



Ministero della Cultura

Direzione Generale Educazione, Ricerca, Istituti Culturali

Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di restauro di Firenze

© Copyright 2018-2021 by Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro

© Copyright 2018-2021 by Edifir-Edizioni Firenze
Via de' Pucci, 4 – 50122 Firenze
Tel. +39/055289639
www.edifir.it – edizioni-firenze@edifir.it

Responsabile editoriale
Elena Mariotti

Stampa
Pacini Editore Industrie Grafiche, Ospedaletto (Pisa)

978-88-7970-715-2

Foto di copertina:

Paolo Uccello, *La creazione degli animali e di Adamo*, Firenze, Museo di Santa Maria Novella, già Chiostro Verde, lato est, campata I, registro superiore, particolare dopo il restauro

Foto IV di copertina:

Museo di Santa Maria Novella, Chiostro Verde, braccio orientale

Referenze fotografiche

Ministero della Cultura, Polo Museale per l'Emilia Romagna: p. 90; Diocesi di Prato: p. 59; Archivio Storico del Comune di Siena: p. 57; Diocesi di Siena: pp. 58, 60; Gabinetto Fotografico delle Gallerie degli Uffizi di Firenze: pp. 83, 106, 107, 112; Firenze, Fototeca dei Musei Civici Fiorentini: pp. 26, 28, 29 (Fondo Chiese e Conventi - Santa Maria Novella, neg. 12330) (Fondo Chiese e Conventi - Santa Maria Novella, cat. n. 20171844), 31, 33, 34 (Fondo Chiese e Conventi - Santa Maria Novella, neg. 16205), 38, 40 (Fondo Chiese e Conventi - Santa Maria Novella, neg. 16205), 42 (Fondo Chiese e Conventi - Santa Maria Novella, neg. 2816), 78, 80, 81; Francesco Bini © Wikipedia Source: pp. 131, 134, 137; Firenze, Archivi Alinari: p. 41; Oxford, The Ashmolean Museum: p. 109; Melbourne, National Gallery of Victoria: p. 109; Arezzo, Museo Nazionale d'Arte Medievale e Moderna: p. 62; Archivio Storico Comune di Firenze, Corporazioni Religiose Soppresse dal Governo Francese, 102, 107: pp. 22-23: p. 30; Archivio Storico Comune di Firenze, amfce 0064 (cass. 2, ins. A): p. 40; Firenze, Opera del Duomo: p. 9.

Tutte le foto non altrimenti citate appartengono all'Archivio Restauri dell'Opificio delle Pietre Dure.

L'Editore rimane a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare

Fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, comma 4, della legge 22 aprile 1941 n. 633 ovvero dall'accordo stipulato tra SIAE, AIE, SNS e CNA, ConfArtigianato, CASA, CLAAI, ConfCommercio, ConfEsercenti il 18 dicembre 2000. Le riproduzioni per uso differente da quello personale sopracitato potranno avvenire solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto dall'editore. Photocopies for reader's personal use are limited to 15% of every book/issue of periodical and with payment to SIAE of the compensation foreseen in art. 68, codicil 4, of Law 22 April 1941 no. 633 and by the agreement of December 18, 2000 between SIAE, AIE, SNS and CNA, ConfArtigianato, CASA, CLAAI, ConfCommercio, ConfEsercenti. Reproductions for purposes different from the previously mentioned one may be made only after specific authorization by those holding copyright the Publisher.

collana **Problemi di conservazione e restauro. 56**

Paolo Uccello a Santa Maria Novella. Restauro e studi sulla tecnica in terraverde

a cura di Cecilia Frosinini

edifir
EDIZIONI FIRENZE



Il restauro delle Pitture Murali del lato est del Chiostro Verde è stato realizzato dall'Opificio delle Pietre Dure, Settore Restauro Pitture Murali e Stucchi, dal 2010 al 2014, mentre erano soprintendenti Isabella Lapi Ballerini (2009-2010), Cristina Acidini (*ad interim*, 2010-febbraio 2012) e Marco Ciatti (da febbraio 2012 a oggi)

Direzione del Settore Restauro Pitture Murali e Stucchi: Cecilia Frosinini

Segreteria organizzativa e scientifica: Cristiana Massari

Per il Comune di Firenze

Giorgio Caselli, *dirigente del Servizio Belle Arti e Fabbrica di Palazzo Vecchio*

Paolo Ferrara

Laura Corti

Responsabili sicurezza

Maria Bonelli, Paolo Ferrara

Il Museo di Santa Maria Novella fa parte del Sistema dei Musei Civici Fiorentini, gestito dalla Direzione Cultura - Servizio Musei Comunali del Comune di Firenze

Gabriella Farsi, *direttore dei Musei Civici Fiorentini*

Silvia Penna, *P.O. Musei Civici*

Silvia Colucci, *curatrice del Museo di Santa Maria Novella*

Progetto espositivo "a sugo d'erbe e terra verde"

Giorgio Caselli, *dirigente del Servizio Belle Arti e Fabbrica di Palazzo Vecchio*

Carmela Valdevies, *già dirigente del Servizio Musei Comunali coordinamento scientifico e redazione testi di Silvia Colucci in collaborazione con Claudia Bardelloni*

progettazione dell'allestimento di Daniele Gualandi

Per la ex Soprintendenza Speciale per il Patrimonio Storico, Artistico ed Etnoantropologico e per il Polo Museale della Città di Firenze

Cristina Acidini (fino a novembre 2014) e Alessandra Marino (*ad interim* da novembre 2014); Anna Bisceglia, funzionario di zona. Il bene oggi è sotto la tutela della Soprintendenza Archeologia, belle arti e paesaggio per la città metropolitana di Firenze e le province di Pistoia e Prato

Andrea Pessina, *soprintendente*

Maria Pia Zaccheddu, *funzionario di zona*

RESTAURO

Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro, Firenze

Responsabile del Procedimento, coordinamento scientifico e direzione storico-artistica del progetto: Cecilia Frosinini

Vice-direttore: Maria Cristina Improta

Restauratori: Fabrizio Bandini (direttore tecnico) e Alberto Felici con Andrea Vigna (Habilis restauro)

collaborazione di: Irene Biadaioli, Bartolomeo Ciccone, Serena Martucci di Scarfizzi

Tirocini operativi: Alessandro Arrighi, David Hrabalek, Ivona Kocianova, Lucie Kourilova, Fabiola Parrinello, Nadia Thalgueter, Tomas Titor.

Il restauro è stato finanziato da Arcus

Responsabile del Servizio di Pre-

venzione e Protezione dai Rischi per parte dell'Opificio delle Pietre Dure: Pietro Capone



Documentazione fotografica

Laboratorio Fotografico OPD, Alfredo Aldrovandi, direttore
Operatore: L.A.D. di Angelo Latronico

Indagini diagnostiche

Fotografia multispettrale

Ottaviano Caruso

Indagini chimiche

Laboratorio Scientifico dell'Opificio delle Pietre Dure: Carlo Galiano Lalli, Giancarlo Lanterna, con la collaborazione di Federica Innocenti

Indagini riflettografiche Multi-NIR

CNR- INO di Firenze (Raffaello Fontana, Marco Barucci, Marco Raffaelli, Enrico Pampaloni, Jana Striova)

Indagini termografiche e microfotogrammetria:

CNR-ICVBC: Cristiano Riminesi

Sperimentazione pulitura con gel rigidi:

Emiliano Carretti (UniFI)

Scanner NIR multibanda INO CNR, acquisizione immagini:

Mattia Patti (UniPI)

Rilievi fotogrammetrici, gestione dei dati, documentazione, archiviazione

e fruizione

Massimo Chimenti (Culturanuova s.r.l., Arezzo)

VOLUME

Il presente volume è a cura di Cecilia Frosinini

Coordinamento editoriale: Irene Sbrilli

Si ringrazia Emanuela Ferretti per aver partecipato al coordinamento editoriale della prima fase.

