

aplar  **5**

Atti del Convegno
APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO

Musei Vaticani 18-20 settembre 2014



NARDINI EDITORE



MUSEI VATICANI



APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO

Città del Vaticano, Musei Vaticani 18-20 settembre 2014

Atti del 5° Convegno
a cura di Anna Brunetto



NARDINI EDITORE



MUSEI VATICANI

Comitato Scientifico

Lorenzo Appolonia, *Soprintendenza Beni Culturali Aosta, Pres. IGIIC*

Giorgio Bonsanti, *già Univervità degli Studi di Firenze*

Anna Brunetto, *Restauri Brunetto, Vicenza*

Giancarlo Lanterna, *Opificio delle Pietre Dure, Firenze*

Barbara Mazzei, *Musei e Archivi PCAS, Città del Vaticano*

Antonio Paolucci, *Musei Vaticani, Città del Vaticano*

Paolo Salonia, *ITABC - CNR, Roma*

Antonio Sansonetli, *ICVBC - CNR, Milano*

Ulderico Santamaria, *Musei Vaticani, Università degli Studi della Toscana*

Salvatore Siano, *IFAC - CNR, Firenze*

Fabrizio Vona, *Sopr. Speciale per il Psae e per il Polo Museale di Napoli*

Comitato tecnico

Anna Brunetto, *Restauri Brunetto, Vicenza*

Michela Gottardo, *Musei Vaticani, Città del Vaticano*

Barbara Mazzei, *Musei e Archivi PCAS, Città del Vaticano*

Ulderico Santamaria, *Musei Vaticani, Università degli Studi della Toscana*

Organizzazione

Ufficio Eventi - Musei Vaticani

eventi.musei@scv.va

Atti del 5° Convegno APLAR

a cura di Anna Brunetto

ISBN: 978-88-404-0078-5

Stampa: agosto 2017

Elaborazione Grafica

Tipografia Unione, Vicenza

Copyright 2017 Anna Brunetto

Riproduzione vietata ai sensi di legge

(art.171 della legge 22 aprile 1941, n. 633)

Senza regolare autorizzazione,

è vietato riprodurre questo volume

anche parzialmente e con qualsiasi mezzo,

compresa la fotocopia, anche per uso interno

o didattico.

In copertina

Giorgio De Marchi, Circe, 2012 Vicenza,

particolare maschera in cuoio decorato

Foto di Gianni De Polo

Promosso da



MUSEI VATICANI

In collaborazione con



Con il patrocinio di



Con il contributo di



INDICE

Presentazione di Antonio Paolucci	11
Introduzione di Anna Brunetto	12
 La tecnologia laser nella pulitura dei manufatti lapidei: casi studio a confronto R. Licciardi, M. Mascalchi, S. Siano, B. Megna	15
 Rimozione laser di biodeteriogeni da manufatti lapidei: definizione dei parametri di irraggiamento e valutazione analitica M. Mascalchi, I. Osticioli, S. Siano	31
 Due casi di pulitura laser a 532 nm: sarcofago e materiali cartacei J. Striber, M. Franković, M. Jovanović, M. Jelenić	45
 Effetti della radiazione laser su transenne in stucco gessoso e selenite da Santa Sabina in Roma F. Aramini, P. Biocca, A. Brunetto, L. Conti, C. Giovannone, V. Massa, S. Pannuzi, G. Sidoti	57
 L'intervento di restauro del gruppo di Ganimede con l'aquila, Galleria degli Uffizi, Firenze S. Landi, D. Manna	73
 Applicazione del laser nella pulitura di opere lapidee: esperienze recenti ai Musei Vaticani E. Bottacci, V. Felici, V. Lini, G. Mori, R. Sánchez Del Pozo, S. Spada	83
 La pulitura di un'urna romana con il laser Er:YAG a 2940 nm A. De Cruz, A. Andreotti	101
 Rimozione di scritte vandaliche da pietra di Vicenza con tecnologie laser e plasma atmosferico M. Favaro, I. Sacco, L. Tresin, A. Brunetto, F. Faleschini, L. Nodari, A. Patelli, E. Verga Falzacappa, P. Scopece, S. Voltolina	111
 Rimozione delle scritte a pennarello dalle superfici in marmo: approccio fisico-chimico B. Salvadori, M. Del Colle, S. Caciagli, E. Cantisani, B. Agostini, V. Trafeli, R. Fontana, J. Striova	121
 Il Cristo Svelato: rimozione di ossalati su un bassorilievo medioevale in marmo dorato e policromo esposto all'esterno K. Schneider	131

