

Medioevo digitale

Documenti e archivi | Arte e architettura

a cura di

Antonella Ambrosio e Paola Vitolo

viella

Copyright © 2023 - Viella s.r.l.
Tutti i diritti riservati
Prima edizione: luglio 2023
ISBN 979-12-5469-203-5

Questo volume è stato pubblicato con il contributo del Dipartimento di studi umanistici e con fondi di Ateneo dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, referente Antonella Ambrosio. La pubblicazione rientra inoltre nell'ambito delle attività del progetto *Memoria e identità. Riuso, rilavorazione e riallestimento della scultura medievale in Età moderna, tra ricerca storica e nuove tecnologie* (MemId), progetto FISR 2019_05012, unità di Napoli, referente Paola Vitolo.

MEDIOEVO

digitale : documenti e archivi, arte e architettura / a cura di Antonella Ambrosio e Paola Vitolo. - Roma : Viella, 2023. - 191 p. : ill. ; 24 cm

ISBN 979-12-5469-203-5

1. Storia medievale - Fonti - Conservazione [e] Ricerca - Impiego [delle] Tecniche digitali - Atti di congressi

I. Ambrosio, Antonella II. Vitolo, Paola

001.30285 (DDC 23.ed)

Scheda bibliografica: Biblioteca Fondazione Bruno Kessler



viella

libreria editrice

via delle Alpi, 32

I-00198 ROMA

tel. 06 84 17 758

fax 06 85 35 39 60

www.viella.it

Indice

ANTONELLA AMBROSIO, PAOLA VITOLO	
Medioevo digitale: fonti e materiali in un dialogo interdisciplinare	7

I. Documenti e archivi

GEORG VOGELER	
Edizione, “proto-edizione” e riproduzione dei documenti storici nella trasformazione digitale	23

VERA ISABELL SCHWARZ-RICCI	
L’edizione dei documenti di Santa Maria della Grotta (1200-1250): un’edizione scientifica digitale nell’ecosistema Monasterium.net	41

MARTINA BOLOM-KOTARI, KLÁRA RYBENSKÁ, LIBUŠE HOLAKOVSKÁ	
Sphragistic Sources and Treasures in Archives and Museums of the Czech Republic: Research, Preservation, Digitization	65

ANTONELLO MIGLIOZZI	
L’Archivio Angerio Filangieri sul portale europeo Topotheque.eu	87

II. Arte e architettura

DONAL COOPER, GIOVANNI PESCARMONA	
Reassessing a Renaissance Painting with Augmented Reality. Jacopo del Sellaio’s <i>Story of Cupid and Psyche</i> in the Fitzwilliam Museum, Cambridge and the <i>Ways of Seeing</i> app	105

EVA PIETRONI, CHIARA FLORISE AMADEI, ALESSANDRA CHIRIVÌ, BRUNO FANINI, DANIELE FERDANI, NOEMI ORAZI, ALFONSINA PAGANO, PATRIZIA SCHETTINO	
Il progetto Codex 4D: viaggio in quattro dimensioni nel manoscritto miniato	121

FRANCESCO ACETO, MASSIMILIANO CAMPI, ANTONELLA DI LUGGO, DOMENICO IOVANE, DANIELA PALOMBA, ORNELLA ZERLENGA, VINCENZO CIRILLO	
Sistemi digitali 3D per la documentazione del patrimonio architettonico: il Santuario di Montevergine	143
GIULIA BORDI, PAOLA POGLIANI	
Ecco Santa Maria Antiqua! Viaggio digitale nei suoi palinsesti pittorici	165
Summaries	183
Authors	187

GIULIA BORDI, PAOLA POGLIANI

Ecco Santa Maria Antiqua! Viaggio digitale nei suoi palinsesti pittorici*

1. Il progetto EHEM: tre case studies e i loro Digital Twin

Comunicare la complessità è la sfida che abbiamo accolto quando con i colleghi dell'Università di Barcellona e del CYENS di Cipro abbiamo risposto alla call JPI Cultural Heritage – Horizon 2020 Conservation, Protection and Use, proponendo il progetto EHEM, *Enhancement of Heritage Experiences: The Middle Ages. Digital Layered Models of Architecture and Mural Paintings over Time*.¹

EHEM è articolato in tre anni e vede coinvolte, costituite in un consorzio, l'Universitat de Barcelona,² le Università di Roma Tre³ e della Tuscia,⁴ e il CYENS di Nicosia (Cipro).⁵ Il team si compone di storici dell'arte, architetti, restauratori e fotografi che lavorano in sinergia con ingegneri specializzati in computer science ed esperti di diagnostica per i beni culturali.⁶

Il progetto ambisce a realizzare modelli digitali volti a migliorare la conoscenza dei monumenti con pitture medievali e la loro esperienza di visita da parte del pubblico. L'obiettivo è quello di creare una rappresentazione digitale del monumento reale capace di integrare informazioni provenienti da fonti diverse,

* Questo studio si suddivide in due parti: la prima a cura di Giulia Bordi (G.B.), la seconda di Paola Pogliani (P.P.). L'ultimo accesso alle pagine web citate in questo saggio è stato effettuato il 14 gennaio 2023 dove non diversamente indicato.

1. L'acronimo del titolo corrisponde alla parola latina *ehem* che tradotta in italiano significa: Ecco! Oh! Guarda!. Cfr. Luigi Castiglioni, Scevola Mariotti, *Vocabolario della lingua latina*, redatto con la collaborazione di Arturo Brambilla e Gaspare Campagna, Milano, Loescher, 1997, p. 305.

2. Il team si compone di studiosi dell'IRCVN – Research Institute for Medieval Cultures (Universitat de Barcelona), del VIRVig – Research Center for Visualization, Virtual Reality and Graphics Interaction (Universitat de Girona, Universitat politècnica de Catalunya, Universitat de Vic) e dell'Universitat de Lleida. P.I. del team catalano e leader project di EHEM: Milagros Guardia.

3. Dipartimenti di: Studi Umanistici; Ingegneria; Ingegneria Industriale, Elettronica e Meccanica; Scienze. P.I. del team e referente nazionale del progetto: Giulia Bordi.

4. Il Dipartimento per la Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali e il Dipartimento di Economia, Ingegneria, Società e Impresa. P.I. del team: Paola Pogliani.

5. Centro di eccellenza specializzato in Interactive media, Smart systems e Emerging technologies. P.I. del team: Panayiotis Charalambous.

6. <https://ehemproject.eu>.

di visualizzarlo nelle sue trasformazioni nel corso dei secoli, ed eseguire simulazioni e analisi.

Il Digital Twin di un monumento medievale dovrebbe soddisfare diversi requisiti, tra i quali a nostro avviso i più rilevanti sono:

- essere uno strumento per gestire e comunicare il patrimonio;
- immagazzinare dati e informazioni relative al manufatto reale;
- consentire una facile navigazione e un accesso diretto ai dati memorizzati;
- differenziare l'accesso ai dati in base ai diversi utenti.⁷

Sono stati scelti tre *case studies* nei tre paesi coinvolti nel progetto: Santa Maria Antiqua (Italia) (fig. 1a-b), Sant Quirze de Pedret (Spagna) (fig. 1c) e il monastero di Agios Neophytos (Cipro) (fig. 1d).