Ricerca iconografica: Adele Leccia, Emanuela Ferretti, Cristiana Massari e Irene Sbrilli

Revisione stampa colori: Roberto Bellucci, Maria Rosa Lanfranchi

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per la concessione gratuita delle immagini di loro competenza: l'Archivio Fotografico Documentazione Restauri dell'OPD; il Gabinetto Fotografico delle Gallerie degli Uffizi; Antonio Quattrone; l'Archivio Storico del Comune di Firenze; l'Arcidiocesi di Firenze; l'Arcidiocesi di Siena, Colle Val d'Elsa e Montalcino; l'Archivio Storico del Comune di Siena; la Diocesi di Prato; la Diocesi di Assisi-Nocera Umbra-Gualdo Tadino, Confraternita delle Sacre Stimmate di San Francesco di Assisi; la Fototeca dei Musei Civici Fiorentini; il Kunsthistorisches Institut in Florenz - Max-Planck-Institut; il Museo Nazionale d'Arte Medievale e Moderna di Arezzo; la Soprintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio per il comune di Napoli; l'Opera del Duomo di Firenze; il Polo Museale dell'Emilia Romagna.

Si ringraziano inoltre:

Susi Piovaneli e il personale tutto del Gabinetto Fotografico delle Gallerie degli Uffizi, Saverio Amadori, Roberto Bartolini, Roberto Bellucci, Francesco Bini, Giorgio Bonsanti, Luca Boschetto, Damien Cerutti, Sonia Chiodo, Luciano Cinelli, Andrea De Marchi, Rosi Fontana di Ku.ra, Giacomo Guazzini, Amber McAlister, Marco Merlo, Ettore Napione, Gaia Ravalli, Corso Rucellai, Francesco Sgambelluri, Ughetta Sorelli, Timothy Verdon.

L'ultima revisione di questo lavoro prima della consegna risale alla fine del 2019.

Indice

Presentazioni

MARCO CIATTI, Soprintendente dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze	9
GIORGIO CASELLI, Dirigente del Servizio Belle Arti e Fabbrica di Palazzo Vecchio	13
CECILIA FROSININI, <i>Fra restauro, storia e curiosità erudite: il Chiostro Verde e la conservazione difficile</i>	15

Studi storici

SILVIA COLUCCI, <i>Il Chiostro Verde in Santa Maria Novella. Appunti sulla storia della costruzione e della decorazione</i>	25
SILVIA COLUCCI, <i>Appendice documentaria</i>	43
KATHARINE STAHLBUHK, <i>La pittura murale monocroma in terraverde. Un'introduzione</i>	53
KATHARINE STAHLBUHK, <i>Dipinti in "terraverde" per il Papa. Una nuova interpretazione delle storie della Genesi nel Chiostro Verde</i>	75
ANNAMARIA BERNACCHIONI, <i>Riflessioni intorno alla formazione e agli esordi di Paolo Uccello</i>	103
IRENE SBRILLI, <i>Le vicende attributive delle pitture murali in terraverde del Chiostro Verde di Santa Maria Novella</i>	117
ELEONORA VITTORINI ORGEAS, <i>La tecnica in terraverde nelle fonti storiche e tecniche</i>	139

Conservazione e restauro

VALENTINA MONAI, « <i>Mentre si riparla di Paolo Uccello e dei dipinti del Chiostro Verde</i> ». <i>Documenti e fotografie inedite di primo Novecento</i>	151
FABRIZIO BANDINI, <i>Gli interventi storici alle pitture murali del Chiostro Verde e le tre campagne di distacco</i>	163
ALBERTO FELICI, <i>La tecnica esecutiva delle pitture murali del Chiostro Verde</i>	173
ANDREA VIGNA, <i>I restauri dell'OPD al Chiostro Verde (2005-2019)</i>	183
IRENE BIADAIOLI, LAURA CORTI, <i>Operazioni di pronto intervento per la messa in sicurezza degli intonaci dipinti delle volte dei porticati del Chiostro Verde</i>	241
ALBERTO FELICI, ANDREA VIGNA, <i>Le scelte metodologiche e la descrizione dell'intervento di restauro sui supporti dei dipinti murali del lato orientale</i>	245

Indagini diagnostiche

GIANCARLO LANTERNA, CARLO LALLI, FEDERICA INNOCENTI, <i>Le indagini sui dipinti murali di Paolo Uccello nel Chiostro Verde di Santa Maria Novella</i>	261
CARLO GALLIANO LALLI, FEDERICA INNOCENTI, <i>La Terra Verde: Glauconite o Celadonite? Confronti su casi studio</i>	269

Tavole apribili

Appendice

MARIA ROSA LANFRANCHI, <i>Prime osservazioni circa la tecnica di esecuzione delle pitture murali del chiostro di San Miniato al Monte a Firenze. Un altro esempio in monocromo di Paolo Uccello</i>	283
ANNA MEDORI, MARIA ROSA LANFRANCHI, <i>Osservazioni sulla tecnica artistica di due pitture in terraverde di ambito fiorentino: il ciclo con Storie di Santa Verdiana nell'ex-monastero di Santa Verdiana e Cristo e la Samaritana al pozzo della sacrestia della basilica di Santa Croce</i>	297
CECILIA FROSININI, <i>Per un avvicinamento critico alla identificazione del Maestro delle Storie di Santa Verdiana</i>	305

Le scelte metodologiche e la descrizione dell'intervento di restauro sui supporti dei dipinti murali del lato orientale

Alberto Felici, Andrea Vigna

I dipinti murali staccati dal lato orientale del Chiostro Verde rappresentano un insieme molto eterogeneo, sia per quanto riguarda la loro esecuzione, poiché sono stati realizzati da diversi autori che hanno utilizzato procedure pittoriche differenti, sia per quanto riguarda le loro vicende conservative, che hanno visto al lavoro restauratori in un arco di tempo molto ampio, dai primi del Novecento fino al Dopoguerra, impiegando metodologie e materiali molto diversi fra loro¹. Focalizzando la nostra attenzione sulle vicende conservative del distacco dal supporto murario, si può ricordare che, delle quattro campate del lato est, due furono staccate da Domenico Fiscali tra il 1907 e il 1910 e le altre due dall'Istituto Centrale del Restauro nel 1942.

Dai primi monitoraggi eseguiti nel 2005² si è potuto osservare un sostanziale peggioramento delle condizioni conservative dei dipinti, principalmente a carico dei supporti. Le numerose fessurazioni e fratture rilevate fra i vari elementi di supporto hanno determinato la formazione di distacchi che hanno gravemente compromesso l'integrità della pellicola pittorica. La periodicità dei controlli effettuati ha permesso di notare che erano attivi fenomeni di alterazione che nel corso del tempo avevano subito una decisa accelerazione. Le valutazioni sulle cause che hanno originato questi danni, hanno messo in evidenza che il principale punto di criticità è rappresentato dall'eterogeneità dei materiali costitutivi dei supporti. Risulta evidente che, trattandosi di materiali variamente sensibili alla temperatura e all'umidità come il legno e alcuni suoi derivati, oppure elementi metallici e gesso, i valori termo igrometrici dell'ambiente rivestono una particolare importanza nella loro conservazione. Si può dunque ragionevolmente supporre che il loro diverso coefficiente di dilatazione sia la principale causa dei danni rilevati. Le condizioni ambientali in cui questi dipinti sono conservati, al pari dei chiostri di molte altre chiese fiorentine³, non presentano parametri climatici adeguati⁴, tuttavia il recente accentuarsi del degrado in assenza di particolari mutamenti dell'ambiente di conservazione, dimostra che in questo