Coperchio di Sarcofago egizio in arenaria dipinta: considerazioni sugli esiti e sulla messa a confronto di diverse modalità applicative dell'ablazione laser utilizzata per la pulitura M. Gottardo	143
Rimozione laser di ridipinture su scultura in terracotta policroma: il caso della <i>Madonna della Salute</i> di Lobia di Persegara S. Borella, A. Brunetto, P. Bensi, E. Monni	163
La rimozione di ridipinture a biacca alterate sugli affreschi della cappella di San Lorenzo alla Scala Santa M.L. Putska, P. Violini, F. Cencia, A. Ferlito, P. Giacomazzi, C. Heiniger, F. Leopardi, C. Munzi, G. Pinto, S. Sechi, L. Ugolini	177
Il dipinto murale del Maestro di Figline <i>L'Assunzione della Vergine</i> nella Basilica di Santa Croce a Firenze: pulitura con strumentazione laser della campitura azzurra del fondo F. Bandini, I. Barbetti, O. Caruso, A. Felici, C. Frosinini, G. Lanterna, M. Mascalchi, A. Scala, S. Siano	191
Necropoli della <i>Via Triumphalis</i> in Vaticano: applicabilità della tecnologia laser integrata con metodologie tradizionali e biopulitura R. Giardina, B. Bucciarelli, V. Felici, A. Tagnani	209
Il recupero della decorazione del cubicolo di Lazzaro nelle catacombe di Priscilla: l'inaspettato ciclo di affreschi del IV secolo M.G. Patrizi, S. Ridolfi, I. Carocci	227
Trattamento di rimozione laser dalle pitture murali di due arcosoli nella catacomba di Domitilla A. Brunetto, S. Ridolfi, I. Carocci, B. Mazzei	245
I cubicola della Villa di Livia a Prima Porta: considerazioni sulla pulitura laser A. Borzomati, G. Di Gaetano, C. Fiorani, M. Stallone	265
New advances in laser cleaning research on archaeological copper based alloys: methodology for evaluation of laser treatment I. Donate-Carretero, J. Barrio Martín, M. Cruz Medina-Sánchez, A.I. Pardo	279
Valutazione analitica degli effetti di una pulitura laser: la statua in bronzo di Napoleone come Marte Pacificatore di Antonio Canova A. Sansonetti, M. Colella, P. Letardi, B. Salvadori, J. Striova	297

Laser cleaning of archaeological roman glass M. Cruz Medina-Sánchez, J. Barrio Martín, A. I. Pardo, I. Donate-Carettero	309
Il restauro della brigantina di Mondragone (CE): la pulitura di un reperto polimaterico con ausilio del laser M. Musella	319
L'ausilio del laser per il risanamento di un supporto tessile I. Negri, F. Zenucchini, T. Cavaleri, A. Piccirillo	329
L'impiego della tecnologia laser per la pulitura dei supporti nei dipinti su tavola M.L. Pustka, M. Alesi, L. Ricciardi	341
Intervento di rimozione laser sul manto dorato a rilievo di un dipinto di Carlo Crivelli della Accademia Carrara A. Brunetto, D. Fagnani, F. Frezzato, G. Valagussa	355
Rimozione selettiva di resine naturali da due dipinti su tela di Lorenzo Lotto R. Giardina, U. Santamaria, F. Morresi, F. Persegati	373
La pulitura laser di vernici sintetiche su una tavolozza acrilico-vinilica: rimozione, resistenza e alterazioni G. De Cesare, P. Iazurlo, P. Biocca	383
Rimozione controllata di ridipinture a olio da dipinti su tela del XX secolo mediante ablazione con laser Nd:YAG (1064 nm) LQS D. Ciofini, I. Osticioli, A. Pavia, S. Siano	395
Applicazioni laser su spugna marina: le <i>Sculptures-Éponge</i> di Yves Klein R. Rezza, A. Brunetto, P. Buscaglia, O. Chiantore, T. Poli, A. Rava, M.T. Roberto, F. Zenucchini	407
Sperimentazione sull'uso del laser per la pulitura delle piume presenti nella Collezione Etnologica dei Musei Vaticani S. Pandozy, C. Rivière, M. Brunori, F. Nepote, A. Rivalta, U. Santamaria, F. Morresi, F. Fraticelli, C. Colantonio, A. Brunetto	423
Classificazione di ceramiche archeologiche utilizzando algoritmi neurali applicati a spettri di plasmi indotti da laser (LIBS) S. Pagnotta, C. Arias, G. Radi, M. Lezzerini, E. Grifoni, S. Legnaioli, G. Lorenzetti, V. Palleschi	443

La valutazione dei metodi di pulitura per legni monocromi: confronto tra tre sistemi di analisi dei profili superficiali G. Serra, A. Bortone, D. Vaudan, S. Migliorini, L. Appolonia	455
Esempi applicativi della microspia digitale 3D nell'esame di aspetti esecutivi e nella caratterizzazione di trattamenti laser I. Cacciari, A.A. Mencaglia, S. Siano	471
Fontana dello Zodiaco a Terni: studio dello stato di conservazione e documentazione mediante laser scanner 3D associato a fotogrammetria E. Biondi, A. Bovero, M. Demmelbauer	485
3D model and digital restoration of a medieval gravestone D. Abate, S. Bruni, V. Greco, G. Maino	497
Rilievo 3D in ambiente ipogeo con tecniche di image-based modelling e software open source C. Giancristofaro, E. Grifoni, S. Legnaioli, M. Lezzerini, G. Lorenzetti, L. Marras, S. Pagnotta, V. Palleschi	515
Mupris: museum of sarcophagi at the catacombs of Priscilla in Rome, Italy L. Pecchioli, G. Verdiani, M. Pucci	529
La conoscenza di un bene nel tempo: il pronao della Basilica di Sant'Andrea Apostolo a Mantova S. Chiarini, S. Cremonesi, L. Fregonese, L. Taffurelli, D. Lattanzi, E. Romoli	541
Rilievo tridimensionale (laser scanner) dei dipinti murali del Duomo della città di Amfissa, Grecia A. Bortot, N. Sartorato, A. Marcolongo, M. Fotini Papakonstandinou, J. Tavlaridis	557
Monitoraggio delle deformazioni del supporto con tecnologie laser e analisi della superficie pittorica con sistemi GIS L. Baratin, S. Bertozzi, E. Moretti, R. Saccuman	571

