilievi, hanno potuto comprendere le traslazioni che questi avevano subito a causa delle arature. Tale ricognizione ha permesso di individuare il riposizionamento migliore dei materiali originali, prima dispersi intorno alle strutture.

I nuovi elementi costruttivi sono stati commissionati a una fornace e realizzati sulla base dei disegni forniti dal gruppo di lavoro, lasciando alle malte d'integrazione il compito di segnalare l'intervento di restauro.

Il diverso stato di conservazione del mausoleo β ha suggerito un intervento in parte differente rispetto a quello realizzato sul colombario α .

Del recinto si conservava solo una esigua parte di elevato nel lato sud, mentre a ovest era totalmente inesistente e palesava soltanto un tratto di fondazione. Nel primo caso, dopo una pulitura manuale delle creste murarie che presentavano una malta scura e compatta, si è provveduto ad individuare le parti cave presenti all'interno del muro consolidandole con l'iniezione di apposite miscele fino a rigetto. Dal momento che le strutture non erano direttamente esposte agli agenti atmosferici, è stato deciso di non ricoprire i laterizi originali con nuovi filari. I mattoni di forma triangolare ritrovati durante lo scavo sono stati riutilizzati al fine di connettere alla stessa quota i laterizi che si trovavano su più settori del brano murario. Infine si è provveduto ad apporre nei punti necessari una malta, riconoscibile per il tono cromatico leggermente più scuro rispetto a quello dell'originale, opportunamente spugnata per rendere visibili gli inerti. La restante parte del recinto è stata parzialmente integrata con schegge di leucite, secondo la stessa tecnica costruttiva della fondazione. Infine si è intervenuti sul nucleo in conglomerato cementizio posto al centro del recinto che presentava profonde lacune tali da compromettere la stabilità delle parti superiori. Si è provveduto quindi a colmarle mediante elementi di leucite e si è concluso il lavoro con l'apposizione di malta spugnata laddove necessario.

4. Prospettive di valorizzazione dell'area e di restauro del paesaggio

L'area extraterritoriale di S. Maria di Galeria si colloca in un articolato paesaggio culturale e ambientale. Pur essendo vastamente interessato dalle riforme agrarie del XX secolo, possiamo assumere che si tratti di un paesaggio che ha mantenuto alcuni dei suoi tratti antichi ancora in parte visibili nel contesto agricolo delle successive trasformazioni, testimoniato dalle numerose fotografie realizzate più di mezzo secolo fa dalla British School at Rome, e oggi pressoché rimasto inalterato. Gli interventi realizzati sulle strutture superstiti e sui resti della via Clodia, sopra descritti, permettono di restituire per frammenti alcune delle peculiarità del paesaggio antico. Altri elementi, oggi presenti nell'area vaticana, si prestano ad analoghe operazioni di lettura e restituzione di alcune fasi di trasformazione dell'insieme paesaggistico descritto. Un progetto di valorizzazione contestuale potrebbe ad esempio interessare in futuro anche il tratto fuori terra dell'acquedotto Traiano-Paolo, posto presso il confine nord-est dell'area extraterritoriale. Questo, costruito tra 108 e 109 d.C. per volontà di Traiano e ripristinato nel corso del XVII secolo da Paolo V Borghese, continua ad alimentare le fontane dei Giardini Vaticani con una portata di 200 lt/sec. Inoltre la graduale dismissione degli enormi tralicci realizzati per le trasmissioni radio, unitamente al recupero di uno dei casali abbandonati presenti nell'area, potrebbe qualificare un più vasto progetto di recupero finalizzato alla fruizione delle aree archeologiche e delle infrastrutture antiche presenti nella tenuta.

Bibliografia e riferimenti

- Cataldi, G. [1969]. “La viabilità dell’Alto Lazio dalle origini alla crisi dell’Impero Romano”, in Marconi, P. (a cura di). *Quaderni di ricerca urbanologica e tecnica della pianificazione. Il comprensorio tra la via Flaminia e il Mare*, Roma: Centenari.
- Mattias, P., Ventriglia, U. [1970]. “La regione vulcanica dei Monti Sabatini e Cimini”, *Memorie della Società Geologica Italiana*, vol. 9.
- Parthey, G. F. N., Pinder, M. [1848]. *Itinerarium Antonini Augusti et Hierosolymitanum*, Berolini.
- Prontera, F. (a cura di) [2003]. *Tabula Peutingeriana: le antiche vie del mondo*, Firenze: L. S. Olschki.
- Ward Perkins, J. B. [1955]. “Notes on Southern Etruria and the Ager Veientanus”, *Papers of the British School at Rome*, n. 23, pp. 44-72.

Strumenti e metodi di rilievo di prossimità
mediante droni per lo studio e
documentazione di aree archeologiche e siti
in stato di rudere. Potenzialità e limiti.

*Tools and methods of
close-range survey by drones for study and
documentation of archaeological areas and
ruin sites. Potential and limits.*

Antonio Pecci, Rosa Lasaponara, Nicola Masini

Parole Chiave: droni, telerilevamento, archeologia, modelli 3d,
archeologia dei paesaggi

Keywords: UAV, remote sensing, archaeology, 3d model, landscape
archaeology

Sommario

Negli ultimi anni abbiamo assistito all'introduzione operativa dei droni quali strumenti di rilievo di prossimità di monumenti e complessi archeologici. Tali strumenti presentano un grande potenziale applicativo, per la versatilità, i costi competitivi e la possibilità di acquisire foto e registrare video ad altissima risoluzione. Contemporaneamente, il rapido sviluppo delle metodologie di fotogrammetria moderna (basate su tecniche e algoritmi di *Structure from Motion*) unite al rilievo da drone, ha permesso di rilevare in tre dimensioni siti e paesaggi. I modelli 3d consentono di eseguire delle analisi finalizzate all'interpretazione archeologica e di produrre, ad esempio, planimetrie, sezioni, ortofoto e DEM (*Digital Elevation Model*), fondamentali per la realizzazione di progetti di restauro e valorizzazione. Oltre a rivelarsi strumenti efficaci nella fase di rilievo dei siti già scavati, sono anche utili nell'individuare e mappare indicatori archeologici della presenza di strutture e siti sepolti. In particolare, attraverso l'analisi del microrilievo dei modelli 3d, l'utilizzo di particolari tecniche di visualizzazione quali lo *Sky View Factor*, il *local relief model*, applicati sui DEM, o il semplice uso dei droni in particolari periodi dell'anno favorevoli all'individuazione dei *crop marks* (Masini et al. 2018), è possibile aumentare il livello di conoscenza e l'interpretazione archeologica. Nel presente contributo si discuteranno le potenzialità e allo stesso tempo i limiti di tali strumenti e metodologie, mascherati spesso dall'apparente semplicità di rilievo da drone e creazione dei modelli 3d.

Abstract

In recent years, the introduction of drones in many different operational applications and scientific investigations has been a “revolution” in data acquisition timing, availability, processing and interpretation. In the present paper, both potentials and limitations of drone-based tools and methodologies are discussed for archaeological investigations, considering that the final results are dependent on many variables, as: (i) the drone technical characteristics, the illumination conditions during the acquisitions, the ability of the “drone operator”, data processing tools and methodologies, and the interpretation. Drone based tools have great potential, provided by versatility and the ability to take photos and record videos at very high resolution at low costs. At the same

time, the rapid development of modern photogrammetric methodologies (based on Structure from Motion techniques and algorithms) combined with drone survey, allowed us to detect in three dimensions sites or entire landscapes. The use of special filters such as the Sky View Factor applied on DEM, or the simple use of drones at particular times of the year favourable to the identification of crop marks, it is possible to increase the level of knowledge and archaeological interpretation. The 3d models enable us to perform analysis aimed at facilitating archaeological interpretation and producing, detailed maps, as for example, planimetries, sections, orthophotos, and DEM (Digital Elevation Model). In addition, drones also offer effective tools in the survey phase of the already excavated sites. Moreover, they present enormous potentiality in the stratigraphically investigations through the analysis of the microrelief of the 3D models.

1. Introduzione

I droni, chiamati anche UAV (*Unmanned Aerial Veichles*), o APR (Aereomobili a Pilotaggio Remoto) in Italia, sono definitivamente entrati nel campo del patrimonio culturale, monumentale e archeologico. Nel corso degli anni, ci sono state esperienze nazionali e internazionali che hanno visto approcci a piattaforme differenti come i “Mini-Elicotteri” [cfr. EISENBEISS, 2004; SCAIONI et al., 2011;] e droni ad “Ala Fissa” [Cfr HAALA et al., 2011; CUNNINGHAM et al., 2011;]. In campo archeologico le fotografie aeree, scattate sempre più di frequente attraverso le piattaforme UAVs (o droni), permettono di rilevare la presenza, le dimensioni e la forma di siti archeologici che sono spesso invisibili a livello del suolo, ed è grande il contributo che i droni hanno apportato negli ultimi anni nel campo della fotogrammetria e del Remote Sensing [Colomina & Molina, 2014; Campana, 2017], diventando strumenti sempre più performanti ed economici. Al semplice utilizzo della fotografia aerea si sta affiancando, negli ultimi anni, tramite l’acquisizione fotografica da UAV e attraverso l’utilizzo delle tecniche di SfM (*Structure from Motion*) (Rif. Biblio), la ricostruzione 3D di interi territori [Cfr. NEITZEL & KLONOWSKI 2011; HAALA ET AL. 2011; REMONDINO ET AL. 2011; NEX & REMONDINO 2013;] o il rilievo tridimensionale di scavi archeologici [LO BRUTTO, et alii 2013; Ceraudo et alii 2017; Cowley et alii, 2017; Lasaponara et alii, 2017].