caso vi sia la presenza di altri fattori che ne abbiano favorito lo sviluppo. L'ipotesi più ragionevole sembra riferibile ad una sempre più marcata incapacità di questi materiali e della loro particolare combinazione, di adattarsi alle cicliche variazioni ambientali. La graduale perdita di elasticità si è tradotta nel loro progressivo irrigidimento che ha definitivamente compromesso la stabilità dei supporti nel loro insieme. Si tratta di una valutazione difficilmente quantificabile con precisione, ma la constatazione di una così decisa perdita di efficienza, rafforza l'ipotesi che questi materiali siano giunti in prossimità di un definitivo cedimento della loro resistenza meccanica. Non sono state rilevate forme di alterazione particolarmente gravi dei vari elementi, quanto piuttosto si è verificata l'inadeguatezza dell'insieme nel suo complesso generale. In particolare la presenza del massiccio telaio di legno e il sistema di ancoraggio alla parete ad esso collegato, generano un evidente elemento di discontinuità favorendo, o quanto meno non evitando, la frattura e la separazione fra i vari elementi di cui i supporti sono costituiti. Constatata l'impossibilità di poter intervenire sul controllo termometrico del loggiato che avrebbe potuto mitigare il progredire dei fenomeni descritti e scartata l'ipotesi di una permanente rimozione dei dipinti dalla loro sede con il fine di "musealizzarli" in un luogo espositivo adeguato, è stato deciso di agire sui supporti⁵. La finalità di questo intervento è stata quindi quella di sostituire i telai in legno identificati come non più efficienti, di rinforzare e rendere meno vulnerabili ai valori termo igrometrici i pannelli in masonite e la rete metallica sostenuta dal gesso, la cui completa sostituzione avrebbe comportato un eccessivo grado di invasività, ed infine di modificare il sistema di ancoraggio alla muratura⁶.

Intervento sui supporti

In base alla valutazione dello stato di conservazione è stato deciso di non sostituire completamente i supporti ma di adeguarli, in modo differenziato secondo le varie tipologie, conservandone soltanto alcu-

ni elementi. Fra le possibili modalità d'attuare questo intervento si può riconoscere un'ampia varietà che si differenzia per il grado di invasività, oltre che nella diversità delle procedure operative e nell'individuazione dei materiali. L'approccio metodologico ha previsto di identificare la scelta più adeguata che coniugasse il principio del minimo intervento col bagaglio di conoscenze concretizzate nei precedenti interventi eseguiti dal nostro laboratorio⁷. Inoltre, a causa di uno sfalsamento fra i tempi della sperimentazione e i tempi del finanziamento del restauro, era indispensabile trovare una metodologia che ci consentisse di eseguire una serie di operazioni che potessero essere modificate, corrette e perfezionate, potendone verificare l'efficienza sulle repliche soltanto in un secondo momento.

Non sono stati individuati problemi conservativi collegati ai materiali utilizzati per la foderatura della pellicola pittorica e neppure nei collanti impiegati per l'adesione sui pannelli di masonite. Anche i dipinti staccati dal Fiscali, riportati su un supporto di rete metallica e gesso, seppure realizzati con materiali potenzialmente pericolosi per la conservazione di dipinti murali conservati in ambiente semi confinato, non presentavano evidenze che risultassero essere la causa di ulteriori processi di deterioramento. I principali elementi di criticità sono stati individuati nel peso, che rappresenta una difficoltà in qualsiasi sistema di ancoraggio, nello spessore, che non consente un consono ricollocamento nel contesto architettonico ed infine nell'assemblaggio fra i vari elementi del supporto, in particolare fra il telaio in legno e la rete metallica con il gesso o i pannelli in masonite.

Supporti in Masonite

Nel lato est sono cinque i dipinti staccati da Tintori il cui supporto è costituito da pannelli in masonite applicati su un telaio in legno, definiti come semi tamburato. Prima di illustrare l'intervento su questi dipinti è utile dare alcune informazioni su questo derivato del legno e sul suo utilizzo nel restauro dei dipinti murali.

Masonite è il nome commerciale di un materiale, noto anche come *isorel*, *hernit*, *karlit*, *torex*, *treetex* e in Italia *faesite*, composto di fibre di legno trattate con vapore e successivamente sottoposte a forte pressione, secondo un procedimento inventato negli Stati Uniti nei primi decenni del Novecento dall'ingegnere William Mason. In particolare il legno precedentemente truciolato viene sbriciolato mediante la saturazione di vapore acqueo; poi la pressione viene ulteriormente innalzata e le fibre, infine, vengono spruzzate tramite un ugello su uno schermo ad una pressione generalmente corrispondente a quella atmosferica. Secondo questo procedimento le fibre vengono aggregate at-

traverso l'utilizzo di presse con stampi caldi, creando pannelli che raggiungono dimensioni di circa 3 metri di lunghezza e di altezza, con spessori variabili da 1 mm fino a 12 mm, caratterizzati da una superficie levigata e da un'altra scabra e rugosa. La lignina, presente naturalmente nel legno, facilita il collegamento delle fibre senza l'aggiunta di adesivi. La particolare lunghezza delle fibre conferisce alla masonite una discreta resistenza alla piegatura e alla trazione oltre che un'elevata densità e una considerevole stabilità. Il tipo definito "temperato", è un materiale reso più resistente all'umidità e all'abrasione attraverso l'impregnazione di resine e oli.

La masonite è stato il materiale più comunemente impiegato in tutta l'area del centro Italia, per la realizzazione di supporti di dipinti murali staccati e risulta più resistente agli agenti atmosferici di altri derivati del legno e sicuramente più adatta di conglomerati cementizi o lastre metalliche che ebbero una certa fortuna sul finire degli anni Quaranta e all'inizio dei Cinquanta, fino all'avvento dei materiali plastici alla fine degli anni Sessanta. Con questo materiale è possibile realizzare superfici piane o curve relativamente regolari, come l'intradosso di un arco o una volta a padiglione o ad arco ribassato, ma è sostanzialmente inutilizzabile per costruire il supporto per dipinti staccati da costoloni o vele di volte a crociera particolarmente arcuate. Inoltre, a causa della bassa resistenza alla flessione e delle specifiche misure dei pannelli, è necessario utilizzare la masonite in forme composite sia per raggiungere le forme e le dimensioni del dipinto, sia per arrivare al grado di resistenza desiderato. Per questi motivi in passato sono stati formulati tre tipi di supporto: multistrato, tamburato e semi-tamburato.

Il primo era abitualmente composto da tre strati di pannelli incollati con adesivi a freddo generalmente costituiti di caseina e formaldeide, i diversi elementi venivano collegati fra loro con ribattini d'alluminio collocati lungo i bordi dei singoli pannelli, avendo cura di non far combaciare la congiunzione dei diversi strati. Il secondo tipo, tamburato, differiva dal primo in quanto lo strato centrale non era continuo, ma era costituito da un graticcio in legno o da strisce di masonite ed aveva la funzione di isolare il piano della pittura dalla parete di collocamento e di alleggerirne il peso complessivo. Generalmente con questi due tipi si ottenevano supporti di non elevato spessore, intorno ai 15 mm, sufficientemente resistenti a sostenere anche il peso di dipinti di dimensioni considerevoli e semplicemente incassabili nella muratura originaria. Infine il terzo tipo, il semi-tamburato, era costituito da una serie di singoli pannelli applicati su un vero e proprio telaio in legno, generalmente d'abete, con una

struttura reticolare regolare, composta da un'orditura primaria realizzata con travetti di sezione più spessa e da un'orditura secondaria composta di elementi lignei più sottili. Questo era il tipo di supporto utilizzato per i dipinti distaccati e riportati su una tela applicata su telai tensionati utilizzati per gli strappi dai primi dell'800 fino alla metà degli anni Cinquanta del Novecento, poi fu sostituito dal multistrato e dal semitamburato a causa dell'eccessivo spessore del supporto che facilmente poteva raggiungere i 3 o 4 cm.