I tre monumenti pongono problematiche dal punto di vista architettonico e della visualizzazione dell'apparato pittorico assai diverse. I colleghi catalani hanno scelto di lavorare sull'eremo di Sant Quirze de Pedret, a circa 110 km a nord di Barcellona. Questa chiesa, fondata nel X secolo, ha una storia architettonica complessa di ben sei fasi costruttive e ha accolto nel tempo due fasi decorative la prima intorno all'anno Mille, la seconda agli inizi del XII secolo.⁸ Oggi la chiesa appare decisamente spoglia (fig. 1c) poiché i suoi dipinti furono staccati e trasferiti nel MNAC (Museo Nazionale d'arte della Catalogna) di Barcellona e al Museo Diocesano di Solsona nel 1921 e nel 1937.⁹ La sfida che pone questo monumento è quella di visualizzare le sue diverse fasi architettoniche, ricongiungere virtualmente pittura e architettura, integrare dove possibile quanto è andato perduto.¹⁰

I colleghi del CYENS di Nicosia hanno selezionato come *case study* l'Enkleista del complesso monastico di Agios Neophytos, nella parte sud-occidentale di Cipro, a circa 15 km a nord di Paphos, uno dei monasteri più famosi dell'isola (fig. 1d). L'Enkleista è il nucleo più antico del complesso rupestre, si tratta di una grotta-eremo con una piccola cappella dedicata alla Santa Croce che nel 1159 ospitò il monaco asceta Neofito. L'Enkleista è per metà scavata nella roccia e metà costruita in pietra e presenta un palinsesto pittorico di cinque fasi decorative

7. Milagros Guardia *et alii*, *Digital Layered Models of Architecture and Mural Paintings over Time*, in *XXX Spanish Computer Graphics Conference, CEIG 2021* (Málaga, 22-24 September, 2021), ed. by Antonio Chica and Lidia M. Ortega, European Association for Computer Graphics, 2021, pp. 39-42, <https://doi.org/10.2312/ceig.20211363>. Imanol Munoz-Pandiella *et alii*, *Digital Twins for Medieval Monuments: Requirements from Art Historians and Technical Challenges for Analysis and Restoration*, in *2022 International Conference on Interactive Media, Smart Systems and Emerging Technologies, IMET* (Limassol, 4-7 October 2022), <https://doi.org/10.1109/IMET54801.2022.9929510>.

8. Da ultimo, con riferimento alla bibliografia precedente: Begoña Cayela, *Resseguint els fragments d'un paisatge. Les pintures de Saint Quirze de Pedret* (Ars Picta-Temes, 3), Barcelona, Edicions de la Universitat de Barcelona, 2022.

9. Sulle pareti della chiesa si conserva qualche lacerto della decorazione medievale e nell'abside centrale e nelle absidiolate nord e sud infelici ridipinture del XX secolo.

10. Munoz-Pandiella *et alii*, *Digital Twins for Medieval Monuments*, par. II.C.

eseguite a partire dal 1183, quando il pittore Theodoros Apsoudes raffigurò Neofito ai piedi di Cristo.¹¹

Qui la sfida più impegnativa è quella di visualizzare le cinque fasi di ampliamento del complesso tra scavato e costruito insieme all'avvicinarsi delle diverse fasi pittoriche.¹²

Il team italiano ha scelto, invece, di continuare a lavorare su Santa Maria Antiqua al Foro Romano (fig. 1a-b).¹³ Scoperta nel 1900 alle pendici del Palatino, dopo essere stata abbandonata nel IX secolo, probabilmente a causa di un terremoto, questa chiesa, che si era insediata nel VI secolo all'interno di monumentali strutture di età domiziana, conserva sulle pareti un patrimonio di pitture unico nel mondo cristiano altomedievale. La sua decorazione stratificata è un testimone fondamentale dell'evoluzione della pittura a Roma, e in tutto il mondo greco, tra VI e XI secolo. La parete più straordinaria dell'edificio è sicuramente quella absidale che racconta, sfogliando uno ad uno i suoi dieci strati di intonaco dipinto, la storia non scritta dei rapporti tra Roma e Costantinopoli tra IV al IX secolo (fig. 2).¹⁴ La sfida, per questo monumento, è quella di visualizzare e raccontare l'intricata stratificazione di pitture conservata sulle pareti di tutto il complesso, per un totale di circa venti fasi decorative che vanno dal II all'XI secolo.¹⁵

Il progetto EHEM mira a ottenere la restituzione virtuale di Santa Maria Antiqua, Sant Quirz de Pedret e dell'Enkleistra: architettura con dipinti murali, integrando le conoscenze storico-artistiche con le trasformazioni nel tempo dei tre monumenti. L'obiettivo è creare modelli digitali versatili che possano essere

11. Cyril Mango, Ernst J.W. Hawkins, *The Hermitage of st. Neophytos and Its Wall Paintings*, in «Dumbarton Oaks Papers», 20 (1966), pp. 119-206, figg. 94-97.

12. Munoz-Pandiella *et alii*, *Digital Twins for Medieval Monuments*, par. II.A.

13. Le ricerche su questo monumento sono iniziate circa vent'anni fa all'interno del Progetto Santa Maria Antiqua dell'Università degli Studi della Toscana, diretto da Maria Andaloro dal 1998 al 2014. Si veda Maria Andaloro, *The Project*, in *Santa Maria Antiqua. The Sistine Chapel of the Early Middle Ages*, ed. by Eileen Rubery, Giulia Bordini and John Osborne, London-Turnhout, Brepols, 2022, pp. 277-279.

14. Sulle pitture stratificate di Santa Maria Antiqua si veda da ultimo, con riferimento alla bibliografia precedente: Giulia Bordini, *The Apse Wall of Santa Maria Antiqua (IV-IX centuries)*, in *Santa Maria Antiqua. The Sistine Chapel*, pp. 387-422.

15. La mostra del 2016 *Santa Maria Antiqua. Tra Roma e Bisanzio*, curata da chi scrive con Maria Andaloro e Giuseppe Morganti, è stata in questa direzione un test cruciale. Allestita in occasione della riapertura della chiesa dopo il restauro durato quindici anni, la mostra ha proposto al pubblico un percorso multimediale scandito da video-mapping, light-mapping e filmati volti a visualizzare la storia e la complessità delle fasi pittoriche del monumento. Il filmato *Santa Maria Antiqua*, proiettato su un video-wall nella navata ovest (realizzato con Progetto Katatexilux), permette di sfogliare, con l'ausilio di immagini dinamiche, il palinsesto conservato sulla parete absidale della chiesa e di ripercorrere, attraverso ricostruzioni virtuali, le metamorfosi subite fase dopo fase dalla decorazione pittorica nel corso di cinque secoli. Le installazioni sono tuttora fruibili all'interno del percorso di visita della chiesa. *Santa Maria Antiqua. Tra Roma e Bisanzio*, catalogo della mostra (Roma, Santa Maria Antiqua, 17 marzo-11 settembre 2016), Milano, Electa, 2016; Giulia Bordini, *Corpus e Atlante della pittura medievale a Roma (312-1431). Un modello possibile*, in «Hortus Artium Medievalium», 24 (2018), pp. 67-68.

fruits da ricercatori, da curatori e restauratori del patrimonio e per migliorare la percezione e l'esperienza dei tre monumenti da parte di un pubblico più vasto.

Nei modelli digitali che si stanno elaborando intendiamo sviluppare, come obiettivi concreti:

- raggiungere una reale comprensione dell'architettura dell'edificio nella sua complessità e nelle sue "anomalie" strutturali, che molto spesso vengono regolarizzate geometricamente.
- Precisare digitalmente la cromia originale dei dipinti, attraverso innovative misure colorimetriche e indagini multispettrali, imprescindibili per la restituzione digitale della decorazione pittorica dei tre monumenti. L'obiettivo è ottenere riproduzioni digitali il più possibile vicine agli originali e distinte dagli interventi di restauro.¹⁶
- Provare a riprodurre l'illuminazione originaria dei tre complessi: attraverso lo studio dell'illuminazione naturale, la disposizione delle finestre e il passaggio della luce durante le diverse ore del giorno e le diverse stagioni; e l'illuminazione artificiale per mezzo di lampadari, lampade a olio e candele.¹⁷ Quest'ultima doveva produrre effetti di vibrazione della superficie pittorica facendo "agire" le immagini durante la liturgia.¹⁸
- Usare il modello digitale per studiare i diversi punti di vista dell'edificio medievale e dei suoi dipinti, in base alle categorie di utenti. A partire dalla distinzione tra clero e laici, e, all'interno dei laici, tra uomini e donne. Ragionando su i diversi accessi visivi dell'edificio ecclesiastico e della sua decorazione.