MUPRIS: MUSEUM OF SARCOPHAGI AT THE CATACOMBS OF PRISCILLA IN ROME, ITALY

Laura Pecchioli¹, Giorgio Verdiani², Mirco Pucci³

¹ Professore a contratto, Università di Scienze Applicate - HTW Berlin Landschaftsarchäologie, Campus Wilhelminenhof, D – 12 459 Berlino, Germania, pecchio@HTW-Berlin.de

² Ricercatore Icar/17, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, 50122, Italia, giorgio.verdiani@unifi.it

³ Tutor didattico Laboratorio Informatica Architettura (LIA), Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, 50122, Italia, mirco.pucci@gmail.com

Abstract

The basilica of St. Silvestro was erected in 1907 on the foundations of two ancient rooms surrounded by several mausolea, its excavation took place from 1890 to 1906. The presence of some venerated burials led to the realization of a second building thought to be an indoor cemetery. Today the burials and the fragments of sarcophagi have been moved in the museum. Among the choices of project an integrated digital survey both 3D laser scanner that photogrammetry have been used. The survey had to deal with the complex characteristics of the pieces of sculptures and the difficulties linked to the light subsurface dispersion of the marble. To give a better access to monument, an architectural project and the digital technology tried to enhance the real with a digital layer.

1. Introduzione

Intervenire in maniera efficace su un monumento del nostro patrimonio architettonico non è un'operazione semplice. La ricca complessità e stratificazione storica della basilica di San Silvestro ha fornito l'occasione per ottenere un risultato di pregio e per sperimentare con successo una consultazione online innovativa ed efficace. Il ricorso a tecnologie del rilievo digitale laser, con integrazione fotogrammetrica, ha contribuito notevolmente producendo uno strumento interdisciplinare utilizzabile da ogni figura professionale coinvolta. Ogni fase legata all'iter progettuale, già dalla campagna di rilievo, integrata dove necessario da pochi passaggi aggiuntivi, è stata sempre oculata ed orientata a produrre strumenti efficaci, non fuori scala rispetto alle reali necessità e indirizzata al conseguimento del risultato piuttosto che al mero virtuosismo tecnologico.

2. Spazi virtuali e Beni Culturali: una sperimentazione in corso

Negli ultimi anni il settore dei Beni Culturali ha visto nuovi modi per promuovere e sostenere l'interazione tra gli utenti e gestire dinamicamente grandi volumi di informazioni.

L'utilizzo delle nuove tecnologie ha cambiato la percezione e l'interazione con i contenuti anche di un museo. Le applicazioni Web hanno visto un impiego sempre più intenso, consentendo l'accesso da un qualsiasi computer o dispositivo personale, pur mantenendo l'insieme dei dati centralizzato e continuamente disponibile all'aggiornamento. La visualizzazione interattiva in ambienti tridimensionali ha permesso di riprodurre i contesti, con soluzioni versatili [1]. In modo particolare, l'ambito delle tematiche archeologiche è stato caratterizzato da un volume crescente di contenuti digitali 3D, per i quali l'obiettivo principale rimane una ricostruzione ipotetica, di diversa attendibilità e basata su concetti assodati o anche sperimentali e resa disponibile per i visitatori virtuali. Ai nostri giorni, le tecniche 3D di rilievo digitale aiutano a documentare e visualizzare in modo efficace lo stato di conservazione e la creazione di ricostruzioni virtuali, correlandole con informazioni di importanza documentativa. Esempi pregevoli di queste metodologie sono reperibili in casi di studio come nei resti di cinque templi nel sito "My Son" in Vietnam, che mostrano un uso attento e calibrato degli strumenti digitali al fine di creare una reale e versatile base di conoscenza ed indagine [2].

La realtà virtuale rappresenta uno strumento che consente la ricreazione di un oggetto incompleto oppure perduto. Il progetto del tempio del "Dio del tempo" in Aleppo, diretto dai professori T. Bremer e K. Kohlmeyer [3], sviluppato in collaborazione tra la Hochschule fuer Technik und Wirtschaft e la Freie Universität di Berlino, ha previsto a suo tempo un team interdisciplinare, una documentazione 3D e la visualizzazione di analisi. Alcuni esempi interessanti degli ultimi anni sono le applicazioni sviluppate negli studi su Persepolis [<http://www.persepolis3D.com/>], per il Tempio Almaqah di Yeha in Etiopia [4], la storica Baalbek [5] e "Il progetto Villa Adriana Reborn" [<http://vwahl.clas.virginia.edu/villa/>], sulla base del noto complesso di Adriano a Tivoli (Roma) condotto da B. Frischer ed altri [6,7].