Nonostante i pochissimi anni che ci separano dai primi studi pioneristici [Eisenbeiss, 2004; Eisenbeiss, Zhang, 2006], l’evoluzione tecnologica e il livello qualitativo delle applicazioni dei droni sono fortemente migliorate [Agapiou, Lysandrou, 2015; Fernández- Hernandez, 2015; Campana, 2017.]. La relativa facilità di pilotaggio dei droni, le performance sempre più elevate in termini di

qualità dei sensori, *range* d'azione e autonomia della piattaforma in volo, unita ad una apparente facilità di realizzazione di modelli 3d attraverso la fotogrammetria moderna (basata su algoritmi di *Structure from Motion*), hanno creato un vero e proprio boom di utilizzo in campo archeologico. L'estrema fiducia posta in queste nuove tecnologie, utilizzate sia con ottimi risultati sia talvolta non al meglio delle loro potenzialità, non ha sempre permesso un'attenta analisi dei limiti di tali strumenti e metodologie di rilievo. Infatti, molti autori evidenziano trascuratezza del livello di accuratezza del rilievo o una errata o parziale interpretazione dei dati. Ciò avviene perché spesso manca un *know-how* tecnico e teorico alla base del procedimento di acquisizione, elaborazione, gestione e comprensione dei dati. Allo stesso tempo si lamenta l'assenza di un manuale di corretto utilizzo in ambito archeologico delle piattaforme UAV. Pertanto da un lato abbiamo strumenti sempre più performanti, dall'altro si rileva spesso un inadeguato approccio metodologico che può incidere fortemente nella interpretazione dei dati o nella qualità delle informazioni, con danni anche alla conservazione laddove i rilievi siano effettuati per il progetto di restauro o di messa in sicurezza di un bene culturale.

In questo contributo verranno affrontate le potenzialità e i limiti dei droni nella documentazione di aree archeologiche e siti in stato di rudere, fortemente dipendenti dal contesto archeologico territoriale e da alcune variabili decisive nelle varie fasi di rilievo e interpretazione dei dati.

2. Droni, foto aeree e modelli 3d

Le piattaforme UAV nascono negli anni '50 per scopi militari, fino a giungere, con prestazioni e tecnologie sempre più avanzate, ai giorni nostri. L' *Unmanned Vehicle System International Association* [International Unmanned Aerial System Community, 2008] classifica gli UAV, in base al loro possibile utilizzo, in tre categorie principali: *Tactic*, *Strategic* e *Special Purpose*. Queste sono suddivise a loro volta in base alle loro caratteristiche e prestazioni: peso, autonomia, quota massima raggiungibile e capacità di volo. Gli UAVs appartenenti alla categoria *tactic* (sottocategoria dei micro e dei mini UAVs) sono utilizzati, principalmente, per la documentazione e per il rilievo.

Per realizzare una copertura fotogrammetrica completa di un territorio è necessario pianificare attentamente una serie di operazioni. La prima prevede l'identificazione dell'area di studio. Si determina l'estensione del sito, con i relativi confini, e si analizzano le situazioni critiche da indagare quali la presenza o meno di eventuali ostacoli naturali o strutture antropiche, la copertura vegetale, la morfologia del terreno, presenza di punti noti o non noti di interesse archeologico (eventuali *waypoint* segnalati in una determinata Unità Tipografica). La seconda fase prevede la preparazione tecnica del drone (montaggio batteria, collegamento al segnale GPS, etc.), il decollo, il volo e l'atterraggio. L'acquisizione

fotogrammetria da drone prevede delle acquisizioni fotografiche zenitali e oblique, ad una altezza costante e variabile in base alle performance della camera, del grado di dettaglio da ottenere e dalla prospettiva desiderata. Invece, per poter realizzare un modello 3d da drone è necessario acquisire immagini in modo da ricoprire tutta la superficie dell'oggetto da rilevare garantendo un sufficiente grado di sovrapposizione tra le diverse immagini (di solito del 60 - 80 %). Una volta effettuata la battuta di acquisizione fotogrammetrica con l'UAV si procede con il rilevamento sul campo delle coordinate geografiche di alcuni punti fissi attraverso GPS o Stazione Totale, processo fondamentale per la successiva georeferenziazione del modello 3D. Le foto realizzate vengono nella maggior parte delle volte corrette, in quanto vengono spesso scattate da *action-cam* con un forte *fish-eye*, le immagini non utili, cioè con troppa sovrapposizione tra loro, sfocate, scattate al decollo o all'atterraggio, vengono rimosse. Successivamente vengono caricate e processate in software dedicati basati su algoritmi di *SFM*, i quali possono sfruttare direttamente le risorse del proprio PC (Agisoft Photoscan) o esterni (123d catch). Questi software permettono, attraverso un procedimento semi-automatico, di ottenere la nuvola di punti, la *mesh*, e il modello *texturizzato* georeferenziato finale. I modelli 3D e i relativi derivati come ad esempio Google KMZ, ortofoto e DEM (*Digital Elevation Model*), inseriti in sistemi GIS (QGIS, arcGIS o Global Mapper ad esempio), consentono un'analisi approfondita del territorio oggetto di studio, permettendo un aumento qualitativo e quantitativo del dato archeologico, che va dall'analisi del microrilievo alla produzione di carte dedicate, dal calcolo dei percorsi più veloci o meno impervi alla fotogrammetria finalizzata.

3. Potenzialità e limiti

Nell'affrontare uno studio di un territorio dal forte potenziale archeologico, o di un sito già conosciuto ed in parte indagato, mediante l'utilizzo delle piattaforme UAV, bisogna considerare diverse variabili. Il drone utilizzato (e quindi la qualità del sensore montato su di esso), il contesto di acquisizione (condizione di luce, morfologia del terreno), la capacità di calcolo dei computer per l'elaborazione dei dati acquisiti, il livello di preparazione dell'archeologo, dell'architetto o restauratore della gestione e interpretazione dei dati, ad esempio, giocano un ruolo chiave dalla prima fase di acquisizione fino all'ultima di interpretazione.

Sintetizzando, possiamo individuare sei variabili (Tab. 1):

- strumentazione di rilievo;
- metodo di rilievo;
- modalità di elaborazione dei dati;
- periodo di acquisizione dei dati;

- corretta gestione dei dati;
- esperienza di interpretazione.



Tabella 1

Le variabili.

3.1 Contesto archeologico territoriale

Per contesto territoriale archeologico intendiamo un'area in cui ricade o potrebbe ricadere un sito archeologico ben definito (villaggio, necropoli, ad esempio) o i resti dell'antico sfruttamento umano del territorio (opere di canalizzazione delle acque, divisioni agrarie, etc.). Ogni paesaggio ha una propria identità e si caratterizza da un'evoluzione storica definita da fattori antropici (urbanizzazione, agricoltura, etc.) e naturali (frane, incendi, inondazioni, etc.), interconnessi tra loro. Nell'affrontare lo studio di un determinato contesto territoriale archeologico è fondamentale considerare le dinamiche di abbandono, spolio e rifunzionalità dell'area, e il tempo che ci separa da esso. Pertanto, alcuni siti archeologici si conservano meglio rispetto ad altri negli alzati delle strutture o il loro segno nel terreno è ancora molto percepibile (fossati, terrazzamenti, ad esempio). Si tratta, in genere, di quegli insediamenti abbandonati non più di mille anni fa, senza continuità di vita e localizzati in aree non sfruttate per fini agricoli. “Leggere” questi siti dalle foto aeree o dai modelli 3d da drone appare meno complesso e più di impatto rispetto a quelli che si conservano solo nelle basi di fondazione

(Fig. 1). Ad esempio, l'analisi topografica da DEM e ortofoto (Fig. 1a; 1b) dell'abitato di "Taruga 2" [Lasaponara, Masini, 2012] a Nasca (Perù), o di parte dell'abitato attorno al castello di Brienza (Italia) [Santoro, 2014] (Fig. 1c), abbandonati entrambi non più di cinquecento anni fa, non è molto complessa e meno legata alle variabili precedentemente citate. Nel primo caso risultano ben evidenti le strutture abitative, ed è possibile redigere la planimetria del piccolo centro urbano, formato da case con un ambiente unico, strade ed edifici pubblici con piante più complesse, proprio grazie alla facile lettura offerta dal DEM. Nel secondo caso, l'interpretazione è meno facile, ma si possono individuare i resti di strutture urbane a est e ovest del castello, probabilmente attribuibili al villaggio medievale situato lungo le pendici. Invece, la lettura di siti abbandonati migliaia di anni fa e spoliati nei secoli successivi, localizzati in aree intensamente sfruttate dall'agricoltura, risulta molto problematica e difficile (Fig. 2). È il caso, ad esempio, degli abitati lucani di "Pomarico Vecchio" [Barra Bagnasco 1997] (Fig. 2a) e di "Timmari" [Osanna et alii, 2012] (Fig. 2b) (Italia), probabilmente abbandonati nel II sec. a.C., indagati stratigraficamente tra gli anni ottanta e novanta del secolo precedente, ma arati e coltivati da diversi secoli dai contadini. In questi siti l'analisi topografica risulta estremamente complessa, fortemente legata alle variabili che tratteremo singolarmente di seguito.