Le caratteristiche fisiche e strutturali della masonite non sono ideali per la realizzazione di supporti, tuttavia si deve sottolineare come questo materiale abbia svolto il proprio compito meglio di altri che furono analogamente utilizzati in quegli anni, basti pensare al fatto che molti dipinti murali distaccati applicati su supporti in masonite, furono investiti dalle acque dell'Alluvione del 1966 senza che successivamente, se non in casi particolarmente gravi, sia stato necessario sostituirli immediatamente. Fra le caratteristiche che risultano essere poco apprezzabili di questo materiale, possiamo ricordare l'impossibilità di creare supporti di qualsiasi forma e dimensione, l'inflammabilità e la bio-ricettività. In particolare le principali forme di alterazione collegate ai supporti in masonite sono relative alla sensibilità di questo materiale alle variazioni termo igrometriche. Si è potuto constatare che, sul medesimo supporto, il punto che presenta le maggiori criticità, corrisponde alla congiunzione dei pannelli di masonite che lo compongono, provocando dilatazioni dimensionali che si ripercuotono sulla pellicola pittorica causando fratture e lesioni. In particolare questa forma di deterioramento è stata osservata soprattutto nel tipo semi-tamburato, per cui si può ragionevolmente supporre che la presenza del telaio in legno induca una discontinuità sufficiente a determinare questo tipo di danno che è sicuramente uno dei più pericolosi perché investe direttamente il colore. È interessante osservare che questo problema non è stato riscontrato esclusivamente sui dipinti conservati in ambienti semiconfinati come i chiostri, ma anche in ambienti chiusi, come ex-refettori o sale capitolari di edifici religiosi, dove i valori termo igrometrici non sono sempre quelli ideali e si registrano frequenti e repentini sbalzi. Inoltre, se all'inadeguatezza dei valori termo-igrometrici, si aggiunge quella dei sistemi di ancoraggio poco idonei e alla dilatazione dimensionale si associa la perdita di planarità superficiale, si osserva una maggiore implementazione dei danni. Ugualmente la congiunzione di supporti separati di uno stesso dipinto, è soggetta a variazioni tali da provocare pronunciate modifiche della superficie che molto frequentemente inducono al sollevamento

e alla caduta della stuccatura di risarcimento. È importante mettere in evidenza come un alto tenore di umidità provochi un sostanziale indebolimento della masonite e una decisa riduzione della resistenza meccanica, per cui si possono facilmente osservare fratture, incrinature e abrasioni sugli spigoli dei supporti e in prossimità di staffe, viti e sostegni di vario genere.

Infine, anche se in forma più ridotta ed episodica, si è potuto osservare che alcuni dipinti murali staccati applicati su un supporto in masonite, presentano macchie e aloni superficiali che potrebbero essere stati provocati dalla migrazione superficiale della lignina, del tannino o di alcuni prodotti della produzione commerciale come olii o fenoli contenuti nella masonite. Queste forme di alterazione, come la presenza di organismi biodeteriogeni, potrebbero avere una diversa origine, si può tuttavia ipotizzare che la loro esistenza possa non essere stata ostacolata dalla masonite.

Per concludere, si può osservare che paragonando i tre tipi di supporti in masonite, il più resistente è quello in triplice strato, il più delicato quello semitamburato, mentre il grado di resistenza del tamburato è fortemente influenzato dalla forma e dalle dimensioni del supporto, oltre che dall'efficienza del sistema di ancoraggio.

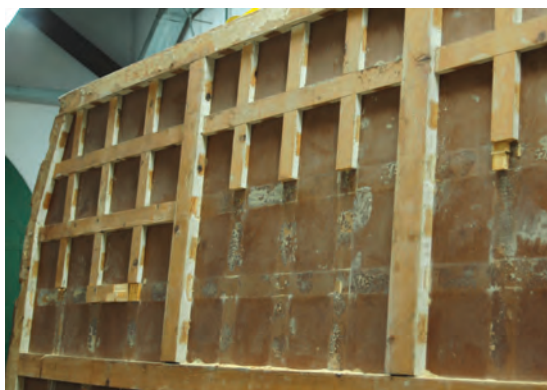
Le informazioni emerse dalla campagna diagnostica, hanno consentito di identificare che il principale problema conservativo per i supporti del tipo semitamburato, è da riferire alla differenza di adeguamento dimensionale ai valori termo igrometrici fra il telaio in legno e i pannelli in masonite. Per questo motivo la finalità del nostro intervento doveva essere quella di ridurre queste criticità conservando la planarità del supporto, alleggerirne il peso complessivo mantenendo un'adeguata solidità per la loro movimentazione e ridurre lo spessore per consentire una corretta ricollocazione sulla parete con lo stesso spessore dell'intonaco circostante.

L'intervento sui supporti semi-tamburati di Leonetto Tintori

Prima di avviare le operazioni sui supporti è stata eseguita una prima pulitura e tutta la superficie pittorica è stata protetta da una velinatura con carta giapponese applicata con *Klugel G*[®] al 1,5 %.

Affinché potesse essere eseguito il trasporto dei dipinti nei laboratori di restauro della Fortezza da Basso, è stato necessario effettuare un localizzato preconsolidamento della pellicola pittorica eseguendo una velinatura con strisce di carta giapponese⁸ in prossimità della commettitura dei pannelli di masonite, dove si erano verificati i distacchi e le fratture.

Il supporto costruito da Leonetto Tintori era composto da un pannello di masonite formato da



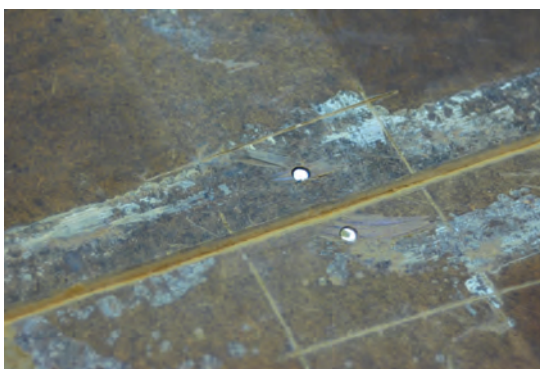
1. Paolo Uccello, *Il Paradiso terrestre, la creazione di Eva e il Peccato originale*: la rimozione delle strutture di sostegno di Tintori

due lastre poste orizzontalmente, irrigidito da una struttura lignea reticolare in legno di abete. La struttura di sostegno era costituita da un'intelaiatura principale composta da assi larghe e spesse⁹ e da un'orditura secondaria di minori dimensioni¹⁰: l'insieme creava un reticolo molto fitto. La struttura lignea era incollata alle lastre di masonite tramite colla di caseina, piccoli chiodi e viti in ottone. Per controllare gli eventuali movimenti della masonite e per ridurre l'incidenza delle vibrazioni prodotte dagli strumenti elettrici sul colore, la demolizione delle strutture in legno di Tintori è stata eseguita in un primo momento mantenendo i pannelli in verticale per agevolare la rimozione dell'orditura secondaria e poi, posizionando i pannelli in orizzontale, per la rimozione dell'orditura primaria (fig. 1). Tutti gli incastri della struttura di sostegno venivano segati perpendicolarmente alla fibra del legno con una sega circolare fino ad arrivare alla masonite e i regoli della struttura venivano scalzati sia tramite utensili elettrici ad oscillazione, sia manualmente con scalpelli (fig. 2).

Prima di rimuovere l'orditura primaria è stato necessario saldare dal retro le commettiture tra le lastre di masonite: in corrispondenza della linea di giunzione è stata aperta una traccia a sezione triangolare per una profondità di 3 mm mediante piccoli scalpelli (fig. 3). La sede creata è stata colmata con una resina epossidica piuttosto densa e dalle buone proprietà adesive¹¹, mentre le irregolarità della masonite create durante la demolizione (piccole incisioni, strappi di piccole porzioni di masonite), sono state livellate con resina epossidica¹² e successivamente levigate. Le operazioni sono proseguite con la laminazione dell'intera superficie del supporto di masonite (composto da più fogli) con fibra di carbonio e resina epossidica¹³. In questo modo si è assicurata una sufficiente continuità fra i vari fogli evitando la futura formazione di fratture



2. La rimozione delle strutture di sostegno dei supporti di Tintori



3. Particolare della traccia a sezione triangolare creata tra i fogli di masonite



4. Fasi della laminazione della masonite con pelli di fibra di carbonio

re lungo le linee di congiunzione (fig. 4). Per garantire la reversibilità della fibra di carbonio dalla masonite, è stato scelto un tessuto piuttosto compatto che ne consentisse la rimozione meccanica¹⁴.