In particolare, l'uso di queste tecnologie permette di aumentare l'accessibilità ai Beni Culturali, specie per quelli che si trovano in luoghi non facilmente visitabili. Ne può essere un esempio il progetto di Zafar in Yemen condotto dal Professor Paul Yule dell'Università di Heidelberg ed in particolar modo il museo virtuale online che ha completato il progetto. Zafar Virtual Museum risulta da uno lavoro interdisciplinare realizzato con risorse contenute ed ai fini didattici.

Il progetto ZVM offre documentazione e conoscenze su importanti e poco conosciuti manufatti Himyarite usando il software chiamato ISEE [8].

Altro interessante caso è il Museo di Torino a Palazzo Madama (inaugurato nel 2011) per il suo approccio innovativo sia sul fronte reale che virtuale, allo scopo di promuovere gli elementi del patrimonio culturale della città [<http://www.palazzomadamatorino.it>].

In alcuni casi specifici, l'aspetto virtuale può andare oltre la realtà delle cose, fornendo nuove idee circa l'aspetto di uno spazio urbano perduto. Nella visita di Cluny (Francia), l'uso

della realtà aumentata viene proposto con una serie di schermi e una specifica applicazione per dispositivi personali che permettono di visualizzare modelli virtuali sovrapposti alla visione del reale, mostrando in questo modo l'aspetto originale dell'abbazia perduta [9]. L'uso della modellazione digitale nel settore dei Beni Culturali può non sempre riuscire nella comunicazione e comprensione dei contenuti del sistema narrativo. L'oggetto dell'attenzione dovrebbe rimanere l'elemento focale nella storia che viene rievocata.

3. La Basilica di San Silvestro

Lo spazio oggi destinato a museo, all'interno della Basilica di San Silvestro, era uno spazio in cui i reperti erano raccolti in prossimità del loro luogo di scavo. È un monumento storico che preserva importanti resti archeologici a livello anche del pavimento. La basilica fu eretta nel 1907 sulle fondamenta di due sale antiche, che si trovavano nel recinto di un cimitero popolato da mausolei in cui erano conservati numerosi sarcofagi. La piccola stanza Nord-Ovest è il risultato di diverse trasformazioni intorno al luogo di sepoltura dei martiri Felice e Filippo. Nel quarto secolo Papa Silvestro († 335) venne sepolto in questo stesso luogo [10]. Queste sepolture venerate hanno portato alla costruzione di un secondo edificio pensato per essere un cimitero coperto [11]. I due edifici comprendono le scale che portano alle catacombe di Priscilla (**Fig. 1**).



Fig. 1: Il secondo edificio della basilica di San Silvestro dopo la ricostruzione (1906).

3. Il progetto museale

Le indagini archeologiche dei primi anni del 1900 hanno portato al recupero di centinaia di frammenti di sarcofagi appartenenti alla basilica e la zona circostante. Nell'inverno del 2009 la Pontificia Commissione di Archeologia Sacra (PCAS) ha deciso di procedere con il restauro di questi materiali lapidei. Le sculture sono state restaurate e archiviate secondo gli standard della ICOM-CIDOC (Comitato Internazionale di Documentazione del Consiglio Internazionale dei Musei). Durante le operazioni di pulitura dei frammenti, l'alta qualità dei materiali e la varietà di tipologie, provenienti da oltre quattro secoli, hanno portato alla decisione di creare una mostra permanente [12]. È quindi stato ideato e realizzato MuPris, Museo di Priscilla, che raccoglie oggi circa 471 frammenti databili tra l'inizio del III secolo e la fine del IV secolo. La basilica ha riconsegnato a questa collezione una identità storica ed archeologica (**Fig. 2**). Il progetto è stato pensato come uno spazio che continua a presentarsi come cantiere archeologico e come museo.

Il visitatore ha l'occasione in questo modo di poter avere un'esperienza più completa e ricca di informazioni anche del luogo oltre che dei frammenti.

La visita delle catacombe prevede anche il passaggio dal museo. I visitatori possono così trovarsi in un ambiente ricco di preziosi frammenti di sarcofagi, leggere la pianta delle sepolture al di sotto della pavimentazione (costruita in vetro, travertino imperiale e griglie in acciaio), e possono interagire con i propri smartphone per poter accedere alle informazioni in dettaglio.

Il sito museale concepito come spazio aperto mostra le unità stratigrafiche murarie e la pianta delle sepolture. L'ambiente delle catacombe è a stretto contatto con il museo: per il diverso microclima (l'alta umidità) un monitoraggio è stato svolto durante l'intera durata dei lavori e l'ambiente rimane tutt'oggi sotto controllo, non tanto per lo stato conservativo dei frammenti, quanto per la vulnerabilità dell'ambiente archeologico.



Fig. 2: MuPris (2013).