Lavorando contemporaneamente sui tre monumenti stiamo sperimentando approcci diversi e benefici e limiti dell'adozione di un'ontologia che possa guidare il *workflow* e standardizzare la metodologia di intervento. Per il rilievo di Sant Quirze de Pedret e Santa Maria Antiqua si è scelto di combinare la scansione 3D con la fotogrammetria. La scansione è stata realizzata con il laser scanner Leica RTC360 (fig. 3a-b).¹⁹ Per la fotogrammetria sono state adottate due diverse strategie: a) ripresa dei dipinti murali alla massima risoluzione possibile, tenendo conto della calibrazione dell'acquisizione a colori; b) messa in atto di un approc-

16. Su questo punto si veda Paola Pogliani nella seconda parte di questo contributo.

17. Un esperimento di questo tipo è stato proposto nella restituzione 3D di San Giovanni in Laterano nel volume: *The Basilica of Saint John Lateran to 1600*, ed. by Lex Bosnam, Ian Haynes and Paolo Liverani, Cambridge-New York, Cambridge University Press, 2020, pp. 295-308, fig. 8.8.

18. Su questo fronte di ricerca stanno lavorando gli storici dell'arte dei tre team e stanno già uscendo contributi specifici: Maria Paschali, Dimitris Minasidis, *Seeing beyond Seeing: Light and Theophanic Contemplation at the Enkleistra of Neophytos, Cyprus*, in *Natural Light in Medieval Churches*, ed. by Vladimir Ivanovici and Alice Isabella Sullivan, Leiden-Boston, Brill, 2023, pp. 128-150.

19. Lo scanner produce immagini 360 HDR, incorporando le informazioni di più immagini con esposizioni diverse. Lo scanner acquisisce a 432 MP (12 MP × 3 fotocamere × 12 posizioni) con 5 bande HDR. Per tutti gli step del processo di scansione si veda: Munoz-Pandiella *et alii*, *Digital Twins for Medieval Monuments*, par. III.A.2, III.B.2.

cio fotogrammetrico generale all'intero edificio per migliorare le fotografie della scansione laser e aumentare la ridondanza dei dati. Mentre per l'Enkleistra si è scelto di digitalizzare in 3D il monumento usando la fotogrammetria: l'interno con circa 3.000 foto scattate con fotocamera DLSR, l'esterno con circa 1.000 scatti tramite drone.²⁰

Il gruppo di ricerca delle Università di Roma Tre e della Tuscia, in collaborazione con i colleghi catalani del VIRVig (Research Center for Visualization, Virtual Reality and Graphics Interaction), sta lavorando sulla chiesa di Santa Maria Antiqua con l'obiettivo di:

- restituire e visualizzare le circa venti fasi decorative (tra IV e XII secolo) mappate all'interno del complesso, di cui dieci stratificate sulla parete absidale (IV-IX secolo). Il ciclo di vita dell'edificio sarà riprodotto digitalmente in tutte le sue fasi temporali, come una macchina del tempo. Si vuole ricucire strato dopo strato la decorazione pittorica della chiesa ricostruendone l'iconografia e la cromia, applicando il restauro virtuale dove è possibile o la semplice integrazione a filo di ferro.
- Creare un modello digitale tridimensionale integrato con annotazioni che consentano di visualizzare strato per strato le mappature tematiche legate ai singoli livelli, frutto di più di quindici anni di studio e restauro della chiesa, e la documentazione grafica e fotografica, archeologica, architettonica e storico-artistica.
- Creare scenari virtuali per testare le diverse ipotesi di copertura dell'edificio e di disposizione delle finestre, oggi perduti. Sarà così possibile osservare quale potesse essere l'impatto della luce diurna e artificiale all'interno della chiesa e sulle pitture. Saranno anche sperimentate le diverse ipotesi di allestimento e trasformazione degli arredi liturgici tra il VI e VIII secolo.

Il progetto è partito a settembre 2020, ma l'emergenza Covid-19 ha rallentato notevolmente il lavoro sul campo, soprattutto per quanto riguarda il rilievo di Santa Maria Antiqua. Questo tuttavia ha giovato al processo di "alfabetizzazione digitale" del gruppo degli storici dell'arte impegnati nel progetto e a quello di "alfabetizzazione umanistica" degli ingegneri, grazie ai frequenti meeting online dei team impegnati nei differenti *workpackages*.²¹

Nel primo anno di progetto abbiamo lavorato alla messa a punto del *workflow* e alla strutturazione di un database in Filemaker che consentisse di raccogliere in modo sistematico la documentazione archeologica, architettonica, storico-artistica e conservativa dei tre siti. Questi dati dovranno poi dialogare con i modelli digitali grazie a sistemi di annotazione 2D/3D basati sull'intelligenza artificiale.

20. Per la campagna fotografica sono state impiegate fotocamere DSLR dotate di sensori full-frame di alta qualità che consentono la massima nitidezza e risoluzione delle immagini. Per la post-produzione delle immagini sono stati utilizzati Adobe Lightroom e Darktable, ed è stato applicato un processo di calibrazione del colore alle immagini dei dipinti. La fotogrammetria è stata eseguita con Reality Capture e Agisoft Metashape. Ivi, par. III.A.2.

21. Guardia *et alii*, *Digital Layered Models*, pp. 40-41.

Il team del VIRVig sta sviluppando un prototipo di applicazione che si basa su TagLab,²² per consentire all'utente di inserire testi, immagini o media label in parti specifiche del 3D, come anche di creare annotazioni più specifiche che prevedono una classificazione per pixel (ad esempio, la segmentazione dell'immagine di un dipinto in base ai materiali costitutivi o allo stato di conservazione). Uno degli obiettivi è quello di potere creare sulle immagini delle pitture segmentazioni e annotazioni in più *layers*, eseguite sia manualmente sia automaticamente, e trasferire le aree con annotazioni nel modello 3D (fig. 4).²³

Il fine ultimo del progetto EHEM è quello di sviluppare applicazioni dedicate per presentare i modelli digitali dei tre monumenti a diverse categorie di utenti: a) la comunità scientifica; b) i curatori e i restauratori; c) il pubblico dei visitatori.

Si è iniziato nel secondo anno di progetto a sperimentare diverse tecniche per la visualizzazione e l'esplorazione interattiva dei modelli scansionati a partire dalle esigenze messe in campo dagli storici dell'arte con l'obiettivo di creare nuovi *tools* dedicati. Gli ingegneri del gruppo intendono supportare l'esplorazione sia dei modelli *point-based* sia di quelli *mesh-based* così da garantire da una parte la possibilità di estrarre piante e sezioni dell'edificio e dall'altra la creazione di applicazioni interattive e multimediali. Per i modelli di nuvole di punti è stata già realizzata una applicazione web basata su Potree che permette di ispezionare il modello, di utilizzare piani di *clipping* e di effettuare misurazioni.²⁴ Per i modelli 3D di *mesh* è stato invece sviluppato un prototipo di VR, basato su un'estensione del sistema *client-server* PhotoCloud, che consente all'utente di esplorare al contempo sia il modello sia set di immagini. L'utente può selezionare una foto, proiettarla sul modello 3D, osservarla separatamente o teletrasportarsi nella posizione in cui è stata scattata, avendo così accesso, ad esempio, a dettagli spesso non visibili ad occhio nudo delle pitture.²⁵ Un'attenzione speciale si sta dedicando in questa fase del progetto al problema dell'illuminazione attraverso la sperimentazione di sistemi di *rendering* in tempo reale, già avviata per i modelli di Pedret e dell'Enkleistra, che consentano di ottenere sia la luce naturale, simulata a seconda delle condizioni atmosferiche e delle stagioni, sia quella artificiale, prodotta da candele o lampade a olio.²⁶ Il terzo e ultimo anno è quello delle sfide

22. <https://taglab.isti.cnr.it/> (ultima visita il 28 ottobre 2022); Gaia Pavoni *et alii*, *Another Brick in the Wall: Improving the Assisted Semantic Segmentation of Masonry Walls*, in *Eurographics. Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, ed. by Michela Spagnuolo and Francisco J. Melero, GCH 2020, <https://doi.org/10.2312/gch.20201291>.