Inoltre la masonite mantenuta può essere considerata uno "strato di intervento" qualora in futuro fosse necessario separare le tele di foderatura dal nuovo supporto.



5. Paolo Uccello, *Il Diluvio universale e la recessione delle acque*: particolare delle legature tra il telaio ligneo e la rete metallica



6. Paolo Uccello, *Il Diluvio universale e la recessione delle acque*: particolare dopo la rimozione del telaio ligneo di Fiscali



7. Paolo Uccello, *Il Diluvio universale e la recessione delle acque*: fasi di rimozione della rete metallica dal telaio ligneo

L'intervento sui supporti di Domenico Fiscali.

A differenza delle strutture di Tintori, incollate e avvitate alla masonite, il "sistema Fiscali" prevedeva l'impiego di un pesante telaio di legno vincolato alla rete metallica semplicemente tramite legature con filo di ferro nella zona mediana di ogni singolo regolo e perimetralmente lungo tutta la centina.

Protetto il bordo del dipinto con una velinatura parziale, si è proceduto alla rimozione del telaio tagliando le legature di fil di ferro (figg. 5-7) ¹⁵.

Sui dipinti staccati dal Fiscali, il rinforzo strutturale in fibra di carbonio e resina epossidica non è stato reputato necessario perché non sono stati individuati specifici segni d'alterazione ed è stata valutata sufficiente la rimozione del telaio in legno (fig. 8).

Gli accumuli di gesso presenti in corrispondenza dei bordi dei singoli regoli sono stati livellati ed è stato applicato un vincolo perimetrale continuo garantito da uno *strip lining* in tela di fibra di poliestere ¹⁶ fissato sul retro del pannello ¹⁷ (fig. 9). Per garantire una buona adesione del nuovo margine di tela in poliestere al retro della scena, il bordo esterno è stato uniformato di livello tramite una stuccatura ¹⁸.

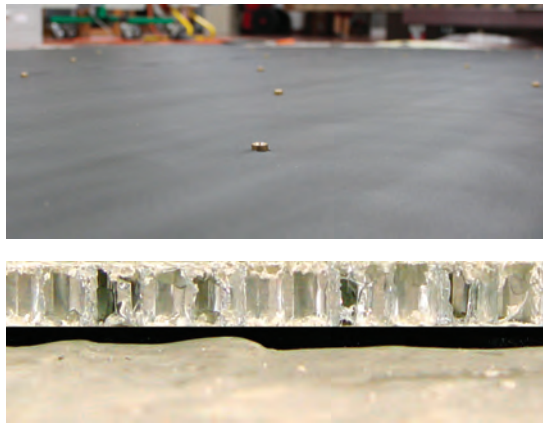


8. Paolo Uccello, *Il Diluvio universale e la recessione delle acque*: dopo la rimozione del telaio di Fiscali

Infine, per colmare le irregolarità della superficie nel retro del dipinto, tra la superficie planare del nuovo supporto e l'affresco, è stato interposto, senza alcun adesivo, uno strato di materiale ad alta adattabilità morfologica: il *Poron*[®], un polimero viscoelastico ¹⁹ (figg. 10-11).



9. Fasi di ancoraggio dello *strep lining* sul retro del nuovo pannello

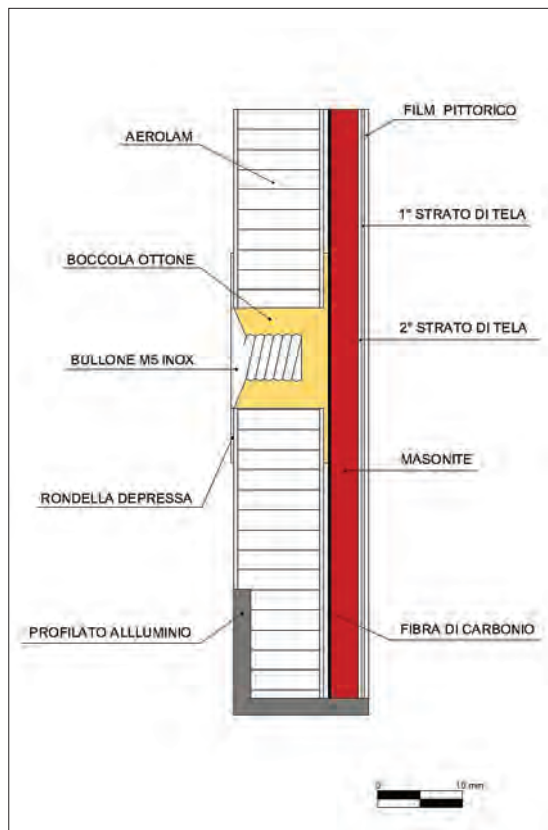


10-11. Particolare della membrana in Poron

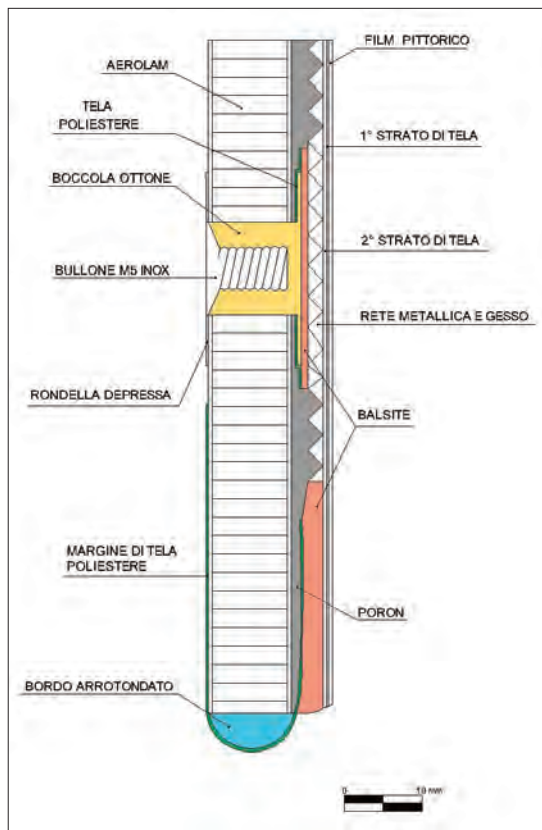
I nuovi supporti in aerolam e il sistema di collegamento

I nuovi supporti dei dipinti sono stati realizzati con pannelli a *sandwich* in *aerolam*²⁰ dello spessore di 10 mm per i dipinti con la masonite e di 12 mm per quelli con la rete metallica e il gesso. Per favorire lo scorrimento del margine di tela durante l'ancoraggio, il bordo del pannello in *aerolam* dei dipinti con rete metallica e gesso è stato arrotondato tramite una stuccatura con resina epossidica e silice micronizzata²¹ (figg. 12-13).