3.1 Accessibilità al monumento e alla schedatura

Uno scopo importante del progetto è stato quello di cercare di mantenere i frammenti presso il loro contesto originario. Il progetto architettonico ha dato l'accessibilità e fruibilità allo spazio museale. Scelta che ha influito naturalmente sull'allestimento. L'uso della tecnologia digitale è stato oggetto di ricerca e sperimentazione di metodi digitali: uno dei temi è stato quello di consentire agli utenti di interagire facilmente con un'interfaccia bidimensionale, a seconda della sezione che si sta visitando, e di accedere alle informazioni su ogni specifico frammento in modo intuitivo.

In questi anni l'intero progetto ha seguito un lavoro di esemplificazione di ogni schedatura tecnica dei frammenti in una descrizione che fosse semplice e sintetica. Lo scopo è stato quello di permetterne la comprensione anche ai non esperti. Su ogni pannello sono stati posti dei Qr-code che danno accesso alle varie descrizioni in dettaglio.

L'interazione 2D era e rimane il punto forte della visita virtuale, perché permette di interagire con ogni frammento dell'allestimento a qualsiasi utente, con un semplice touch screen oppure digitando un indirizzo nel web.

La visita reale del museo e le sue modalità hanno avuto un ruolo preminente su quella virtuale, ciò ha significato dare fruibilità prima di tutto allo spazio espositivo. Gli aggiornamenti e quindi imprevisti in corso d'opera hanno comportato cambiamenti e nuove scelte, come spesso capita in ogni progetto (spostamenti di oggetti voluminosi in altre aree del museo, distanza dagli oggetti per una buona fruibilità e visibilità, vicinanza tra i pezzi a terra sui basamenti, alcuni posizionamenti di luci, etc). Le scelte reali si sono tradotte in punti problematici per le prestazioni richieste all'applicazione virtuale del museo e all'interazione con ognuno dei 471 frammenti.

Il museo virtuale era stato pensato per dare un'idea sommaria dell'ambiente museale connesso alle informazioni. Un software di navigazione tridimensionale (ISEE) e di accesso intuitivo alle informazioni era stato pensato fin dall'inizio come migliore strumento, essendo già stato usato in diversi progetti e prototipi internazionali e con ottimi risultati. La sua parte di archiviazione e gestione dei dati è usata nella visualizzazione 2D ed accesso al database online [13]. Stiamo definendo un'alternativa più originale al tipico modello 3D di navigazione, risultato ormai scontato in tutti i progetti nei Beni Culturali. In corso di sviluppo vi sono dei cambiamenti di interazione che non tarderanno l'aggiornamento.

3.1.1 La visita museale

Lo spazio limitato del museo non permetteva di esporre informazioni estese, ma solo una descrizione concisa con il numero di archivio di ogni frammento esposto. L'introdurre di QR-code per ogni sezione espositiva ha risolto questa accessibilità. Le informazioni dei frammenti sono fornite all'interno della basilica utilizzando una rete Wi-Fi locale, autonoma e protetta rispetto alla rete Internet globale. I visitatori possono utilizzare i



Fig. 3: Interfaccia touch 2D e una versione pilota di MuPris in ISEE nella fase sperimentale.



Fig. 4: Lo scanner laser 3D Cam /2 Faro Photon durante le fasi di rilievo.

propri dispositivi personali per la scansione dei QR-code (o inserire l'URL corrispondente) e passare ad aree specifiche della versione virtuale del museo, utilizzando una interfaccia touch-friendly. Questo approccio amplia la qualità della visita ed allo stesso tempo evita problemi di fruibilità. Dal sito Web mupris.net il visitatore può accedere comunque alla stessa interfaccia utilizzata all'interno del museo (**Fig. 3**).

4. Il rilievo digitale

Il rilievo digitale della struttura architettonica è stato un primo passo per creare la versione virtuale della basilica di San Silvestro. Innanzitutto il rilievo doveva essere utilizzato come base per il progetto architettonico ed in alcune sue fasi esecutive. Successivamente risultare versatile eventualmente anche in una possibile produzione di uno spazio virtuale del museo digitale.

L'edificio è di per sé una struttura semplice, ma la ricca collezione di reperti alle pareti e il complesso sistema delle sepolture scavate presenti con il loro terreno irregolare, hanno creato la necessità di avere un rilievo accurato e affidabile, capace di fornire tutte le informazioni fondamentali per la realizzazione del progetto di musealizzazione. Il primo compito è stata la definizione e la verifica del progetto museale reale.