23. Munoz-Pandiella *et alii*, *Digital Twins for Medieval Monuments*, par. III.A.5; Albert Barreiro Díaz *et alii*, *An Annotation Tool for Digital Restoration of Wall Paintings*, in *Eurographics. Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, ed. by Ruggero Pintus and Federico Ponchio, 2022, <https://doi.org/10.2312/gch.20221220>.

24. Munoz-Pandiella *et alii*, *Digital Twins for Medieval Monuments*, par. III.A.3.

25. Arnau Farràs *et alii*, *Immersive Geometry-based and Image-based Exploration of Cultural Heritage Models*, in *Eurographics. Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, ed. by Alan Chalmers and Vedad Hulusic, GCH 2021, <https://doi.org/10.2312/gch.20211402>.

26. Per simulare l'illuminazione si stanno utilizzando nei modelli 3D di ogni sito: *Unreal Engine 5*, un moderno motore di gioco ad alte prestazioni in combinazione con i software *Radiance* (lighting simulation tool) e *Lumen* (lighting software by Epic Games). *Radiance* calcola l'illumina-

finali, che vedrà Santa Maria Antiqua al centro dell'attenzione avvantaggiarsi delle sperimentazioni già avviate sui modelli di Sant Quirze de Pedret (fig. 5)²⁷ e dell'Enkleistra²⁸ pressoché compiuti.

(G.B.)

2. Dal reale al digitale. La sfida del colore per i modelli 3D

Per affrontare gli aspetti legati alla complessità dei monumenti individuati come casi studio nel progetto EHEM ed organizzare i dati, le informazioni e le diverse forme di documentazione, è stato messo a punto un database utilizzando il software File maker pro. Si tratta di uno strumento agevole per gli storici dell'arte, in grado di custodire, rendere fruibili e interrelate fra loro informazioni e documenti di natura diversa (fig. 6).

Attraverso un doppio menu è possibile cercare informazioni per categoria oppure indagare uno specifico monumento perché ognuno di essi ha un suo specifico database composto da una struttura relazionale che lega i dati testuali alla documentazione – grafica e fotografica, storica e recente – e alla bibliografia. Le informazioni sono organizzate secondo dei canali tematici che riguardano la struttura architettonica e gli apparati decorativi, pittorici e plastici, con affondi sull'iconografia, sulla tecnica esecutiva e sui materiali costitutivi dei dipinti con particolare attenzione all'uso dei pigmenti. Questo archivio, aperto e fruibile online, rappresenta un punto di partenza per la realizzazione del modello digitale dello stato di fatto dei monumenti nonché per la ricostruzione delle fasi pittoriche di ciascuno di essi.

L'attenzione per i materiali costitutivi dei dipinti è funzionale alla loro conoscenza, alla diffusione delle informazioni sulla tecnica d'esecuzione della pittura murale altomedievale, ma è anche utile per focalizzare l'attenzione sull'uso del colore funzionale alla realizzazione del modello digitale per la ricostruzione della decorazione pittorica di ciascun monumento.

L'acquisizione del colore delle superfici architettoniche e decorative nell'esecuzione di un modello digitale è alla base del processo di visualizzazione ed esportazione delle immagini dal mondo reale a quello virtuale per utilizzi e scopi scientifici e divulgativi. Si tratta di un tema dibattuto fra gli esperti di modellazione digitale che ha visto elaborare varie metodologie e tecniche volte a resti-

zione della scena considerando la geometria, le proprietà dei materiali e delle fonti di illuminazione naturale e artificiale. *Lumen*, invece, è una soluzione di illuminazione globale in tempo che consente la visualizzazione istantanea delle interazioni di illuminazione (Munoz-Pandiella *et alii*, *Digital Twins for Medieval Monuments*, par. III.A.4).

27. Il 15 maggio 2022 è stata inaugurata la nuova sala delle pitture di Sant Quirze de Pedret nel Museu Diocesà i Comarcal de Solsona con video wall dove il modello 3D della chiesa mostra finalmente ricongiunti in un unico ambiente virtuale i frammenti pittorici sparsi tra Solsona e il MNAC.

28. <https://vimeo.com/538552468>.

tuire il colore nei modelli digitali 3D.²⁹ Si tratta di realizzare repliche digitali di monumenti, di opere d'arte e di restaurarle e ricontestualizzarle all'interno di simulazioni artificiali che sempre più hanno l'intento di preservare l'affidabilità del contenuto originale evitando un falso senso della realtà.³⁰ Le immagini digitali devono quindi replicare la materialità dell'opera, pur in assenza di essa, per restituirne il valore semantico all'interno dei processi di interazione con il modello digitale.

La digitalizzazione dei dipinti murali, cuore del progetto EHEM, ha comportato la necessità di esplorare il modo migliore per determinare i colori reali, utilizzando diversi approcci per scegliere il più adatto a replicare lo stato di fatto dei dipinti e crearne il "gemello digitale" da utilizzare come strumento per implementare e divulgare le informazioni connesse alla complessità della decorazione pittorica dei monumenti presi in esame.³¹

L'idea è quella di utilizzare come base di partenza gli esiti delle indagini scientifiche volte a caratterizzare i materiali costitutivi dei dipinti, in particolare dei pigmenti, abbinate alle riprese con tecniche di imaging o alle indagini colorimetriche. Nel nostro progetto, come nella maggior parte di quelli volti a replicare superfici decorate oppure opere d'arte, il tema con cui ci si confronta è quello della duplicazione dei colori "reali". In realtà, le indagini che possiamo mettere in campo sia con l'utilizzo di sistemi calibrati di acquisizione ma anche attraverso le più puntuali indagini scientifiche, consentono di ottenere dati e informazioni sul colore come si presenta oggi.

Quando si parla di colori originali o reali si entra, per le opere d'arte, nella sfera dell'autenticità dell'opera che è trasmessa dall'immagine plasmata attraverso la materia e dunque anche dal colore. Autenticità che, come sosteneva Walter Benjamin, «si sottrae alla riproducibilità tecnica» perché nella riproduzione è

29. Si rimanda ai contributi di Fabrizio I. Apollonio, Massimo Ballabeni, Marco Gaiani, *Color Enhanced Pipelines for Reality-based 3D Modeling of on Site Medium Sized Archeological Artifacts*, in «Virtual Archaeology Review», 5/10 (2014), pp. 59-76; Juan F. Ruiz, José Manuel Pereira, *The Colours of Rock Art. Analysis of Colour Recording and Communication Systems in Rock Art Research*, in «Journal of Archaeological Science», 50 (2014), pp. 338-349; Przemysław Korytkowski, Agnieszka Olejnik-Krugly, *Precise Capture of Colors in Cultural Heritage Digitization*, in «Color Research and Application», 42 (2016), pp. 333-336; Alexandra Dardenay, Maud Mulliez, Pascal Mora, *Reconstruction of Ancient Wall Paintings: Digital Painting and Three-dimensional Restoration of the House of Neptune and Amphitrite in Herculaneum*, in *Restituer les couleurs: le rôle de la restitution dans les recherches sur la polychromie, en sculpture, architecture et peinture murale = Reconstruction of Polychromy: Research on Polychromy in Ancient Sculpture, Architecture and Wall-painting: The Role of Reconstructions*, éd. Par Maud Mulliez, Bordeaux, Ausonius éditions 2019, pp. 67-77; Adolfo Molada-Tebar, Àngel Marqués-Mateu, José Luis Lerma, *Correct Use of Color for Cultural Heritage Documentation*, in «The International Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», IV (2019), pp. 107-113.