3.2 Strumentazione di rilievo

La prima delle variabili comprende le strumentazioni utilizzate per acquisire, elaborare e gestire i dati da drone.

Nel rilievo, un ruolo importante è giocato dal tipo di drone utilizzato e dalle sue caratteristiche (ala fissa, multi-rotore, autonomia in volo, *range* d'azione, etc.), dalla qualità e dal tipo di sensore montato (risoluzione, bande percepite nel caso di camera multispettrale, etc.). La pianificazione del lavoro di acquisizione è strettamente connessa al tipo di configurazione posseduta, ed è un'operazione fondamentale per poter effettuare, potenzialmente, il rilievo migliore. Ad esempio, la risoluzione delle foto dipende dalla qualità del sensore e dall'altezza di volo, di conseguenza migliore è il sensore maggiore è l'altezza a cui si può spingere il drone, il che permette anche di coprire più ettari in meno tempo. Pertanto, bassa qualità della camera e limitata autonomia di volo richiedono tempi di acquisizione più lunghi. Inoltre, la qualità delle immagini in risoluzione condiziona pesantemente il livello qualitativo dei modelli 3d da UAV.

Nell'elaborazione e gestione dei dati da droni, il tipo di PC utilizzato incide notevolmente. Computer performanti, con elevate prestazioni, permettono la riduzione dei tempi di processamento e di lavorare con più dati (foto) in entrata, il

che presuppone, la maggior parte delle volte, risultati migliori nella elaborazione di modelli 3d, DEM e ortofoto. Schede video dedicate, processori di ultima generazione, RAM, rappresentano dei componenti essenziali da non sottovalutare per lavorare con nuvole da milioni di punti (*Point Cloud*) o con modelli 3d estremamente complessi e virtualmente pesanti.

3.3 Metodo di rilievo

Come precedentemente anticipato, alla base di un buon rilievo c'è la pianificazione dei voli e diversi sono i fattori da tenere in considerazione. Tra questi rientrano la qualità del sensore, il tipo di drone, l'area da riprendere, il sole, la luce, le condizioni atmosferiche, la morfologia del terreno, l'altezza e la distanza del drone dall'oggetto da rilevare, l'orientamento della camera, la modalità di copertura fotogrammetrica effettuata (zenitale, obliqua, da alte quote, ravvicinata, etc.) per realizzare il modello 3d. Ad esempio, un numero di foto esigue, scattate da una sola prospettiva o da altezze troppo elevate, con condizioni di luce differenti, non permettono, spesso, di realizzare modelli 3d precisi e con un elevato livello di dettaglio. Invece, una corretta copertura fotogrammetrica, realizzata in condizione di luce diffusa da un drone dotato di camera ad alta risoluzione, permette di ottenere degli ottimi risultati.

3.4 Modalità di elaborazione dei dati

Un'altra variabile da tenere in forte considerazione, strettamente connessa alla potenza di calcolo del PC, è relativa alla qualità dell'elaborazione delle immagini scattate da drone. Un'eccellente acquisizione se non supportata da un'altrettanta ottima elaborazione, può mostrarsi inutile. Parametri bassi nell'elaborazione dell'orientamento delle foto, nella creazione delle nuvole di punti o della *mesh*, possono incidere notevolmente sulla bontà del modello 3d e dei relativi derivati (DEM, ortofoto), rivelandosi un vero e proprio limite nell'interpretazione archeologica proprio a causa del basso livello dei prodotti elaborati.

Ad esempio, nel caso del sito di "San Nicola" a Ferrandina (Italia), abbiamo provato ad elaborare in due modi diversi i modelli 3d (Fig. 3-4). Come si può ben notare, solamente l'elaborazione effettuata con elevati parametri permette una efficace lettura dell'area. Nello specifico, dall'osservazione del DEM, si individuano i segni di *looting* nel terreno, ben definibili nell'area nord del sito.

3.5 Periodo di acquisizione

Un'altra importante variabile è legata al periodo di acquisizione dei dati da UAV. Come da letteratura, l'interpretazione archeologica è fortemente connessa alla geologia del terreno, alla vegetazione, ai periodi migliori per la lettura dei *crop marks* o *soil marks*, ad esempio. Stesso discorso, in parte, si può fare adesso con i

modelli 3d, cercando individuare il periodo e condizione migliore del terreno per poter effettuare l'acquisizione in base, ad esempio, al tipo di lavorazione del terreno (coltivato o arato). Infatti, alcuni contesti archeologici territoriali possono essere più evidenti se ripresi dopo l'aratura del terreno o prima della raccolta. Al momento, studi specifici non esistono su tale ambito di ricerca ma diverse sperimentazioni sono in corso da parte degli scriventi.

3.6 Corretta gestione dei dati

Le foto aeree, i modelli 3d e i DEM soprattutto, richiedono una certa esperienza nella loro gestione da parte dell'archeologo, oltre alla conoscenza dei *software* che ci permettono di osservarli e interrogarli. Spesso, i file finali vengono caricati direttamente dall'utente nelle piattaforme GIS e osservati così come sono stati prodotti. In realtà, esistono alcuni *tools* che ci permettono di modificare alcuni parametri (esposizione luminosa, *azimut*, numero di punti luce, etc.), di applicare delle maschere o alcuni filtri particolari, come la *Sky View Factor* (SFV) [Zakšek, 2011]. Attraverso questi strumenti è possibile migliorare l'interpretazione archeologica notevolmente. Prendiamo per esempio il caso del sito di "Timmari" (Matera, Italia) (Fig. 5). Come si evince, la modifica di alcuni parametri e l'applicazione della SFV consente di ipotizzare l'esistenza di altre strutture nell'area a SO del settore già indagato.

3.7 Esperienza di interpretazione

L'ultima variabile è legata all'esperienza dell'archeologo in tale ambito di ricerca di telerilevamento di prossimità. *Know-how* che deve essere imprescindibile dalla comprensione di tutte le variabili precedentemente citate e ad un'esperienza maturata nel campo del classico *remote sensing*, dell'archeologia dei paesaggi e della topografia antica.

4. Conclusioni

L'apporto dei droni e della fotogrammetria in archeologia è molto importante e consente di migliorare la ricerca scientifica. Tali strumenti e metodologie, anche se innovative, necessitano di una conoscenza approfondita delle tecniche di acquisizione, gestione e interpretazione dei dati. L'archeologo, come dimostrato nel presente articolo, deve tener presente diverse variabili, le quali sono strettamente collegate tra di loro e incidono fortemente nella buona riuscita dell'indagine scientifica. Queste sono strettamente dipendenti e legate al contesto territoriale archeologico che si va ad indagare, che può essere di facile o difficile

lettura a causa degli eventi succedutisi dopo il suo abbandono (spolio, spietramento, età del sito, sfruttamento del terreno, etc.).

Bibliografia e riferimenti

Agapiou, A., & Lysandrou, V. (2015). Remote sensing archaeology: Tracking and mapping evolution in European scientific literature from 1999 to 2015. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 4, 192-200.

Barra Bagnasco, M., (1997). L'abitato, in Pomarico Vecchio. Abitato, mura, necropoli, materiali, I-II (a cura di M. Barra Bagnasco), Lavello 1997, pp. 5-44.

Campana, S. (2017) Drones in Archaeology. State-of-the-art and Future Perspectives. *Archaeological Prospection*, doi: 10.1002/arp.1569

Ceraudo, G., Guacci, P., & Merico, A. (2017). The use of uav technology in topographical research: some case studies from central and southern Italy. *SCIRES-IT-SCIENTIFIC RESEARCH AND INFORMATION TECHNOLOGY*, 7(1), 29-38.

Colomina, I., Molina, P., (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. in *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 92, 2014, pp. 79-97.

Cowley, D. C., Moriarty, C., Geddes, G., Brown, G. L., Wade, T., & Nichol, C. J. (2017). UAVs in Context: Archaeological Airborne Recording in a National Body of Survey and Record. *Drones*, 2(1), 2.

Eisenbeiss, H., & Zhang, L. (2006). Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5), 90-96.

Fernández- Hernandez, J., González- Aguilera, D., Rodríguez- González, P., & Mancera- Taboada, J. (2015). Image- Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low- Cost Tool for Archaeological Applications. *Archaeometry*, 57(1), 128-145.

Haala, N., Cramer, M., Weimer, F., Trittler, M., (2011). Performance Test on UAV-based data collection, in *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*, IAPRS, Volume XXXVIII-1/C22, Zurich, Switzerland, 2011, pp. 1-6.