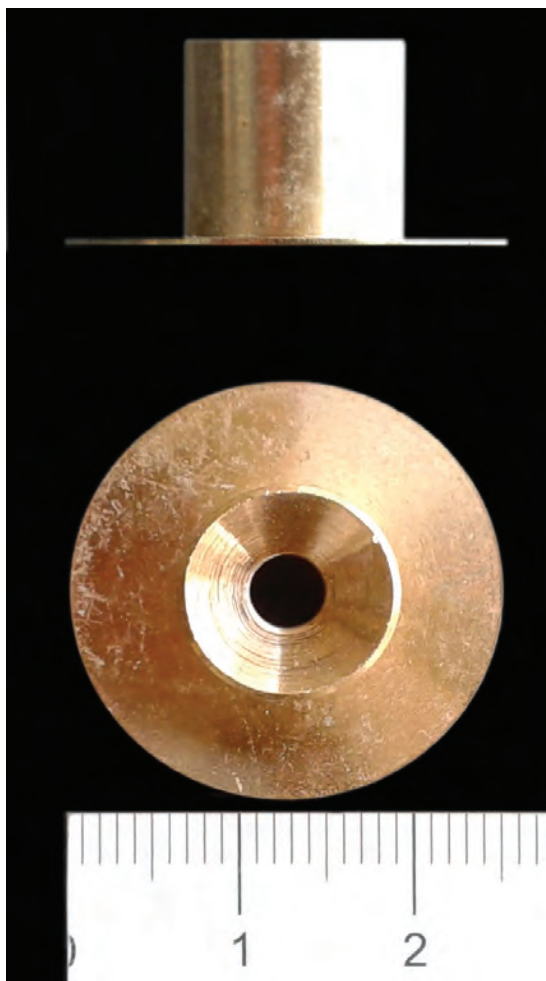
La forma e la dimensione di questi supporti è stata ottenuta mediante la giunzione di pannelli con perni in vetroresina²². La continuità delle fibre tra i pannelli è stata ripristinata, lungo i giunti, tramite applicazione di fasce di fibra di vetro unite con resina epossidica²³. Il collegamento fra i dipinti e i supporti di *aerolam* è stato realizzato mediante punti di ancoraggio composti da basette metalliche filettate in ottone fermate sul retro dei dipinti con resina epossidica, rondelle e piccoli



11. Sezione del sistema di ancoraggio dei nuovi pannelli alla masonite



12. Sezione del sistema di ancoraggio dei nuovi pannelli alla rete metallica



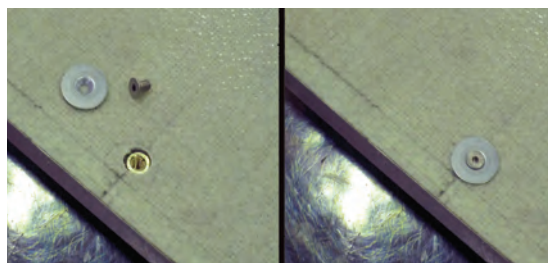
14. Particolare della bocca

bulloni in acciaio²⁴ (figg. 14–15), inserite nello spessore dell'*aerolam* seguendo una geometria in precedenza studiata e realizzata graficamente tramite CAD²⁵ (fig. 16). Con questo tipo di collegamento, qualora in futuro se ne verifici la necessità, la separazione dei vari elementi di cui la nuova struttura di sostegno è composta (dipinti su rete metallica e gesso o su masonite, supporto a nido d'ape), risulterà estremamente semplificata. Infine, per alleggerire il carico cui sono sottoposte le boccole di ancoraggio, nello spessore del supporto a nido d'ape, lungo tutto il margine inferiore, è stata inserita una barra angolare in alluminio²⁶.

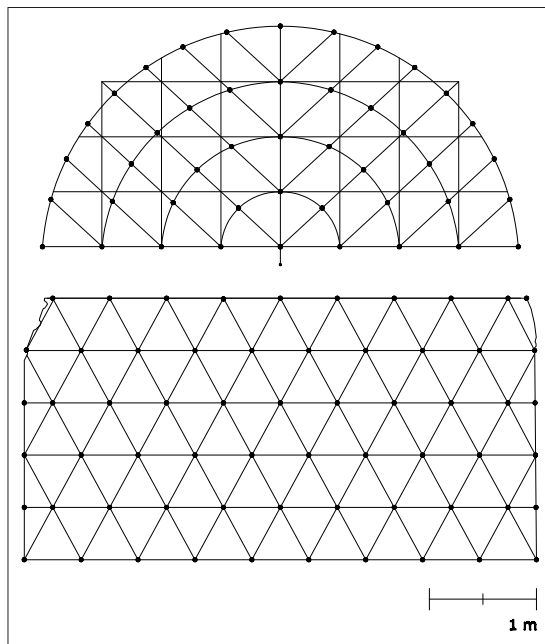
La demolizione dei telai in legno ha consentito non solo di diminuire lo spessore medio dei pannelli da 45 a 15 mm, ma anche di diminuirne il peso totale di una percentuale variabile dal 30 al 40 %²⁷.

Supporto sandwich del Sacrificio ed Ebrezza di Noè

Il supporto consiste in un *sandwich* composto da un'anima in polimero espanso posto tra due strati di



15. Il sistema di serraggio



16. Schema realizzato per il posizionamento dei punti di ancoraggio

fibra di vetro (creati in opera con resina poliester e fibra di vetro *matt*).

Durante lo smontaggio del pannello dalla parete del chiostro è stata riscontrata una fascia di prolunga al pannello *sandwich* posta nella parte inferiore del supporto. Tale fascia, presumibilmente applicata nel 1981²⁸ era composta da un pannello di masonite incollato su una struttura lignea.

Visto il notevole spessore e peso della "protesi" si è scelto di sostituirla con un nuovo pannello sottile e leggero composto da una fascia di *aerolam* collegata al supporto in vetroresina²⁹.

Conclusioni

Le problematiche conservative che questo intervento ha affrontato, rivestono un ruolo particolarmente significativo nel panorama del restauro odierno, sia per il gran numero di esempi che sono presenti non solo in area toscana, sia per la particolare complessità del caso specifico. La metodologia

utilizzata è stata ispirata dalla ricerca della minore invasività possibile e ha determinato la scelta di rimuovere gli elementi che compromettevano la conservazione dei dipinti, cercando allo stesso tempo di creare, sfruttando l'innesto di alcuni materiali che le nuove tecnologie ci mettono a disposizione, un nuovo insieme che potesse affrontare il passare del tempo con maggiori garanzie.

Con questo impianto di collegamento, qualora in futuro si verifici la necessità di separare o di modificare i vari elementi di cui la nuova struttura di sostegno è composta nel suo complesso, questa operazione risulterà estremamente semplificata. Tuttavia si deve sottolineare che al momento attuale sono in corso alcune verifiche su questa procedura, i cui risultati sembrano indicare la necessità di aggiungere a questo sistema di ancoraggio, fra la masonite e l'*aerolam*, un'adesione continua che possa assicurare un collegamento più omogeneo, distribuito sull'intera superficie dei pannelli, piuttosto che concentrato in alcuni punti. Questa necessità è emersa dall'analisi del comportamento delle prime repliche sottoposte ai cicli d'invecchiamento accelerato in camera climatica, che hanno dimostrato come il reiterarsi di condizioni ambientali estreme, indichi la tendenza alla creazione di nuove e ulteriori tensioni fra lo strato

di fibre di carbonio e la masonite. In particolare le modifiche dimensionali e le differenti contrazioni fra questi materiali inducono una predisposizione alla perdita di planarità della masonite che le boccole di ancoraggio al pannello in *aerolam* riescono soltanto in parte a contrastare. Per questo motivo sono state eseguite nuove repliche con le quali individuare i necessari correttivi che prevedono l'aggiunta di un adesivo, un polimero sintetico termoplastico, che, applicato sull'intera superficie, possa garantire una maggiore efficienza con il passare del tempo.

Per concludere si deve sottolineare che alcune operazioni e i relativi controlli sono tuttora in corso e che soltanto attraverso lo stretto legame fra gli esiti della ricerca sperimentale e la realizzazione dell'intervento è stato possibile individuare il procedimento più adeguato a selezionare i materiali più consoni. Inoltre è cruciale che ogni operazione eseguita sia realizzata con modalità che consentano di apportare quelle modifiche e quegli aggiustamenti individuati in corso d'opera. In questo contesto le variabili che contribuiscono a influenzare il risultato finale sono così numerose e complesse, che è particolarmente difficile individuare i criteri con cui valutare lo stato di fatto e gli interventi eseguiti.

Una nota sul monitoraggio della stabilità dei supporti

Alberto Felici, Rachele Manganelli Del Fà, Cristiano Riminesi

Per verificare la qualità dell'intervento eseguito sui supporti sono state eseguite misure su alcune aree campione che in passato avevano mostrato specifiche criticità. In particolare le nostre attenzioni si sono concentrate sul controllo dello stato di conservazione della pellicola pittorica in relazione alle variazioni delle fessurazioni presenti sulla superficie pittorica del *Diluvio Universale*.