30. Eva Pietroni, Daniele Ferdani, *Virtual Restoration and Virtual Reconstruction in Cultural Heritage: Terminology, Methodologies, Visual Representation Techniques and Cognitive Models*, in «Information», 12 (2021), <https://doi.org/10.3390/info12040167>.

31. Milagros Guardia et alii, *Digital Layered Models*; Munoz-Pandiella et alii, *Digital Twins for Medieval Monuments*.

assente «l'*hic et nunc* dell'opera d'arte – la sua esistenza irripetibile nel luogo in cui si trova».³² Ed è in quel luogo che le opere si presentano con le modificazioni che la loro struttura fisica ha subito nel corso del tempo per via di fenomeni naturali o antropici che ne hanno alterato la materia e l'aspetto. I colori, in particolare dei dipinti murali, non sono immutabili nel tempo. La pellicola pittorica, stesa ad affresco o a secco, subisce nel tempo delle alterazioni – si alleggerisce, si abrade, si sbianca, si stacca – provocando perdite parziali delle immagini che dunque si riproducono, nella replica digitale, nel loro stato di fatto che comprende il passaggio del tempo sull'opera d'arte. È Michel Pastoureau a sottolineare proprio quanto sia complesso lo studio dei colori perché «li vediamo così come il tempo li ha trasformati e non nel loro stato originario».³³ Hanno una storia connessa con la vita dell'opera e con il luogo di conservazione, subiscono variazioni dovute a fenomeni naturali di alterazione, a cause antropiche e ai restauri storici.

Questi aspetti vanno tenuti in considerazione soprattutto in contesti come quello di Santa Maria Antiqua dove, dal momento del rinvenimento nel 1900, nonostante la costante volontà di conservare *in situ* ed il più possibile intatti i dipinti senza aggiunte o integrazioni, l'esposizione all'aperto dapprima e successivamente le campagne di restauro hanno inevitabilmente contribuito nel variare la saturazione dei toni apparsi subito dopo la scoperta.³⁴ In un primo momento, nel corso degli interventi conservativi realizzati durante lo scavo condotto da Giacomo Boni (1900-1902), le pitture vennero trattate con la cera per eliminare gli sbiancamenti provocati dai sali che migravano in superficie, cercando in questo modo di restituire «a tutti i dipinti prosciugati un vigore d'intonazione, una nettezza d'immagine».³⁵ In seguito (1906-1910), sulle pitture del presbiterio e della cappella di Teodoto venne stesa dal restauratore Tito Venturini Papari una “tempera” composta da colla animale che conferiva una leggera tonalità calda ai colori.³⁶ Anche le reintegrazioni «con tinte di accompagnamento sulle stuccature» realizzate negli stessi anni apportarono una sostanziale modifica alla percezione dei dipinti nell'abside dove le campiture piatte stese sulle porzioni risarcite con il cemento apparivano in primo piano rispetto ai colori originali e rendevano ancora più complessa la corretta lettura dei palinsesti pittorici.³⁷

Cosa significa dunque, replicare il colore nel modello digitale delle pitture di Santa Maria Antiqua? Occorre innanzitutto conoscere la stratigrafia e la successione delle circa venti fasi che si susseguono in palinsesto o si dispongono sulle

32. Walter Benjamin, *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, Torino, Einaudi, 2014, in part. pp. 6-9.

33. Michel Pastoureau, Dominique Simonnet, *Il piccolo libro dei colori*, Milano, Ponte alle Grazie, 2020, p. 12.

34. Paola Pogliani, «Il più grande palinsesto dell'alto medioevo». *Il restauro dei dipinti murali di Santa Maria Antiqua al Foro romano dal 1900 al 1960 e oltre*, Firenze, Nardini 2022, pp. 27-31.

35. Ivi, pp. 35-36.

36. Ivi, pp. 55-56.

37. *Ibidem*.

pareti del monumento.³⁸ Inoltre, per ciascuna fase è necessario chiarire la tecnica d'esecuzione – perché sono presenti stesure ad affresco con campiture a calce ma anche pitture realizzate interamente a secco – e caratterizzare i pigmenti utilizzati da ogni bottega.

Mentre l'identificazione dei pigmenti ha una nomenclatura e risponde a standard tecnico scientifici che consentono di caratterizzare i materiali costitutivi principali e secondari di ognuno di essi, il colore non si lascia imprigionare in categorie. Anche quando si cerca di offrire dei punti di riferimento, misurabili mediante le tavole di Munsell o le scale Pantone, si arriva ad ottenere una sequenza di tinte che si susseguono per gradazioni di campiture omogenee a cui viene dato un nome o una sigla alfanumerica. In realtà la tavolozza del pittore medievale comprende un'ampia gamma di pigmenti con cui realizza colori che appartengono alla medesima categoria, ma con tonalità fra loro differenti grazie alla capacità tecnica di unire vari materiali per ottenere effetti diversi.

Occorre quindi addentrarsi nella conoscenza dei materiali costitutivi dei pigmenti per implementare le informazioni sul colore e cercare di unire il suo aspetto fisico con le proprietà chimiche dei pigmenti. Un verde, ad esempio, può essere ottenuto da sostanze naturali oppure prodotto artificialmente. Ogni verde ha uno specifico tono, è di un colore che è associato ad una nomenclatura riferita principalmente al materiale costitutivo (verde terra, verde veronese, verde viridiano, verde rame, verde cobalto, ecc.), ma può essere presente in pittura in molteplici sfumature create dando luminosità aggiungendo il bianco o saturandolo con il nero. Quante tonalità di “verde” possono esistere se si considerano le stesure realizzate con pigmenti naturali (terre) oppure ottenuti da metalli (rame) o da miscele degli stessi? A Santa Maria Antiqua, nelle diverse fasi, è stato utilizzato un verde composto da un pigmento a base di terra di tipo celadonitico miscelato con altri pigmenti per ottenere variazioni di tono.³⁹ Lo studio dei materiali costitutivi ha consentito, infatti, di mettere in evidenza la presenza diffusa di pigmento verde terra scurito con nero carbone o schiarito con bianco di calce e l'uso più circoscritto di un tono verde ottenuto miscelando ocra gialla con nero carbone. Si tratta di un colore specifico creato dalla miscela di due pigmenti non verdi per ottenere un tono pastello che sigla l'operato di una specifica bottega a cui si devono i dipinti della fase del cd. Angelo bello della parete palinsesto e del pannello con la sant'Anna e Maria bambina dipinto sulla parete ovest del presbiterio.⁴⁰ Nella post produzione delle immagini fotografiche di questi dipinti per il modello digitale

38. La sequenza delle fasi pittoriche del complesso palinsesto nell'abside è stata di recente aggiornata: Giulia Bordi, *The Apse Wall of Santa Maria Antiqua*.

39. Silvia Amato, Danilo Bersani, Claudia Pelosi, Paola Pogliani, Pier Paolo Lottici, *A Multi-analytical Approach to the Study of the Mural Paintings in the Presbyterian Area of Santa Maria Antiqua al Foro Romano in Rome*, in «Archaeometry», 59 (2017), <http://doi.org/10.1111/arc.12296>.

40. Paola Pogliani, Claudia Pelosi, Giorgia Agresti, *Palimpsests and Pictorial Phases in the Light of Studies of the Techniques of Execution and the Materials Employed*, in *Santa Maria Antiqua. The Sistine Chapel*, pp. 299-318.

potremmo attribuire il termine “verde” anche al colore ottenuto dalla miscela di ocre e nero (fig. 7) omologandolo ai toni verdi realizzati con pigmenti verdi.