Lasaponara R, Masini N (2012) Following the ancient Nasca Puquios from space, In: Lasaponara R, Masini N (eds) *Satellite remote sensing: a new tool for*

archaeology, Springer, Berlin, pp 269–290. Doi: 10.1007/978-90-481-8801-7_12. ISBN: 978–90-481-8800-0

Lasaponara, R., Masini, N., Pecci, A., Perciante, F., Escot, D. P., Rizzo, E., ... & Sileo, M. (2017). Qualitative evaluation of COSMO SkyMed in the detection of earthen archaeological remains: The case of Pachamacac (Peru). *Journal of Cultural heritage*, 23, 55-62.

Lo Brutto, M., Meli, P., Ceccaroni, F., Casella, M., (2013). Studio delle potenzialità delle piattaforme UAV nel campo del rilievo dei Beni Culturali in Atti 17° Conferenza Nazionale ASITA, 2013, pp.877-884.

Masini N., Marzo C., Manzari P., Belmonte A., Sabia C., Lasaponara R. (2018). On the characterization of temporal and spatial patterns of archaeological crop-marks. *Journal of Cultural Heritage*, doi: 10.1016/j.culher.2017.12.009

Neitzel, F., Klonowski, J., (2001). Mobile 3d mapping with a low-cost UAV system, in *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-1/C22, 2011, pp. 39-44.

Neitzel, F., Klonowski, J., (2011). Mobile 3d mapping with a low-cost UAV system, in *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-1/C22, 2011, pp. 39-44.

Nex, F., Remondino, F., (2009) UAV for 3D Mapping Applications: A Review., in *Applied Geomatics*, 6, 2009, pp.1-15.

Osanna, M., Roubis, D., Bileddo, M. (2012). Nuove ricerche sull'insediamento italico di Timmari. Studi e ricerche della scuola di specializzazione in beni archeologici di Matera, 157.

Zakšek, K., Oštir, K., Kokalj, Ž., 2011. Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. *Remote Sensing* 3: 398-415.

Risorse web

Agisoft Photoscan	http://www.agisoft.com/
123d catch	https://www.autodesk.com/solutions/123d-apps
QGIS	https://www.qgis.org/it/site/
arcGIS	https://www.arcgis.com/features/index.html
Global Mapper mapper.php	http://www.blumarblegeo.com/products/global-mapper.php

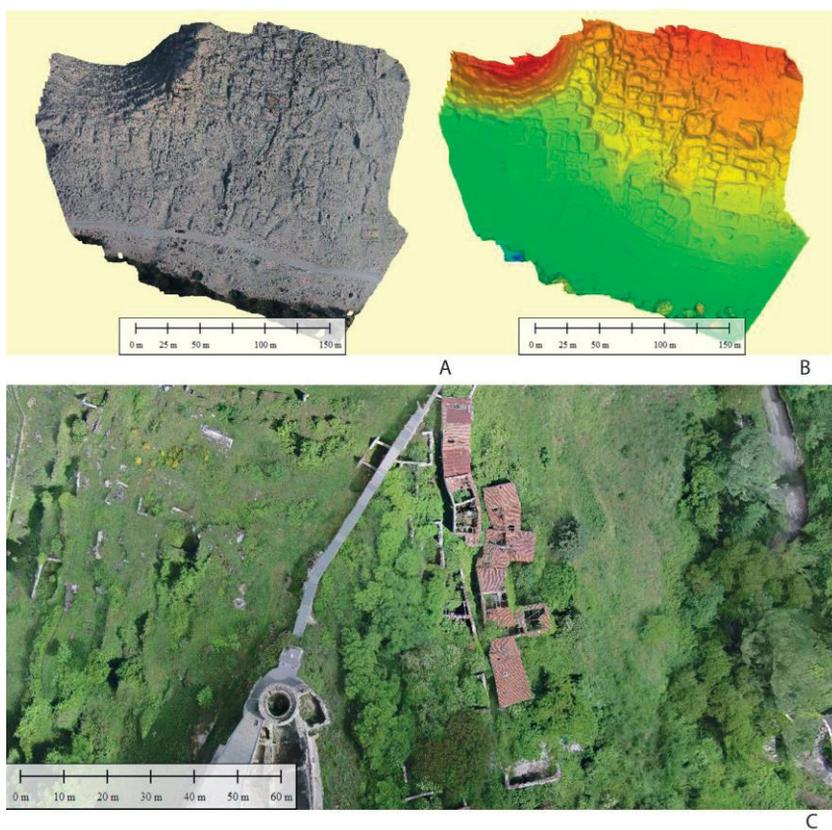


Figura 1

A-B, Ortofoto e DEM dell'abitato di "Taruga 2" (Nasca, Perù). Dettaglio. C, Ortofoto delle pendici occidentali e orientali del castello di Brienza (Brienza, Italia).

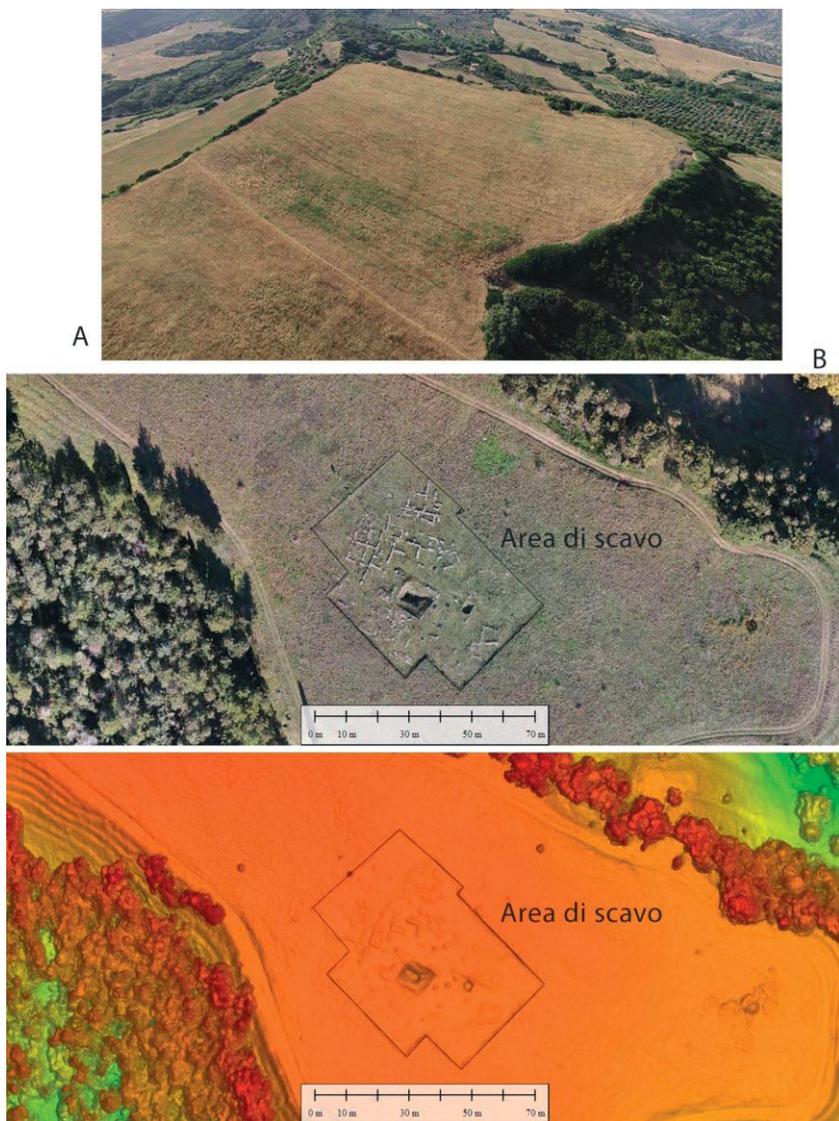
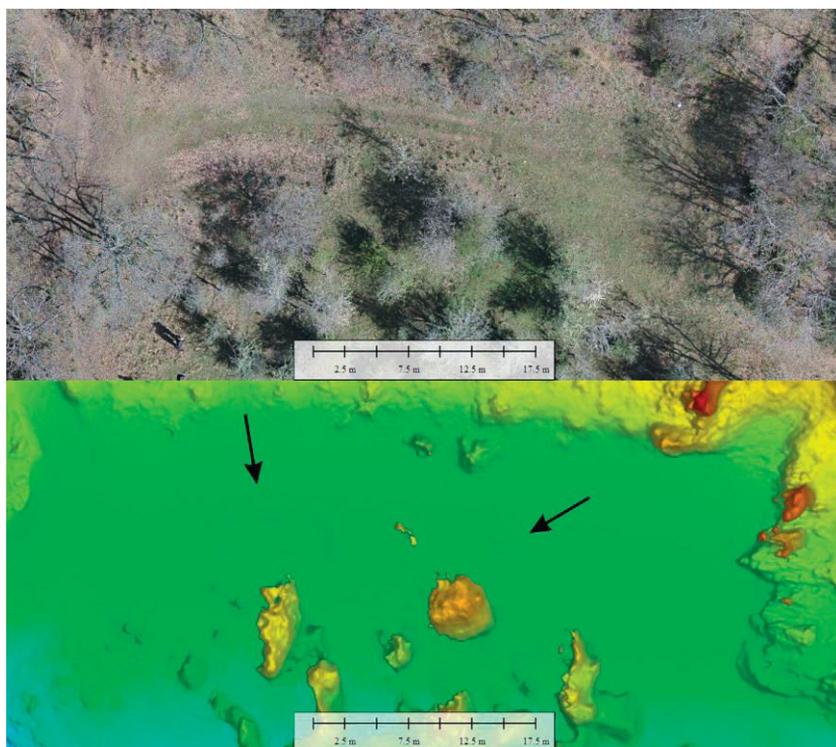


Figura 2

A, Foto obliqua da drone del sito di “Pomarico Vecchio” (Pomarico, Italia). B, Ortofoto e DEM del sito di “Timmari” (Matera, Italia).