L'area in esame è stata acquisita in tempi diversi, nell'Ottobre del 2013, immediatamente dopo l'intervento sul supporto (da considerarsi Tempo Zero, T_0) e a Novembre del 2014, dopo la collocazione del dipinto all'interno del Museo di Santa Maria Novella (da considerarsi come Tempo Uno, T_1). Il sistema utilizzato, UCRP acronimo inglese di fotogrammetria a distanza ravvicinata, è stato introdotto da CNR-ICVBC nell'ambito della diagnostica e conservazione dei Beni Culturali³⁰, è totalmente non invasivo, deriva dall'applicazione dei principi della fotogrammetria classica e permette di generare un modello 3D misurabile, di piccole porzioni di superficie o di manufatti di dimensioni limitate, mediante la sovrapposizione di immagini digitali acquisite da un sistema fotografico. La fotografia digitale ha reso possibile un approccio allargato alle tecniche fotogrammetriche³¹, con la realizzazione di software in grado di estrarre informazioni metriche da riprese fotografiche, semplificando molto le procedure di ricostruzione e permettendo l'utilizzo di tecnologie a basso costo. La vasta gamma di sensori e tecnologie per la determinazione di informazioni metriche 2D e 3D ha favorito l'applicazione anche nel settore dei Beni Culturali, soprattutto in ambito architettonico e archeologico, per la documentazione, la conservazione e la rappresentazione, anche in combinazione con sistemi di rilievo laser-scanner³². La tecnica proposta è stata applicata in ambito diagnostico e nel monitoraggio del pattern superficiale per il controllo e la verifica di variazioni dimensionali a seguito di interventi di restauro e processi di alterazione/degrado³³.

Ultra Close Range Photogrammetry

La tecnica UCRP (Ultra Close Range Photogrammetry), o fotogrammetria a distanza ravvicinata, meglio nota come micro-fotogrammetria, permette di ottenere una nuvola di punti RGB acquisendo tre immagini digitali (definite "tripletta"), riprese da angolazioni diverse, della stessa porzione di superficie utilizzando una comune macchina digitale reflex precedentemente calibrata.

Il sistema (Figura 1) è costituito da una barra motorizzata lunga 260 mm, lungo la quale, opportunamente fissata a ad una slitta mobile, scorre una macchina fotografica digitale reflex Canon 7D equipaggiata con obiettivo macro Canon EFS 60 mm; un programma dedicato di acquisizione, gestisce il collegamento, da remoto, tra la camera e la barra motorizzata (posizionamento della camera digitale lungo la barra e controllo dell'acquisizione).

Individuata l'area d'indagine, il programma permette di effettuare una valutazione automatica della distanza tra il sensore della camera e l'area di acquisizione, suggerendo l'opportuna distanza (*step*) tra due punti di acquisizione successivi dell'immagine.

Impostate le caratteristiche di ripresa, vengono realizzate tre acquisizioni dell'area interessata, da sinistra e destra, e simmetriche rispetto all'acquisizione centrale; le immagini così acquisite sono esportate per poter essere successivamente elaborate.

Al modello generato può essere associata una *texture* che permette una chiara lettura delle informazioni relative al colore, e alle caratteristiche di rugosità superficiale dell'area indagata (stato di conservazione). La scelta di utilizzare dispositivi commerciali di acquisizione delle immagini (macchina fotografica), permette l'utilizzo di obiettivi di lunghezza focale diversa; l'impiego di un obiettivo da 28 mm, ad esempio, permette la ricostruzione di aree più grandi, che possono essere a loro volta mosaiccate all'interno di un unico modello.



1. Il sistema micro fotogrammetrico

Dopo la fase di acquisizione ed elaborazione, i modelli ottenuti possono essere analizzati: individuato un piano di riferimento (UCS - *User Coordinate System*) attraverso una semina di punti sulla superficie, viene generato il DEM (*Digital Elevation Model*) ovvero la rappresentazione cromo-altimetrica *raster* della distribuzione delle quote di una superficie, relativamente all'UCS corrente.

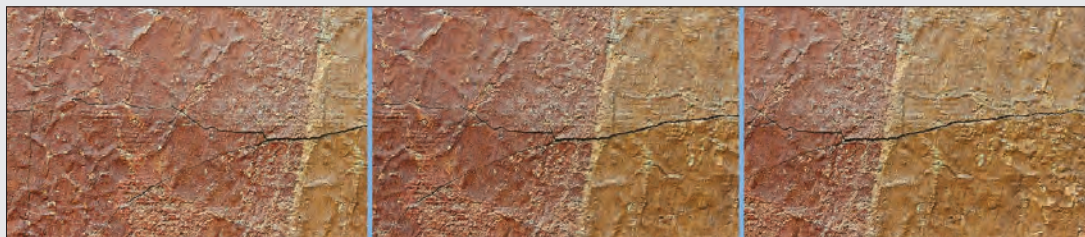
Generato il DEM, è possibile effettuare una valutazione automatica delle quote massime e minime del *pattern* superficiale, rappresentate in una scala cromatica, rispettivamente dal rosso al blu.

È inoltre possibile la sovrapposizione delle aree acquisite: ad esempio inserire un'area indagata con l'obiettivo macro da 60 mm su un'area più ampia acquisita con l'obiettivo da 28 mm, oppure sovrapporre la stessa zona acquisita in tempi diversi, ad esempio prima o dopo un trattamento di pulitura, o prima e dopo un trattamento di conservazione o di restauro.

Scelta poi una direzione sull'area d'indagine, è possibile generare dei profili della superficie, le coordinate di tali profili possono essere facilmente esportate in formato testo e gestite con qualsiasi software che consenta una loro rappresentazione grafica.

Acquisizione delle immagini

La camera e la barra motorizzata sono gestite via software da remoto, individuata l'area di interesse è il software che permette di posizionare correttamente la camera sulla barra e di procedere con l'acquisizione delle immagini. Le immagini così acquisite vengono poi esportate, utilizzando il certificato di calibrazione camera/obiettivo, per la generazione del modello 3D. A titolo di esempio la tripletta acquisita di un'area dell'affresco del *Diluvio Universale* è mostrata in **Figura 2**.



2. La tripletta di immagini che darà origine alla nuvola di punti RGB

Per le acquisizioni è stata utilizzata un'ottica Macro da 60 mm, e la camera impostata in modalità AV (*Aperture Value*). In questa modalità è possibile impostare manualmente l'apertura del diaframma, mentre la velocità dell'otturatore viene impostata automaticamente in funzione della luminosità del soggetto.

Il diaframma è stato impostato con il valore di $f/16$ per ottenere ottimali nitidezza e profondità di campo. Per quanto riguarda la velocità ISO è stato impostato un valore pari a 400, dovendo acquisire immagini in interno opportunamente illuminate.

La camera è stata posta ad una distanza di circa 330 mm con una *step* di acquisizione (distanza tra le singole immagini della tripletta) di 16,50 mm, in relazione alla distanza camera/superficie.

Sono state acquisite 16 immagini fotografiche che hanno portato alla generazione di 14 modelli tridimensionali della morfologia della superficie dell'affresco. Le stesse condizioni di ripresa e i parametri di acquisizione sono stati utilizzati per l'acquisizione dei modelli al tempo zero (T0) e al tempo uno (T1).

Elaborazione e generazione del modello 3D

Il software permette l'elaborazione delle immagini acquisite per la generazione delle nuvole di punti RGB, che costituiranno il modello tridimensionale della superficie, seguendo i seguenti passi:

1. Rettifica dell'immagine per eliminare le distorsioni geometriche ed ottiche;
2. Selezione dell'area di interesse (Aoi, *Area of Interest*);
3. Definizione del valore di risoluzione (numero pixel dell'immagine);
4. Generazione del modello tridimensionale a nuvola di punti.