Un altro fattore da tenere in considerazione è che il colore non è un sistema regolato da tinte o campiture omogenee. Lo dimostra l’analisi del procedimento esecutivo dei dipinti murali di Santa Maria Antiqua che mette in evidenza le modalità di stesura del colore per sovrapposizione.⁴¹ Nella fase pittorica dell’Angelo bello i volti sono costruiti per addizione mediante la sovrapposizione di campiture e dall’intreccio di pennellate di colore che modellano la volumetria e conferiscono l’aspetto dell’incarnato modulato dalla luce.⁴² L’esito non è un colore dell’incarnato generico, ma una composizione di tinte che restituiscono il tono freddo modulato per il volto dell’Angelo e il tono caldo modulato per il volto della sant’Anna (fig. 8).

Quale colore leggiamo? Ogni epoca ha messo in campo il proprio regime percettivo e noi leggiamo i colori con gli occhi della contemporaneità, che è inevitabilmente, come sostiene Riccardo Falcinelli, il modo in cui guardiamo ciò che ci circonda con filtri di un occhio critico sviluppato nella società industrializzata permeata dal colore piatto unito e dalle mode.⁴³

Con questa consapevolezza, nel progetto EHEM ci proponiamo di acquisire le specifiche caratteristiche fisiche e chimiche dei colori coniugandole con le caratteristiche dei materiali costitutivi e le modalità esecutive per restituire un’immagine dei dipinti da riprodurre nel modello digitale il più fedele possibile.⁴⁴ In questa direzione, insieme all’indagine autoptica e alla caratterizzazione analitico-scientifica dei pigmenti volta a ricomporre la tavolozza utilizzata dai pittori che hanno lavorato a Santa Maria Antiqua, sono state predisposte indagini multispettrali e colorimetriche per implementare la conoscenza delle caratteristiche del colore dei dipinti come si presentano oggi. L’analisi colorimetrica consente, infatti, di descrivere le coordinate cromatiche attraverso il sistema di colori CIELAB con spettrofotometro a riflettanza X-Rite CA22 che permette misure colorimetriche nell’intervallo spettrale del visibile (400-700 nm). A questa viene abbinata un’innovativa tecnica di *imaging* multispettrale messa a punto da Profilocolore.⁴⁵ Si tratta dell’Hypercolorimetric Multispectral Imaging (HMI) che permette vari tipi

41. Maria Andaloro, *Le icone a Roma in età preiconoclasta*, in *Roma fra Oriente e Occidente*, Spoleto, Centro Italiano di Studi sull’Alto Medioevo, 2002 (Settimane di Studio del Centro Italiano di Studi sull’Alto Medioevo, XLIX), pp. 719-753; Maria Andaloro, *La parete palinsesto: 1900, 2000*, in *Santa Maria Antiqua al Foro Romano cento anni dopo*, Atti del Colloquio Internazionale (Roma, 5-6 maggio 2000), a cura di John Osborne, Johann Rasmus Brandt e Giuseppe Morganti, Roma, Campisano, 2004, pp. 97-111.

42. Pogliani, Pelosi, Agresti, *Palimpsests and pictorial phases*, pp. 302-308.

43. Riccardo Falcinelli, *Cromorama. Come il colore ha cambiato il nostro sguardo*, Torino, Einaudi, 2017, pp. 403-414.

44. La campagna di indagini scientifiche e di *imaging* è realizzata da Claudia Pelosi e Luca Lanteri (LabImaging, Dipartimento di Economia, Ingegneria, Società e Impresa, Università degli Studi della Tuscia).

45. <https://www.profilocolore.com/it/spectral-imaging-systems-it/>; Marcello Melis, Matteo Miccoli, Donato Quarta, *Multispectral Hypercolorimetry and Automatic Guided Pigment Identifi-*

di indagine della superficie fra cui accurate misurazioni colorimetriche attraverso riprese fotografiche, senza contatto con la superficie pittorica, che analizzate da uno specifico software consentono di realizzare mappe di distribuzione dei pigmenti sull'intera superficie analizzata (figg. 9-10).⁴⁶

La lettura multispettrale dei dipinti murali medievali in uno stato di conservazione compromesso consente di "ricomporre" l'immagine e valorizzarla laddove non sono percepibili in luce visibile finiture, lumeggiature o pennellate che si sono affievolite,⁴⁷ mentre la mappatura dei toni cromatici consente di "restituire" anche la lettura cromatica delle immagini per la loro riproduzione digitale. Dunque le indagini di imaging multispettrale permettono di approfondire la conoscenza della tecnica esecutiva e dello stato di conservazione dei dipinti, ma anche di aggiungere informazioni preziose per la definizione del colore. Alla restituzione fedele del colore nel modello digitale si associa sovente il tema della ricostituzione delle immagini soprattutto per quei dipinti murali che si presentano consunti o sbiaditi, oppure frammentati o in frammenti. Per i dipinti murali medievali, e il complesso palinsesto di Santa Maria Antiqua, ciò è quanto più necessario per la comprensione delle fasi pittoriche. Si tratterà di esplorare i confini della ricostruzione dell'immagine attraverso un processo di conoscenza che parte dalle indagini diagnostiche muovendosi nella direzione di quello che viene genericamente definito restauro virtuale al fine di offrire una migliore lettura della successione delle fasi all'interno del monumento ricucendo i nessi fra i dipinti in situ e staccati. Si tratterà di rinnovare la percezione della pittura murale altomedievale per raccontarla al grande pubblico stanandola dal pregiudizio vasariano di «ruina estrema» di cui spesso è ancora ammantata negli occhi di molti.⁴⁸

(P.P.)

cation: *Some Masterpieces Case Studies*, in *Optics for Arts, Architecture, and Archaeology IV*, ed. by Luca Pezzati and Piotr Targowski, num. mon. di «SPIE», 8790 (2013), pp. 1-14.

46. Giorgia Agresti, Paolo Burrascano, Giuseppe Calabrò, Claudia Colantonio, Luca Lanteri, Stefano Laureti, Marcello Melis, Claudia Pelosi, Marco Ricci, Stefano Sfarra, *Hypercolorimetric Multispectral Imaging and Pulse Compression Thermography as Innovative Combined Techniques for Painting Investigation: The Case of a Detached Wall Painting by Pastura*, in «Materials Science and Engineering», 949 (2020), <http://doi.org/10.1088/1757-899X/949/1/012008>.

47. Sono esemplari in questa direzione i progetti *Giotto com'era* e *Progetto Giotto. Giotto com'era. Il colore perduto delle Storie di San Francesco nella Basilica di Assisi*, a cura di Giuseppe Basile, Fabio Ferneti, Paola Santopadre e Claudio Seccaroni, Roma, De Luca, 2007; *Progetto Giotto. Tecnica artistica e stato di conservazione delle pitture murali nelle cappelle Peruzzi e Bardi a santa Croce*, a cura di Cecilia Frosinini, Firenze, Edifir, 2017.

48. Barbara Forti, *Vasari e la "ruina estrema" del Medioevo: genesi e sviluppi di un'idea*, in «Arte medievale», 4 (2014), pp. 231-252.