N. Foto	Point Cloud	Mesh	Texture	Risoluzione DEM	Risoluzione Ortofoto
198	8.009.314 point	17.614.542 faces	15000x1 size/count	7.35 cm/pix	1.84 cm/pix

Figura 3

“San Nicola”, Ferrandina (Italia). Ortofoto, DEM e tabella riassuntiva del modello 3d elaborato ad altissima risoluzione.

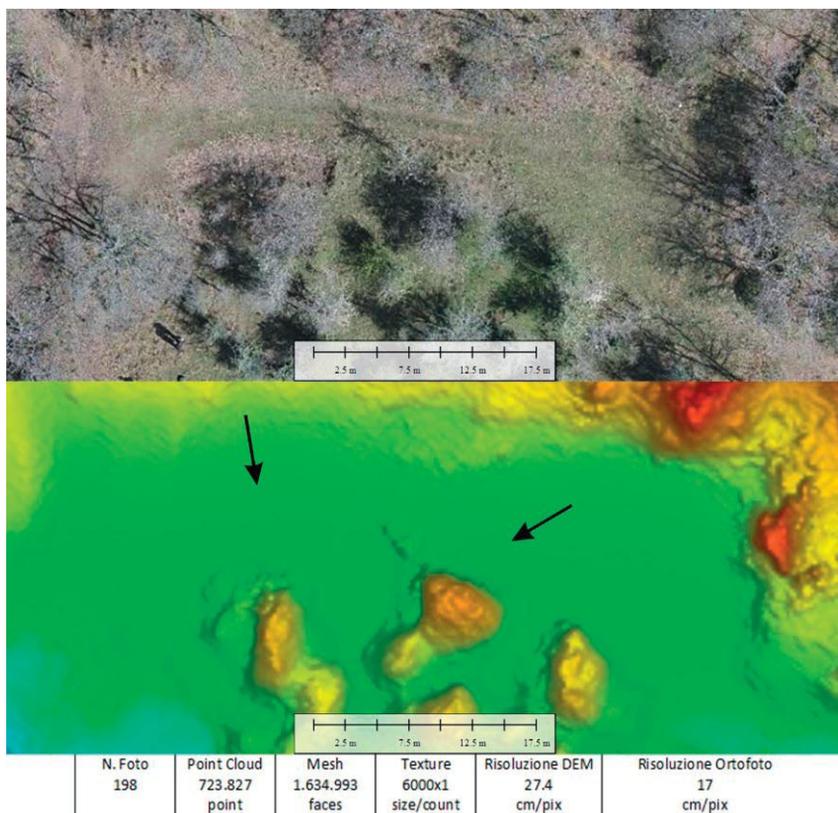


Figura 4

“San Nicola”, Ferrandina (Italia). Ortofoto e DEM e tabella riassuntiva del modello 3d elaborato a bassa risoluzione.

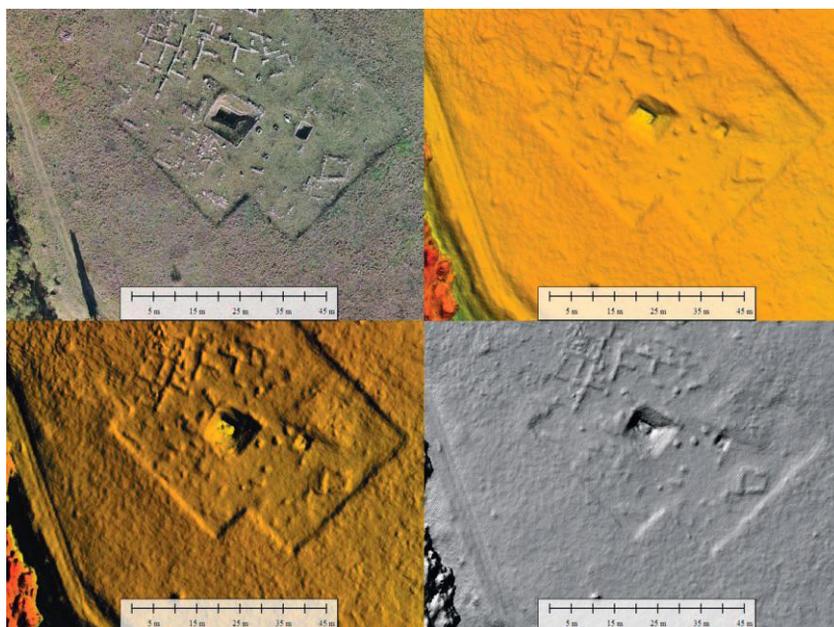


Figura 5

Elaborazioni relative al sito di “Timmari” (Matera, Italia). Dettaglio. A, Ortofoto; B, DEM senza filtri o elaborazioni; C, DEM visualizzato con parametri di luce differenti; D, DEM con applicata la SVF.

**Progetto Doclea, Montenegro:
un'antica città romana con un futuro da “ri-costruire”**

***Dodea project, Montenegro:
an ancient Roman town with a future to be ‘re-built’***

**L. Alberti, T. Koprivica, S. Burzanović, F. Colosi, M. Cozzolino,
A. D'Eredità, V. Gentile, P. Merola, P. Moscati,
O. Pelcer-Vujacić, C. Sfameni**

Parole Chiave: identità culturale, archeologia romana, tecnologie integrate, ricostruzioni architettoniche, valorizzazione

Keywords: *cultural identity, Roman archaeology, integrated technologies, architectural reconstructions, enhancement.*

SOMMARIO

La città romana di Doclea (Montenegro) fu fondata come municipio romano nel I sec. d.C. in una pianura, circondata da colline e delimitata da tre corsi d'acqua, che si trova a circa tre chilometri dall'attuale capitale del paese, Podgorica. Scavata soprattutto alla fine del XIX secolo e solo in parte nel corso del XX secolo, fu una città imponente, la seconda per dimensioni della Dalmazia romana. Ancora oggi sono visibili un grande foro, terme, templi e case private, oltre a tre chiese di epoca medievale.

Alcuni discutibili interventi moderni, quali la costruzione di una ferrovia che negli anni '40 ha tagliato a metà il sito archeologico e la mancanza di una vera politica di conservazione e valorizzazione, stanno mettendo a rischio l'integrità e la capacità di fruizione del sito, che rappresenta uno dei monumenti più importanti per l'identità culturale della nazione montenegrina.

Dal 2016 l'Istituto di Studi sul Mediterraneo Antico (ISMA) e l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali (ITABC) del CNR, in collaborazione con l'Istituto Storico del Montenegro-Università del Montenegro e sotto l'egida del Ministero della Cultura montenegrino hanno iniziato una serie di attività integrate per riprendere le ricerche scientifiche sul sito e iniziare un'opera di conservazione e valorizzazione.

Viene qui illustrato il progetto "ArcheoLab Italia Montenegro" che vede la collaborazione fra studiosi di diverse discipline: archeologi, storici, storici dell'arte, architetti, topografi, geofisici, allo scopo di approfondire la conoscenza e la rivalutazione di un sito ancora per molti aspetti ignoto.

ABSTRACT

The Roman town of Doclea (Montenegro) was founded as Roman municipium in the 1st cent. AD in a plain surrounded by hills and delimited by three rivers, at 3 km from the modern capital Podgorica. Excavated at the end of 19th cent. and during the 20th cent., Doclea was an important city, the second one of Roman Dalmatia for dimensions. The forum, thermae, temples, private houses, and three medieval churches are still visible.

Some modern interventions, as the construction of a railway passing through the archaeological site during the Forties and the missing of conservation and enhancement politics, are risking the integrity and the use of the site, that represents one of the most important monuments for the Montenegrin cultural identity.

Since 2016 the Institute for Ancient Mediterranean Studies (ISMA) and the Institute for Technologies Applied to Cultural Heritage (ITABC) of the National Research Council of Italy (CNR), in collaboration with the Historical Institute of Montenegro – University of Montenegro (HIM) and under the auspices of the Ministry of Culture, started a series of integrated activities in order to launch new scientific researches and a conservation and enhancement project.

The project 'ArcheoLab Italia Montenegro' will be illustrated here. It provides the collaboration among experts in different disciplines: archaeologists, historians, historians of art, architects, topographers, geophysicists, in order to improve the knowledge and the appreciation of a site still unknown from many points of view.