Un primo rilievo digitale è stato operato con uno scanner laser 3D Cam/2 Faro Photon con tecnologia di misurazione a variazione di fase. (il rilievo digitale è stato operato in collaborazione con Area 3D S.r.l. Livorno, www.area3d.com). La soluzione a variazione di fase, molto rapida ed accurata, unita alla versatilità dei settaggi di questo strumento, è risultata efficace e versatile nell'operare in una situazione ricca di potenziali spazi di occlusione come in questa basilica. Lo scanner utilizzato è uno strumento con una precisione media di circa 4 millimetri. La buona accuratezza (per un soggetto architettonico) e la rapidità di questo scanner hanno permesso di creare l'intero modello digitale nuvola di punti in un brevissimo lasso di tempo, con una sola giornata di scansioni e un giornata dedicata al primo trattamento dei dati (**Fig. 4**). Questa è stata la base per qualsiasi ulteriore elaborazione. Per favorire la rapidità delle operazioni e ottenere al tempo stesso un modello digitale accurato e completo si è deciso di evitare operazioni di “sovramisurazione” o di eccedere nella densità dei punti rilevati, attenendosi, come è buona norma, ad un passo di misurazione prossimo o superiore all'accuratezza strumentale, preferendo alla densità delle singole nuvole di punti un numero di postazioni di presa maggiore. La copertura di tutto l'edificio è risultata infine generalmente completa, con la presenza di minimi e modesti “spazi occlusione” prodotti dalle sepolture scavate e da alcuni elementi pensili. Questi sono stati trattati durante le successive procedure di post-elaborazione, che hanno previsto la produzione di un modello tridimensionale digitale costituito da superfici poligonali. La base digitale è stato un contributo molto importante per la verifica della progettazione museale, e ha permesso di procedere con maggiore certezza nell'intervento. L'insieme di nuvole di punti allineati sono stati molto utili per produrre il primo modello

digitale 3D composto di superfici. Questo è stato successivamente utilizzato anche per avere un ambiente virtuale ben funzionante ed utilizzabile per la realizzazione di immagini statiche di rendering della basilica come interno.

Lo stesso modello è stato utilizzato, attraverso oculte procedure di semplificazione [14], come base per sviluppare un modello virtuale pilota.

Il principale limite manifestato dalle procedure di rilievo architettonico digitale era tuttavia legato alla qualità dei modelli derivati dai frammenti appesi alle pareti. La densità complessiva della nuvola di punti finale e il materiale marmoreo (portatore del tipico rumore dovuto alla dispersione del segnale laser) hanno creato la necessità di un eseguire un rilievo integrativo per meglio completare il sistema museale virtuale in maniera appropriata. Si è quindi proceduto utilizzando un approccio fotogrammetrico, con la creazione di superfici poligonali ben definite e dotate “automaticamente” di un proprio e completo texturing.

Per ogni elemento di maggior pregio è stata condotta di una specifica campagna fotografica, facendo attenzione ad avere una illuminazione omogenea e il miglior equilibrio tra il livello di dettagli, gli spazi occlusione e il numero di scatti. La buona qualità delle superfici digitali prodotte e la texturizzazione immediata ha reso questo tipo di modelli quasi immediatamente utilizzabili come prodotto multimediale. Tra gli elementi di maggior pregio a ricevere uno specifico rilievo fotogrammetrico è stato selezionato un sarcofago di grandi dimensioni, decorato con scene di vita quotidiana, dall'agricoltura e dalla pastorizia e datato intorno al III secolo d.C. In questo caso il processo di acquisizione e trattamento dei dati è stato particolarmente complesso ed ha comportato i medesimi passaggi di post produzione previsti per l'insieme della basilica, adottando analoghe procedure mirate all'ottenimento di un modello digitale dall'apparenza dettagliata, ma “leggero” e versatile nell'utilizzo multimediale [15]. Anche in questo caso l'integrazione di procedure fotogrammetriche di tipo SFM (Structure from Motion) e di elementi provenienti da rilievo laser si sono ben integrate favorendo comunque la produzione di un modello complessivo di qualità e di estrema completezza.

4.1 Fasi di ottimizzazione

Il rilievo digitale ha prodotto un modello virtuale di alta qualità di tutta la basilica di San Silvestro. Tuttavia, la densità e l'alto livello descrittivo della nuvola di punti ha reso necessaria una post-elaborazione accurata al fine di produrre un modello digitale virtuale realmente funzionante, che conservasse un adeguato livello di dettagli, ma permettesse a tempo stesso fluidità e praticità di navigazione e di consultazione. Ciò è stato ottenuto creando una versione del modello a basso numero di poligoni (comunemente denominato Low Poly Model) integrato con l'applicazione di una specifica Normal Map e/o Displacement Map generate con un processo detto di “baking” a partire dal modello

3D ad alto livello di dettaglio (High Poly Model). In questo modo, è stato possibile avere un modello ottimizzato per il web direttamente derivante dal modello utilizzato per la pianificazione progettuale e basato sullo stesso rilievo (**Fig. 5**).

Per migliorare la qualità complessiva del modello è stata operata una completa ed estesa campagna fotografica in tutto il complesso di San Silvestro. Questo set di immagini è stato utilizzato per testurizzare il modello 3D utilizzando prevalentemente soluzioni di Camera Projection (l'immagine viene riproiettata secondo il suo punto originale di presa individuato nello spazio digitale). In questo modo, il risultato è stato un modello low poly con superfici completamente testurizzate; la buona qualità delle superfici e la ricca mappatura hanno reso questo risultato ideale e pronto per essere utilizzato e importato in qualsiasi software di visualizzazione 3D con una specifica versatilità per l'uso in ambienti di visualizzazione in tempo reale. Come plugin di navigazione è stato scelto Unity 3D, che permette di visualizzare e navigare interattivamente nei modelli 3D grazie allo specifico plug-in disponibile per tutti i principali Internet browser (IE, Firefox, Safari) e sistemi operativi (Microsoft Windows, Apple MacOS) [14].