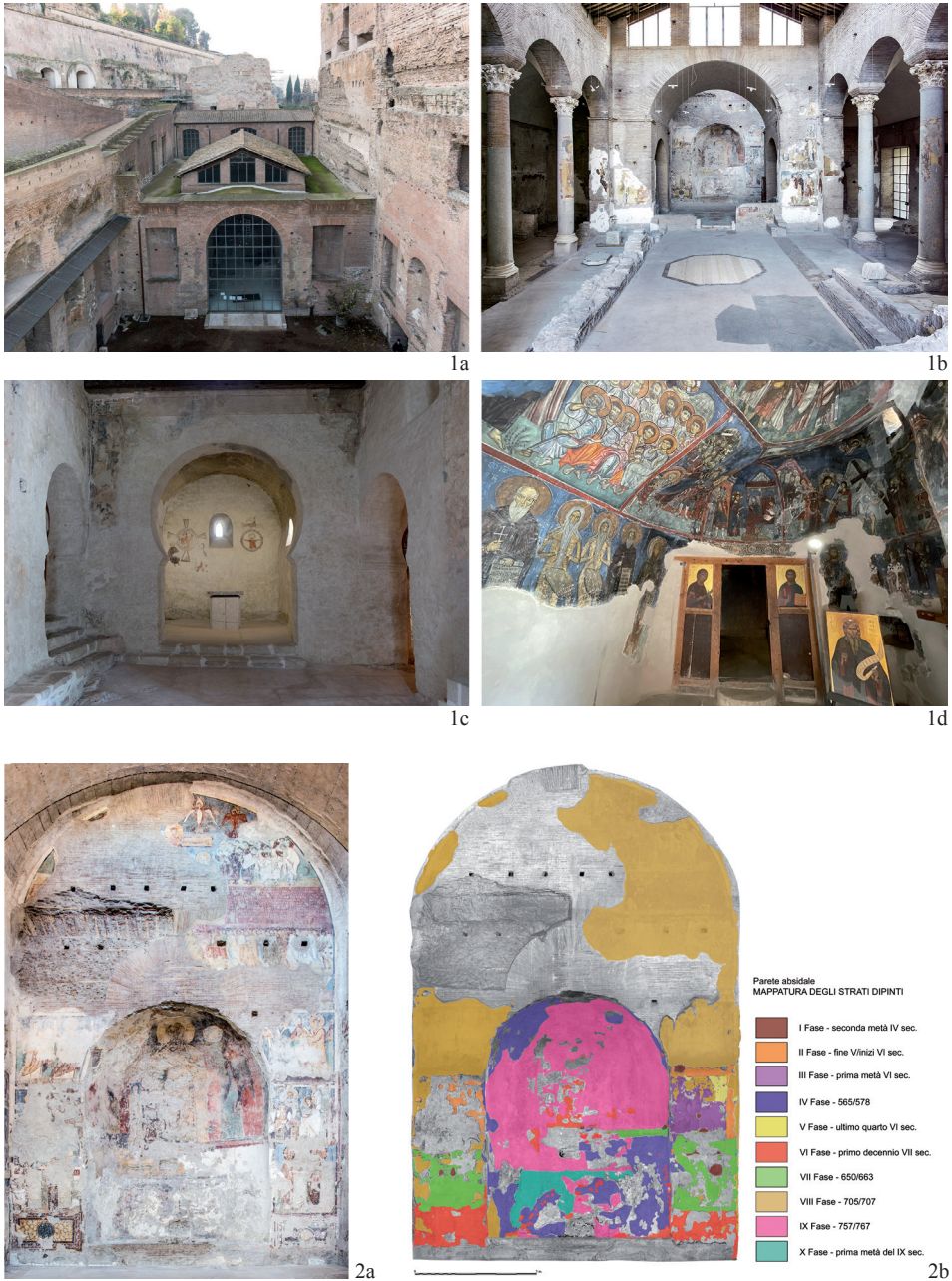
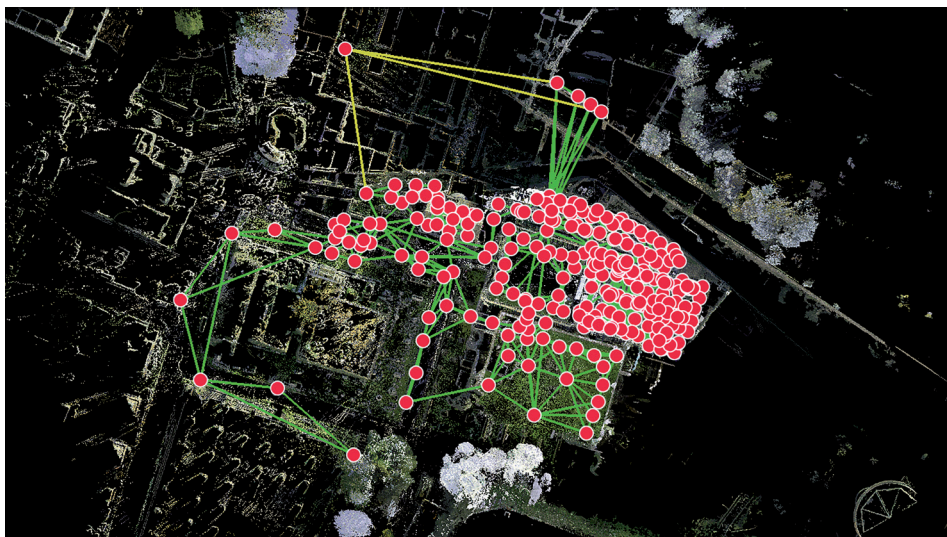
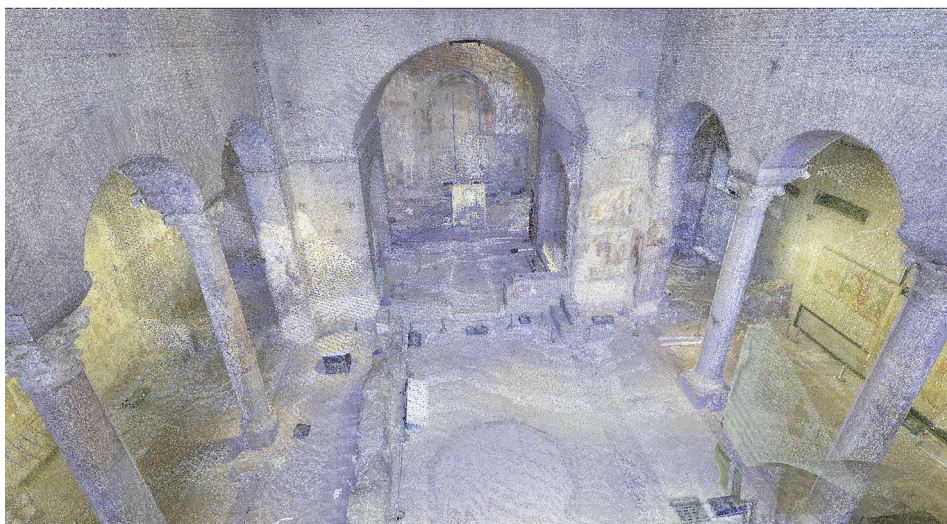


Fig. 1. *Case studies*: Roma (Italia), Santa Maria Antiqua. a) Esterno; b) interno; c) Cercs (Spagna), Sant Quirze de Pedret. Navata centrale; d) Paphos (Cipro), Enkleistra di San Neofito. Naos.

Fig. 2. Roma, Santa Maria Antiqua. a) Parete absidale; b) mappatura degli strati dipinti.

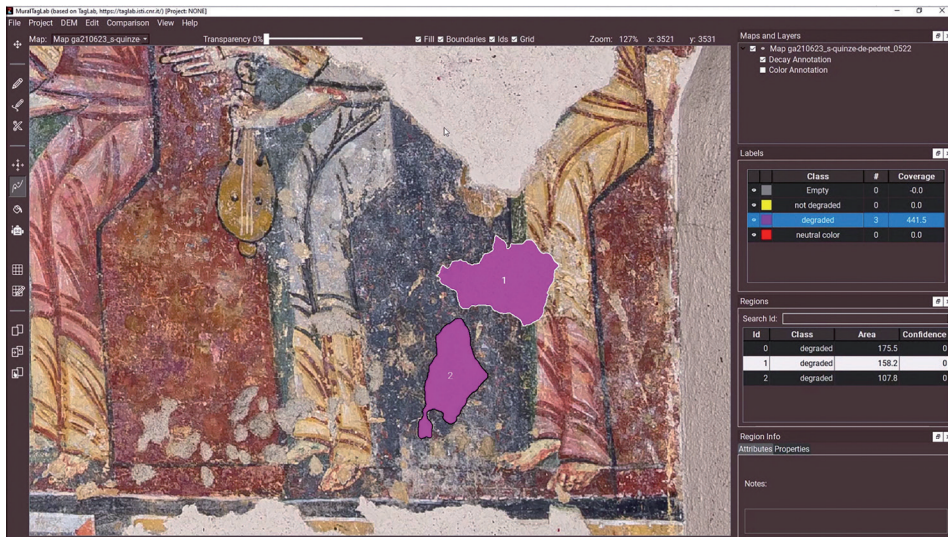


3a



3b

Fig. 3. Scansione con Laser scanner RTC360 di Santa Maria Antiqua. a) Processo di scansione; b) nuvola di punti.