Introduzione

Il sito di Doclea si trova a circa 3 km dalla capitale del Montenegro Podgorica, in una pianura grossomodo triangolare, delimitata da tre corsi d'acqua e circondata da basse colline (Fig. 1).

Per quanto concerne la fase preromana, si ha notizia di alcuni rinvenimenti che dovrebbero appartenere al Neolitico, all'età del Bronzo e del Ferro, ma che restano in gran parte inediti. Viene riportata anche l'esistenza di una fortezza Illirica sulla collina che a nord sovrasta la città romana, oltre ad altri rinvenimenti di epoca preromana e romana.

Verso la fine del XIX secolo vengono intrapresi i primi scavi archeologici, inizialmente da parte di una missione montenegrina diretta dal russo Rovinski e in seguito da archeologi inglesi, che riportano alla luce i principali edifici del centro della città romana, oltre a tre chiese medievali. Vengono scoperti il cardo e il decumano, il foro, le così dette Grandi e Piccole Terme, la basilica, due templi e alcune case private (Munro *et al.* 1896). Durante il XX secolo e agli inizi del XXI secolo altri scavi riportano alla luce il Capitolium ed altri edifici pubblici e privati (Sticotti 1913. Baković 2010; 2011), oltre a gran parte della cinta muraria di epoca romana (Munro 1896. Sticotti 1913. Slavkoburzanovic & Stamenković 2012).

Sebbene non vi siano dati precisi dal punto di vista cronologico, la città venne probabilmente fondata nel corso del I sec. d.C. e poi abbandonata nel VII sec. d.C., quando erano ancora in uso le chiese. Del periodo successivo si hanno pochissime notizie: da informazioni d'archivio sappiamo che Doclea ospitava un episcopio e quindi doveva essere un centro importante, ma, a parte le tre chiese summenzionate, dell'insediamento medievale non si sa quasi nulla (Rinaldi Tufi, Baratin, Peloso 2010. Rinaldi Tufi 2012).

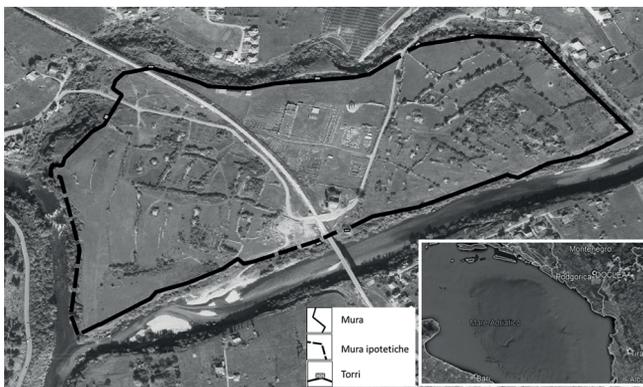


Fig. 1. Immagine da Google del sito di Doclea: in evidenza la cinta muraria di epoca romana.

A partire dal 2015, il Consiglio Nazionale delle Ricerche ha iniziato una fruttuosa collaborazione con il Ministero della Scienza e con il Ministero della Cultura del Montenegro. Gli Istituti CNR coinvolti sono l'Istituto di Studi sul Mediterraneo Antico (ISMA) e l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali (ITABC), mentre da parte montenegrina partecipano al progetto l'Istituto Storico del Montenegro – Università del Montenegro (HIM) e il Ministero della Cultura del Montenegro.

Dopo due progetti bilaterali (ISMA-HIM, 2015-2016; ITABC-HIM, 2017-2018) e un Memorandum of Understanding con il Ministero della Cultura (ITABC, 2016-2021), un Laboratorio Archeologico Congiunto è stato stabilito fra ISMA e HIM, con la collaborazione dell'ITABC¹, per gli anni 2017-2018 (Alberti, Sfameni 2015. Alberti, Koprivica 2017). Il laboratorio è finanziato dal CNR, dal MAECI e dalla Società Terna Crna Gora ed opera sotto l'egida del Ministero della Cultura del Montenegro.

Il Laboratorio (ArcheoLab IT-MNE) vede una strettissima collaborazione fra i ricercatori delle Istituzioni coinvolte, che hanno l'obiettivo di studiare e valorizzare la città romana di Doclea e il territorio circostante, un sito particolarmente importante non solo dal punto di vista della storia antica, ma soprattutto da quello dell'identità culturale montenegrina.

Il progetto, quindi, ha come primo obiettivo la raccolta di tutti i dati storici, archeologici e tecnologici relativi a Doclea e all'area circostante, per poter meglio conoscere sia il paesaggio che la città, ancora poco noti dopo più di cento anni dai primi scavi del 1890. Non sono stati ancora identificati, infatti, i quartieri privati di epoca romana, l'insediamento di epoca medievale e i resti dell'età del Bronzo nelle colline circostanti, né si conosce in quale tessuto sociale e storico si collochi la fondazione di Doclea. L'obiettivo metodologico è testare una serie di nuove procedure integrate di ricerca in un territorio per certi aspetti ancora vergine, perché poco antropizzato e non molto danneggiato da interventi di scavo. Lo scopo è adottare procedure multidisciplinari, in cui siano utilizzate storia, archeologia, topografia, analisi satellitari, applicazioni geofisiche, informatica.

In questo contributo, intendiamo presentare alcuni risultati del progetto, a seguito delle missioni svolte nel 2017, primo anno di attività sul campo. Abbiamo adottato una metodologia integrata e multidisciplinare non invasiva, con differenti scale di analisi che potremmo definire “top-down-top”, secondo la quale vi sono una serie di attività consequenziali: raccolta di tutti i dati di archivio e bibliografici; analisi di immagini satellitari, foto aeree e da drone; ricognizione archeologica sul terreno; prospezioni geofisiche su parti del sito non ancora scavate; ricostruzioni 3D e virtuali; valorizzazione del sito. Il nostro scopo infatti è arrivare a una

¹ I due Istituti CNR coinvolti nel progetto, ISMA e ITABC, faranno parte a breve di un unico Istituto, il costituendo Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC).

migliore conoscenza del sito, della sua estensione e cronologia (sia in epoca romana che medievale), attraverso una ricomposizione di tutti i dati, vecchi e nuovi, per giungere alla costruzione di una pianta digitale aggiornata, primo passo per qualsiasi attività futura di tipo invasivo.

I. SEQUENZA METODOLOGICA

1. Ricerche bibliografiche e d'archivio

Preliminare a qualsiasi ricerca sul campo è una seria attività di raccolta di tutti i dati dell'area da indagare, riguardante non solo l'attività di scavo, conservazione e sistemazione del sito, che è stata fatta a partire dal XIX secolo in poi, ma anche tutti i dati che possono essere reperiti nella documentazione letteraria e storica di fasi precedenti e contemporanee. Un lungo lavoro di raccolta in questo senso è stato fatto negli ultimi anni, con una ricerca minuziosa in archivi e musei di paesi al di fuori del Montenegro, che hanno permesso di ricostruire almeno in parte da un lato la storia delle attività archeologiche sul sito e dall'altro la storia della città nei documenti di epoca romana, tardoantica e medievale (Fig. 2. Koprivica 2013; 2016).



Fig. 2. Doclea, foto dei primi scavi del foro e della basilica (foto di J. Wünnch, 1890, Museo Naprstkovo, Praga, Archivio Vojty Náprsteka)

2. Telerilevamento

Con il termine di dati telerilevati (Gomasca 2009) si indicano tutti i sistemi di ripresa fotografica a distanza e in questo lavoro, sotto questa voce, rientrano tutti i sistemi di rilevamento passivo montati su piattaforma satellitare, aerea e su droni (APR).

Per questo progetto è stato selezionato un *dataset* costituito da cartografia storica e recente, una foto aerea storica ripresa nella seconda guerra mondiale, immagini acquisite per mezzo di drone e da satellite in formato *raster* (Fig. 3).

Le immagini risultanti dalle elaborazioni sono state interpretate dal punto di vista archeologico e topografico cercando di attribuire un preciso significato ad ogni singola traccia, confrontandola con le ipotesi formulate e con i risultati ottenuti mediante le attività di ricognizione.

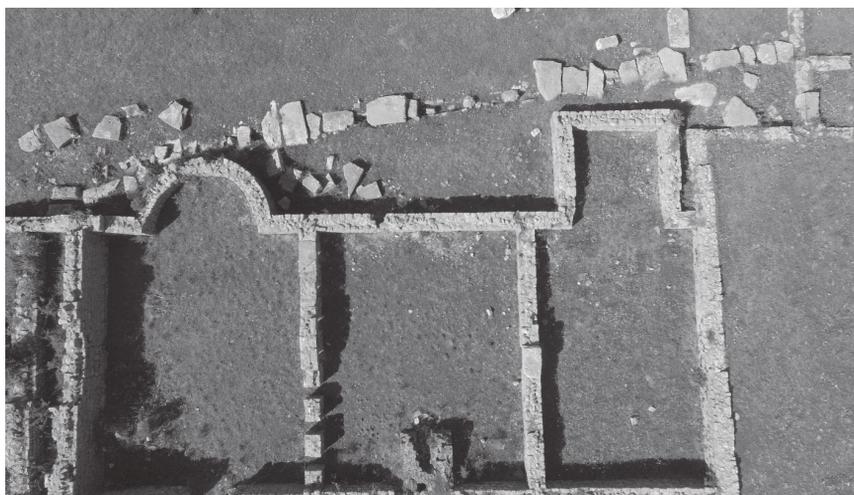


Fig. 3. Particolare delle terme di Doclea (acquisizione da drone)

3. Ricognizione archeologica

La ricognizione ha riguardato il territorio compreso all'interno delle mura romane, ponendosi i seguenti obiettivi: la verifica e il posizionamento assoluto delle parti ancora emergenti dei monumenti studiati e rilevati dagli inglesi alla fine dell'800 (Munro 1896) e da Sticotti nel 1913 (Sticotti 1913); l'individuazione e il posizionamento delle strutture affioranti sul terreno probabilmente pertinenti ai quartieri residenziali della città.