Fig. 5: Sezione longitudinale del complesso della basilica di San Silvestro dalla nuvola di punti.

5. ISEE software e scelte compatibili

Allo stato attuale di sviluppo digitale sono prese in esame altre possibili soluzioni idonee al caso del museo e compatibili con il software ISEE. Il software già contribuisce all'architettura del database (PostgreSQL). Dal suo primo sviluppo del 2008 è stato reso compatibile con tutti i principali browser utilizzando come plugin Unity3D e orientandone

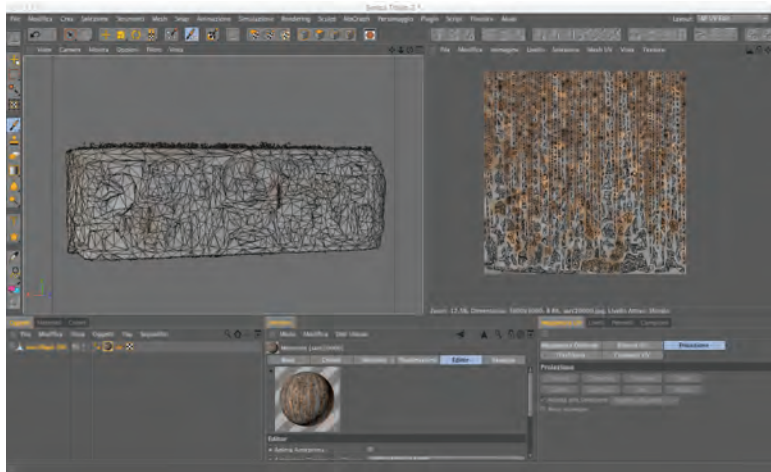


Fig. 6: Trattamento della mesh poligonale: un sarcofago con la mappatura UV specifica e texturing in fase di editing in Maxon Cinema 4D.



Fig. 7: Modello di superfici generato ed ottimizzato a partire dal rilievo 3D laser scanner, versione in fase di editing in Maxon Cinema 4D.

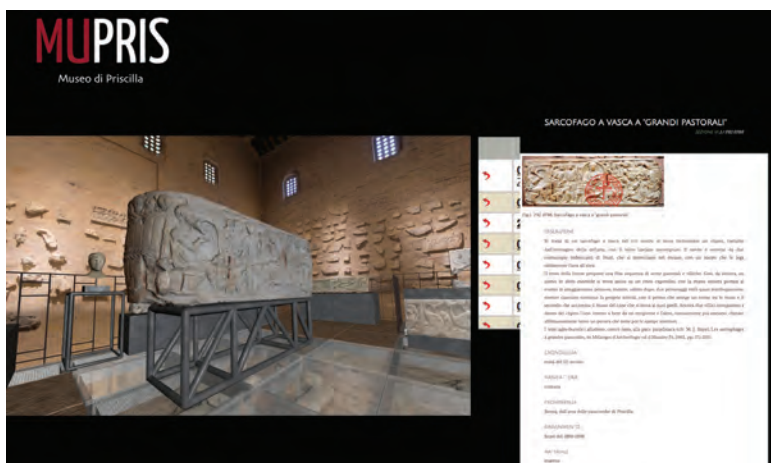


Fig. 8: Screenshot del modello di un Sarcofago prodotto utilizzando la soluzione fotogrammetrica all'interno dell'ambiente-pilota virtuale.

la sperimentazione nello specifico campo dei Beni Culturali (**Fig. 6**). L'idea di base di questo programma è quella di consentire il recupero di informazioni semplicemente guardando all'interno di un ambiente 3D, con la ricezione delle informazioni secondo la direzione di spostamento e secondo la direzione dello "sguardo" in maniera analoga a quanto avviene nel mondo reale. Le informazioni pertinenti vengono infatti ricevute mediante la posizione/direzione dell'utente in uno spazio 3D. L'algoritmo di ranking sviluppato permette all'utente un'interazione intuitiva. Il sistema prevede la possibilità di acquisire link testuali, basati su semplici indirizzi URL di specifiche posizioni e generare indici personali, facilmente trasferibili, dei contenuti di proprio interesse. Il software ISEE è stato sviluppato in base ai risultati ottenuti da test di usabilità.

6. Sviluppi futuri e conclusioni

La versione del sito web attuale è per ora disponibile in lingua italiana e a breve sarà completata l'integrazione della parte digitale, che costituisce ad oggi una base di sviluppo di un prodotto di divulgazione e consultazione, che mira alla semplicità ed intuitività di utilizzo da parte del visitatore.

MuPris rappresenta un progetto museale che ha cercato di dare accessibilità e splendore ad ogni frammento di sarcofago nei suoi 100 mq. La tecnologia digitale ha contribuito notevolmente in fase di rilievo, di fotogrammetria e come base comune di confronto. Non si esclude la possibilità di caricare anche il modello virtuale nella sua versione attuale per una semplice visita del contesto.