4



5

Fig. 4. Interfaccia del tool di annotazione. Esempio di segmentazione delle lacune di un dipinto murale.

Fig. 5. Modello 3D di Sant Quirz de Pedret. Navata centrale e abside con pitture ricontestualizzate (fase XII secolo).



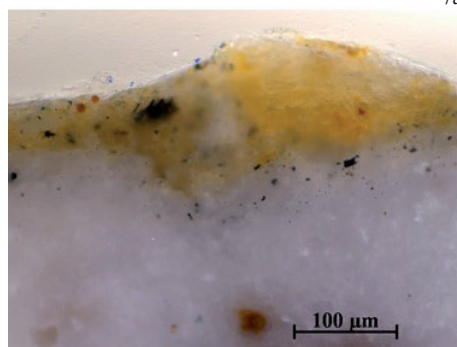
6



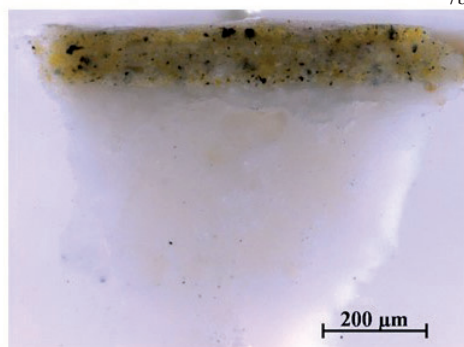
7a



7b



7c



7d

Fig. 6. Home page del database EHEM.

Fig. 7. Roma, Santa Maria Antiqua. Il colore verde ottenuto con ocre gialla e nero carbone e le stratigrafie dei campioni prelevati dal fondo dell'Angelo bello (colonna a sinistra) e della sant'Anna con Maria bambina (colonna a destra).

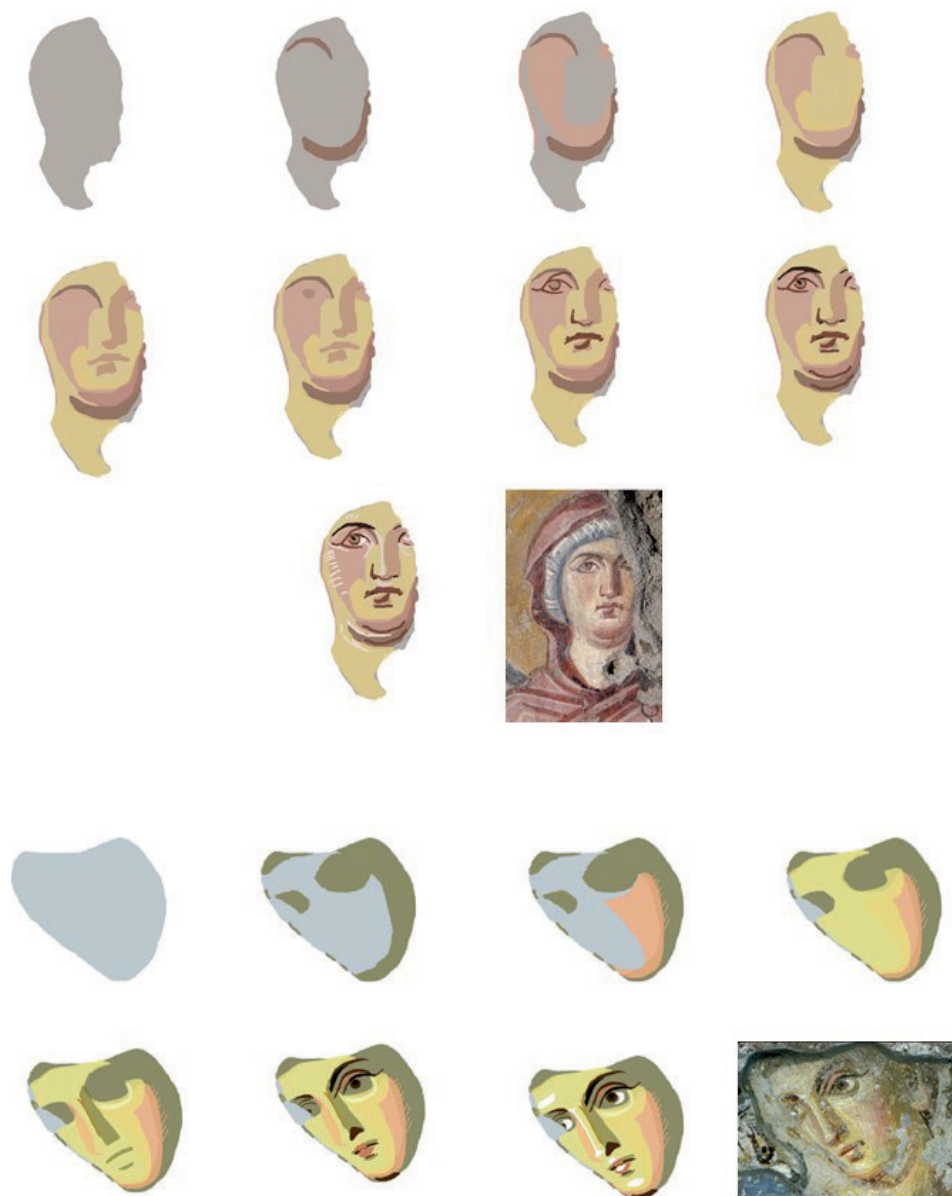
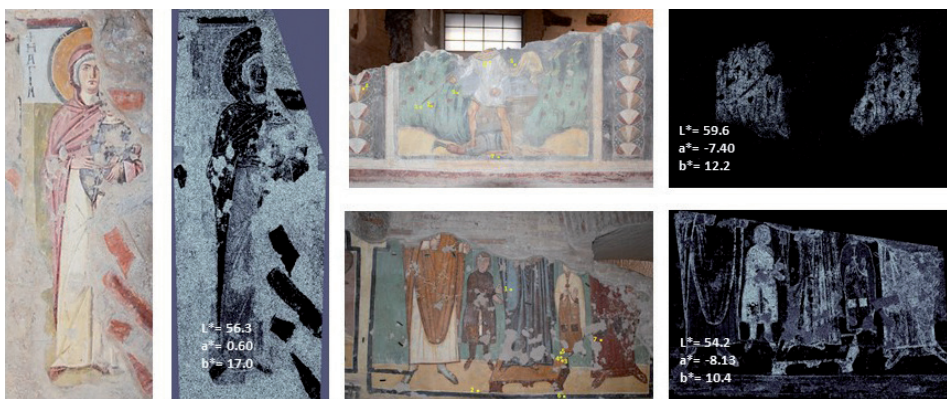


Fig. 8. Roma, Santa Maria Antiqua. Sequenza delle stesure pittoriche dei volti dell'Angelo bello e della sant'Anna.



9



10

Fig. 9. Riprese in campo a Santa Maria Antiqua con la strumentazione HMI e con Spettrofotometro.
 Fig. 10. Mappatura del colore verde con HMI a Santa Maria Antiqua.