Il territorio è stato indagato in maniera intensiva, con una copertura pressoché totale dell'area a sud del foro (Fig. 4).



Fig. 4. Città di Doclea con indicazione delle aree oggetto di ricognizione e delle aree ancora da investigare nelle successive campagne di survey

I muri affioranti sono stati posizionati per mezzo di un GPS differenziale Topcon GR5 che offre una precisione di circa cm 1. L'antenna *reference* è stata sempre collocata su un punto fisso all'interno della basilica, mentre il *rover*, montato su palina, è stato utilizzato in modalità *stop and go* (Gabrielli 2001; Colosi *et. al.* 2006). Con il *rover* sono state acquisite le coordinate assolute degli angoli delle strutture e degli allineamenti dei muri, in modo da poterli inserire e studiare all'interno del GIS (Fig. 5). Infatti i rinvenimenti georiferiti hanno permesso di verificare la presenza di strutture antropiche con diversi allineamenti probabilmente pertinenti alle diverse fasi di urbanizzazione. Sulla base dei dati acquisiti è stato possibile confermare l'esistenza di un modello insediativo a maglie regolari tipico delle colonie dedotte da Roma.

4. Indagini georadar

Nel contesto archeologico di Doclea è stata realizzata un'indagine conoscitiva tramite un approccio geofisico non distruttivo, al fine di realizzare una mappatura delle strutture sepolte nel sottosuolo in modo da soddisfare l'esigenza di indirizzare, in zone mirate, scavi archeologici e piani di intervento diretti, dettagliati ed efficaci.

L'indagine geofisica a Doclea è stata pianificata, in sinergia con gli archeologi, supponendo tipo, dimensioni e profondità dei resti antropici nel sottosuolo e tenendo in considerazione la logistica dell'area e la caratterizzazione geolitologica e fisiografica dei terreni. In quest'ottica una campagna di indagine con la tecnica del *Ground Penetrating Radar* (GPR) è stata realizzata nello spazio tra i due impianti termali. Il principio della metodologia adoperata è basato sull'immissione nel sottosuolo da investigare di impulsi di onde elettromagnetiche ad alta frequenza e sulla ricezione degli echi radar riflessi da eventuali superfici di discontinuità. Le quantità che vengono misurate quando si effettuano



Figura 5. Area archeologica con indicazione di alcuni percorsi seguiti durante l'attività di ricognizione e delle coordinate assolute acquisite per mezzo di un GPS differenziale Topcon GR5.

le indagini GPR sono due: il tempo necessario all'onda per compiere il percorso dall'antenna trasmittente alla discontinuità e a tornare in superficie (tempo doppio o *two way time*) e l'ampiezza dell'onda riflessa. Il tempo doppio di viaggio dipende dalla velocità con cui si propaga l'onda all'interno del materiale e fornisce informazioni sulla profondità a cui si trovano i riflettori. L'ampiezza, invece, che rappresenta quanta energia torna in superficie dopo la riflessione, dipende dall'energia iniziale dell'onda inviata, da quanta ne viene dissipata lungo il tragitto e dal contrasto delle proprietà elettromagnetiche dei materiali che determinano la superficie della riflessione.

Tecnicamente l'acquisizione dei dati è avvenuta utilizzando un georadar RIS-K2 della IDS con antenna multifrequenza da 200-600 MHz (Fig. 6, in alto) su delle linee in cui le letture strumentali sono state eseguite in modalità continua. Al fine di creare sezioni trasversali del sottosuolo, tutte le tracce registrate sono state visualizzate in un formato che prevede in ascissa il numero delle tracce e in ordinata il tempo doppio di percorrenza delle onde (radargramma). I profili standard, che rappresentano i dati grezzi, sono stati poi processati tramite varie tecniche di elaborazione per enfatizzare le riflessioni che provengono da interfacce e oggetti sepolti. Per il trattamento dei dati sono stati utilizzati algoritmi complessi come filtri passa banda, filtri di riduzione del rumore o gain (Conyers & Goodman 1997). In questo caso, per ogni area indagata, sono stati acquisiti parecchi profili paralleli formando uno schema a griglia per verificare l'estensione e le dimensioni dei target sepolti. In tal modo è stata ottenuta una matrice 3D di dati del volume sottostante la superficie indagata dalla quale sono state estratte, dopo opportuni processi matematici, delle sezioni orizzontali (*time slices*) a varie profondità in cui vengono visualizzati con colori differenti i vari lineamenti strutturali nascosti. In figura 6 (in basso) viene mostrata una visualizzazione tridimensionale dei risultati georadar ottenuti presso le terme dalla quale è possibile riconoscere alcune anomalie ad elevata ampiezza ascrivibili con molta probabilità a strutture archeologiche sepolte.



Fig. 6. *Acquisizione dati con Georadar RIS-K2 (in alto) e visualizzazione 3D dei risultati geofisici presso le terme (in basso).*

5. Realizzazione di un Sistema Informativo Geografico (GIS)

Lo studio storico-topografico di questa area, che si caratterizza per la sua estensione ed interesse, è stato notevolmente agevolato dall'utilizzo di un sistema informativo geografico (GIS) mediante il quale si sono gestiti, analizzati ed elaborati un elevato numero di dati, anche eterogenei, relativi alla città romana in ogni sua componente naturale ed antropica (Biallo 2006).

Il GIS raccoglie in layer differenti i dati cartografici, la modellazione 3D del terreno e degli edifici storici, la banca dati georiferita concernente alcune tematiche fondamentali come la carta archeologica costruita sulla base delle informazioni edite, la carta delle indagini archeologiche, delle attività di survey e delle fotointerpretazioni delle immagini telerilevate (Cirelli 2016, 210).

Per la rappresentazione di questi elementi naturali presenti nel paesaggio è stata costruita la carta in 3D dell'uso del suolo, la carta delle pendenze e delle quote.

Il GIS realizzato è di tipo "aperto", è possibile aggiornare i dati, arricchirli con maggior dettaglio o aggiungere nuove informazioni acquisite durante future ricerche archeologiche ed aereotopografiche. La disponibilità di informazione deve infatti essere continua e dettagliata nel tempo, data la velocità di modificazione e alterazione dei territori sottoposti ad attività antropiche e, al contempo, a fenomeni ambientali.

6. Rilievo architettonico e ricostruzione di massima delle volumetrie

Per quanto concerne il rilievo architettonico degli edifici, è iniziata la fase di rielaborazione delle immagini da drone e la loro restituzione grafica, allo scopo prima di tutto di avere una pianta di dettaglio il più possibile aderente alla realtà. A questo proposito, infatti, sono già state notate significative differenze con le vecchie piante di Sticotti (1913) e con altre successivamente elaborate, spesso su quella stessa base. Si sta dunque procedendo all'elaborazione di piante di fase per quelle aree dello scavo che evidenziano chiaramente più fasi costruttive che, pur essendo di difficile datazione, testimoniano l'evoluzione e la trasformazione delle componenti architettoniche.

Ancora agli inizi è l'attività di ricostruzione ipotetica dei volumi degli edifici, ma l'uso di questo strumento conoscitivo ed interpretativo risulta imprescindibile, data la volontà di operare in maniera organica su tutta l'area della città. La ricostruzione nasce dall'analisi di dettaglio dei reperti, utile per la definizione delle proporzioni e la modulazione di spazi e volumetrie.

La raccolta e l'elaborazione grafica dei dati metrici e fisici ci sta dunque fornendo i presupposti per evidenziare il rapporto tra consistenza muraria e altezza presunta dei fabbricati e per definire poi i sistemi e le scelte operate nelle fasi di costruzione.

Quale strumento operativo e metodologico si è utilizzata la gerarchia degli elementi, partendo dallo studio degli elementi di dettaglio (come ad esempio il

capitello, che presumiamo fosse presente nello spazio del foro), per risalire ad una proporzione dell'elevato che ci indicasse le dimensioni complessive dei manufatti architettonici (sull'esempio dei canoni vitruviani), operando per quanto possibile in maniera rigorosa rispetto ai reperti presenti e verificabili nella loro collocazione più probabile (Fig. 7).