L'applicazione di tecnologie rappresenta per noi un tentativo di comunicare i risultati di un progetto, risultato interdisciplinare in un contesto complesso e di pregio come quello nella Basilica di San Silvestro. Tale approccio ha permesso una stretta interazione tra tutte le fasi digitali (come nelle operazioni di rilievo) e di trattamento del dato, con efficienza e curata continuità sia nelle fasi tecniche quindi che in quelle di produzione multimediale.

Referenze fotografiche

Figg. 1 e 2: Archivio della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra.

Fig. 4: Alessandro Peruzzi, archivio di Mirco Pucci.

Figg. 6 e 7: Archivio di Mirco Pucci.

Bibliografia

- [1] I. Kulitz, P. Ferschin, *Im Schatten der Pyramiden. Von der Grabung zur virtuellen Präsentation*, in: catalog Im Schatten der Pyramiden. Die österreichischen Grabungen in Giza (1912 - 1929), Ed. by S. Haag, R. Hölzl, P. Jánosi, Wien, 2013.
- [2] G. Guidi, M. Russo & D. Angheleddu, *3D survey and virtual reconstruction of archeological sites*, Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage (in press). Available on line 14/2/2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2014.01.001>.

- [3] T. Bremer, K. Kohlmeyer, *Virtual Archaeology*, in: HTW Berlin, Matthias Knaut, Kreativwirtschaft, S. 220-225, BWV Berliner Wissenschafts-Verlag, Berlin, 2011, ISBN 978-3-8305-1915-7.
- [4] M. Lindstaedt, K. Mechelke, M. Schnell & Th. Kersten, *Virtual Reconstruction of the Almaqah Temple of Yeha in Ethiopia by terrestrial laser scanning*, in: Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures", Trento, Italy, 2-4 March 2011, Fabio Remondino, Sabry El-Hakim (Eds.), International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W16.
- [5] A. Alamouri, L. Pecchioli, *ISEE: retrieving information navigating in the historical Baalbek*, in: ISPRS Proceedings of the 5th 3D GeoInfo Conference, Volume XXXVIII-4/W15, 3-4 November, Berlin Germany, pp. 81-85, 2010.
- [6] L. Taylor-Nelms, L. A. Kvapil, B. Frischer & J. Filmwalk, *Investigating the Effectiveness of Problem-Based Learning in 3D Virtual Worlds*, in: A Preliminary Report on the Digital Hadrian's Villa Project, International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA2012, Southampton, United Kingdom.
- [7] B. Frischer, J. Filmwalk, *The Digital Hadrian's Villa Project, using Virtual Worlds to control suspected solar alignments*, in: 18th Internationale Conference on Virtual Systems and Multimedia, Virtual Systems in the Information Society, IEEE VSMM, 2-5 September 2012, Milan, Italy.
- [8] L. Pecchioli, P. Yule, F. Mohamed, *Das durch ISEE kreierte Zafar Virtual Museum (ZVM), Jemen*, in: Forum Archaeologiae 62/III/2012, Access on 18/03/2012: <http://farch.net/>.
- [9] J. Landrieu, C. Pèrè, J. Rollier, S. Castandet, G. Schotte, *Digital Rebirth of the greatest church of Cluny Maior Ecclesia: from optronic surveys to real time use of the digital model*, in: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W16, 2011 ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy.
- [10] O. Marucchi, *Relazione degli scavi eseguiti nel cimitero di Priscilla dal gennaio al Giugno 1906*, in: *Nuovo Bullettino di Archeologia Cristiana* 12/1906, pp. 5-66.
- [11] F. Tolotti, *Il cimitero di Priscilla, Studio di topografia e architettura*, Città del Vaticano, 1970.
- [12] B. Mazzei, *MuPris: il museo della basilica di San Silvestro*, in: Bisconti, F., Giuliani, R. and Mazzei, B.: *La catacomba di Priscilla. Il complesso, i restauri, il museo*, Todi 2013, pp. 91-120.
- [13] L. Pecchioli, M. Carrozzino, F. Mohamed, M. Bergamasco, T.H. Kolbe, *ISEE: information access through the navigation of a 3D interactive Environment*, in: Journal of Cultural Heritage, Volume in Press, Issue:3, Elsevier Masson SAS, pp. 287-294, 2011. ISSN: 12962074.
- [14] L. Pecchioli, F. Mohamed, M. Pucci & B. Mazzei, *Browsing in the virtual museum of the sarcophagi in the Basilica of St. Silvestro at the Catacombs of Priscilla in Rome*, in: 18th Internationale Conference on Virtual Systems and Multimedia, Virtual Systems in the Information Society, IEEE VSMM, 2-5 September 2012, Milan, Italy.
- [15] G. Verdiani, S. Di Tondo, F. Fantini & M. Pucci, *Il ritorno all'immagine, nuove procedure image based per il Cultural Heritage*, Verdiani G. (editor), Lulu.com, 2011. ISBN: 9781445292564.