Una fase ulteriore concerne il confronto storico con esempi realizzati in un arco temporale compatibile, da cui isolare le tecniche costruttive evidenziando differenze e similitudini.

L'importanza della ricostruzione tridimensionale risulta particolarmente evidente quando ci restituisce l'aspetto della città e contemporaneamente solleva una serie di interrogativi e di quesiti interpretativi che saranno alla base degli studi e approfondimenti successivi.

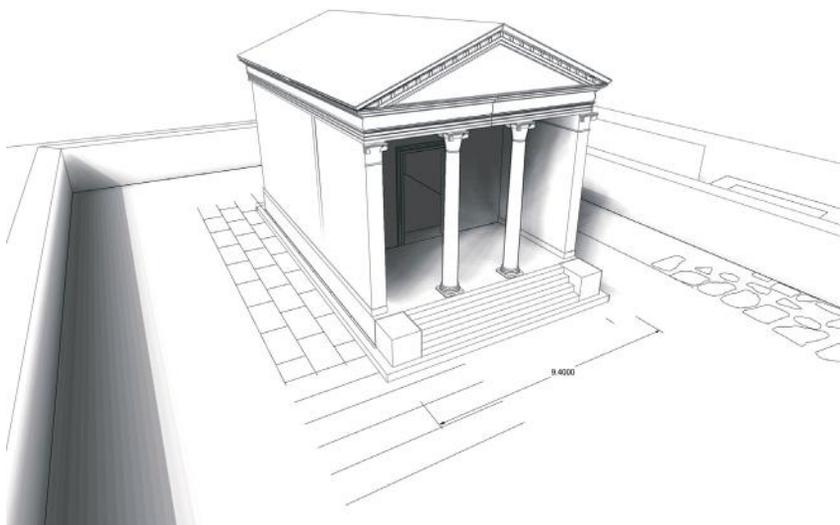


Fig 7. Ricostruzione di massima del presunto tempio della dea Roma

II. RISULTATI PRELIMINARI E PROSPETTIVE FUTURE

Dopo il primo anno di attività sul sito di Doclea (2017), i risultati sono per forza di cose ancora preliminari, ma l'adozione di diverse metodologie di indagine, tutte integrate e dialoganti fra loro, consente di essere ottimisti riguardo ai futuri sviluppi del progetto.

A parte i primi risultati scientifici relativi a una nuova comprensione del sito stesso, alla sua effettiva estensione, alla sua urbanistica, evoluzione e cronologia, che saranno oggetto di una pubblicazione più specifica (*Archeologia e Calcolatori* 2018), vi sono una serie di risultati di carattere metodologico e culturale che meritano di essere sottolineati.

Il primo risultato è senz'altro metodologico, con il voler mettere a sistema dati e informazioni diversi, sparsi in ambiti anche molto lontani gli uni dagli altri: dai dati di archivio relativi sia ai vecchi scavi, sia agli scavi ancora in gran parte inediti del XX secolo, alle poche pubblicazioni archeologiche esistenti, fino ai dati odierni ottenuti grazie all'applicazione di vecchie e nuove tecnologie con impiego di personale altamente specializzato e dalle competenze diverse.

Il secondo risultato è educativo, nel senso che intendiamo evidenziare e proporre una serie di *good practices* da applicare a siti come Doclea che sono vecchi e nuovi, vale a dire scavati ormai molti decenni fa, in periodi in cui le metodologie archeologiche erano ai primordi, ma che sono ancora in gran parte ignoti e nei quali è possibile applicare fruttuosamente nuove tecnologie d'indagine. Uno dei nostri propositi futuri è, infatti, un più attivo coinvolgimento dell'Università del Montenegro, presso la quale non esiste né una facoltà di archeologia, né una facoltà dedicata ai beni culturali. Lo scopo ultimo è infatti trasmettere ai giovani studiosi locali una vera e propria cultura scientifica del patrimonio culturale, concepito in modo multidisciplinare e integrato.

Per quanto concerne le prospettive future, un'importante valorizzazione del sito è fra i nostri obiettivi principali, come anche ci viene richiesto dalle Istituzioni locali. Accanto alla necessaria indagine conoscitiva del sito e della sua storia, vi è infatti lo sviluppo di un piano di conservazione, valorizzazione e fruizione culturale, che può concretizzarsi tramite la realizzazione di un ecomuseo che leghi più efficacemente il patrimonio storico-archeologico al territorio e alla comunità residente. Una struttura che sia più di un semplice parco archeologico, di concezione moderna capace di diventare uno strumento di conservazione dell'esistente e di disseminazione culturale per le generazioni future, che sia legato a un intero territorio attraverso lo sviluppo di itinerari tematici che coinvolgano più siti con tematiche simili. L'obiettivo finale è quello di creare una rete di luoghi di cultura interconnessi con affinità e peculiarità, che rispondano all'esigenza da parte della popolazione del Montenegro di recupero delle proprie radici e della propria antica identità culturale.

Bibliografia

- Alberti L., Koprivica T. (2017), *Joint Archaeological Laboratory Italia Montenegro: the Doclea Valley*, *Archeologia e Calcolatori* 28.1, 309-312.
- Alberti L., Sfameni C. (2015), *La collaborazione scientifica fra l'ISMA e l'Istituto Storico del Montenegro. Un primo risultato di diplomazia 2014*, *ISMAGazine* 2, 12-13
- Alberti L., Koprivica T., Burzanović S., Colosi F., Cozzolino M., D'Eredità A., Gentile V., Merola P., Moscati P., Pelcer-Vujacić O., Sfameni C., *The ArcheoLab project in the Doclea Valley: Archaeology, technologies and future perspectives*, *Archeologia e Calcolatori* 29, 2018 (in corso di stampa).
- Baković M. (2010). *Archaeological research on the locality of Doclea in 2009*, Building N. 9, *Nova Antička Duklja* I, 67-77.
- Baković M. (2011). *Preliminary results of the research into the area of the capitol temple of the Doclea site*, *Nova Antička Duklja* II, 9-26.
- Biallo G. (2006), *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*, Roma, I Quaderni MondoGis
- Cirelli E. (2016), *Applicazioni Gis all'archeologia urbana: il caso di Ravenna*, *Archeologia e Calcolatori* 27, 209-226.
- Conyers L. B., Goodman D. (1997). *Ground penetrating radar. An introduction for archaeologists*, AltaMira Press. Division of Sage Publications, Inc.
- Colosi F., Gabrielli R., Lazzari A. (2006), *Il sistema GPS per il rilevamento del territorio: potenzialità e limiti dei diversi metodi di acquisizione*, in S. Campana, R. Francovich (eds.), *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali*, Firenze, all'Insegna del Giglio, 187-200.
- Gabrielli R. (2001), *Introduzione all'uso del GPS in archeologia*, in Campana S., Forte E. (eds.) 2001, *Remote sensing in archeologia. XI ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia*, Certosa di Pontignano (Siena), 6-11 dicembre 1999, Firenze, 329-354.
- Gelichi *et al.* (2012): S. Gelichi, C. Negrelli, S. Leardi, L. Sabbionesi, R. Belcari, *Doclea alla fine dell'antichità. Studi e ricerche per la storia di una città abbandonata della Prevalitana*, *Nova antička Duklja* III, 11-40.
- Gomasasca (2009), *Basic of Geomatics*, Netherlands, Springer.
- Koprivica T. (2013), *Journal Entries and Photographic Documentation of J. A. R. Munro Related to the Archaeological Exploration of Doclea (Montenegro) in 1893*, *Zograf* 37, 1-15.
- Koprivica T. (2016), *Arhitektura kasnoantičke Duklje. Mogućnost rekonstrukcije [The Architecture of Late Antique Doclea. Possibilities of Reconstruction]*, Filozofski fakultet u Beogradu [Faculty of Philosophy-Belgrade], PhD dissertation.

Munro J.A.R., Anderson W.C.F., Milne J.G., Haverfield F. (1896). *On the Roman town Doclea in Montenegro*, *Archaeologia* 55, 1-60.

Rinaldi Tufi S. (2012), *Doclea, città romana del Montenegro*, in de Marinis G., Fabrini G.M., Paci G., Perna R., Silvestrini M. (a cura di), *I processi evolutivi della città in area adriatica*, BAR IS 2419, Oxford, 477-490.

Rinaldi Tufi S., Baratin L., Peloso D. (2010), *Valorizzazione del sito archeologico di Doclea, città romana in Montenegro*, *BA online*, 71-77.

Sticotti P. (1913). *Die römischen Stadt of Doclea in Montenegro*, Wien.

Zivanović M., Stamenković A. (2012), *On city walls of ancient Doclea*, *Nova Antička Duklja* III, 115-142.

L. Alberti*, T. Koprivica**, S. Burzanović**, F. Colosi***, M. Cozzolino***, A. D'Eredità*, V. Gentile****, P. Merola***, P. Moscati*, O. Pelcer-Vujacic**, C. Sfamini*.

* Istituto di Studi sul Mediterraneo Antico, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISMA-CNR)

** Istituto Storico del Montenegro – Università del Montenegro (HIM)

*** Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali, Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITABC-CNR)

**** Spin-off G.A.I.A. Business System, Università degli Studi del Molise