La possibilità di associare alle nuvole di punti una *texture* fotografica permette una chiara lettura della superficie senza dover generare nuvole troppo dense.

Al fine di creare una *texture* omogenea è definito il parametro *Ground Simple Distance* (GSD) legato alla scelta della risoluzione del modello. Il GSD è definito come la distanza media tra i punti 3D della nuvola, ed è espresso nella stessa unità di misura della baseline (in mm). Il valore del GSD è legato a fattori diversi, quali la risoluzione della camera utilizzata, l'ottica impiegata e la distanza di presa.

Dopo la fase di orientamento delle immagini (*bundle*) si stabilisce una relazione metrica tra i valori in pixel e quelli espressi nell'unità di misura della baseline. Una volta che le immagini sono state rettificate, cioè eliminate le distorsioni geometriche legate all'ottica, e determinata la posizione nello spazio di ciascuna immagine (posizione della camera lungo la barra), è possibile dire, con una certa approssimazione, che ogni pixel rappresentato misura una certa quantità nello spazio: questa quantità è il GSD.

Aumentando il numero di *pixel* dell'immagine, diminuisce il relativo valore del GSD, allo stesso modo se la camera viene avvicinata al soggetto (fino a che è possibile la messa a fuoco), o se si utilizza un'ottica "più tele", a parità di pixel la dimensione della superficie ripresa risulta minore, e dunque anche il valore del GSD. Il valore del GSD, moltiplicato per 10, può essere utilizzato per definire il fattore di triangolazione durante la fase di generazione del modello. La triangolazione è necessaria per passare dalla nuvola di punti ad una superficie (*mesh*) che potrà poi essere texturizzata.

In funzione del soggetto, della condizione di ripresa e di illuminazione, si possono ottenere nuvole di punti "rumorose" (con punti sporchi, *spike*), rade, fitte o bucate, queste disomogeneità influiscono sulla triangolazione e dunque sulla *mesh* finale.

Impostate dunque le caratteristiche generali, viene generato automaticamente il modello 3D dell'area selezionata; il modello non viene scalato ma ricostruito in scala 1:1 con unità di misura uguale a quella impostata in fase di generazione. Per fare questo ci si avvale della conoscenza esatta del punto di presa e degli angoli di ciascuno scatto, la barra motorizzata, attraverso un motore passo-passo, permette di conoscere questi valori esattamente al momento dell'acquisizione.

Tutti i modelli sono stati generati con uno *step* pari a 10px; come precedentemente detto, per ogni singola zona, sono stati generati 15 modelli tridimensionale di dimensioni pari a 40x48 mm che, successivamente, sono stati mosaicati insieme per coprire un'are di circa 225x48 mm.

Registrazione e analisi dei modelli

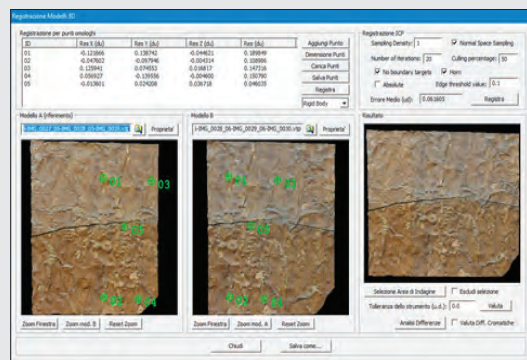
I modelli, acquisiti al T_0 e al T_1 e generati come sopra descritto, sono stati allineati tra loro per permettere di individuare eventuali modificazioni lungo la linea di giunzione prima e dopo l'intervento di restauro (in corrispondenza della quale si è notata la fessurazione della pellicola pittorica).

Per la registrazione dei modelli si procede alla ricerca dei punti omologhi (Figura 3); a seguito del riconoscimento dei punti, i modelli sono tra loro rototraslati e allineati (l'errore medio residuo lungo le direzioni cartesiane è inferiore a circa 0,06 mm).

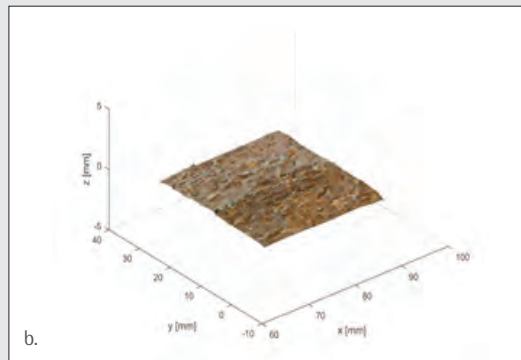
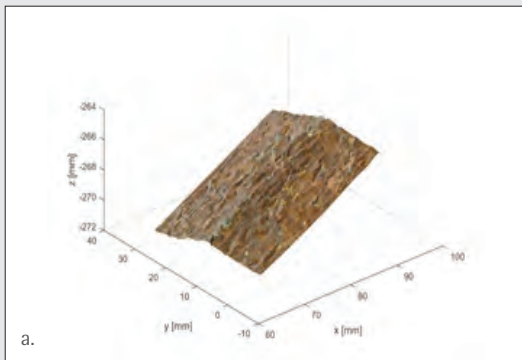
Per l'analisi dei modelli si è proceduto all'allineamento, mediante una routine in *Matlab*[®], della superficie di ripresa con il piano di acquisizione interno alla macchina fotografica (CMOS) (Figura 4). Tale procedura non può essere eseguita manualmente, con una livella per esempio non sarebbe possibile verificando il parallelismo tra la barra e la superficie di ripresa, poiché le correzioni in gioco sono dell'ordine del millimetro o meno.

L'errore introdotto dal non perfetto allineamento tra la superficie ripresa e quella di presa può compromettere totalmente la stima delle imperfezioni superficiali, quindi l'attendibilità dei profili di rugosità superficiale estratti dal modello.

Il risultato dell'allineamento della superficie rilevata rispetto al piano di presa (CMOS) è mostrato in Figura 4. In particolare, la Figura 4a indica la superficie acquisita riferita al piano di riferimento centrato sul CMOS, mentre la Figura 4b mostra lo stesso piano dopo la procedura di allineamento eseguita con la routine sopra descritta.



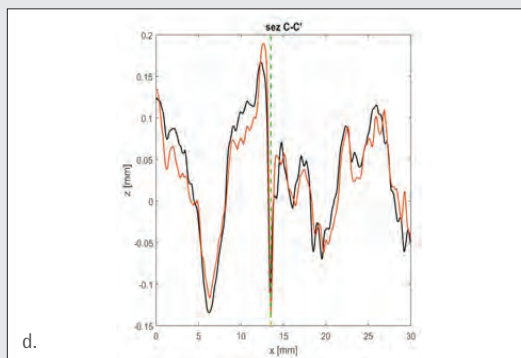
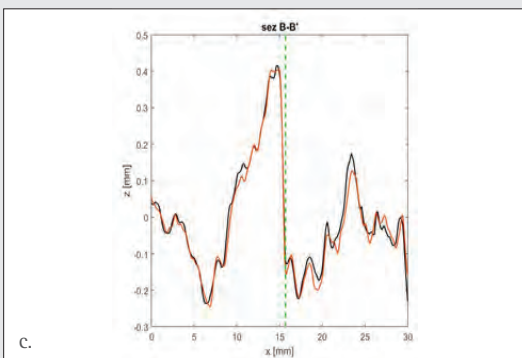
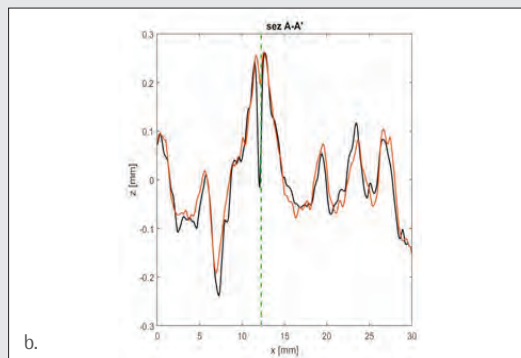
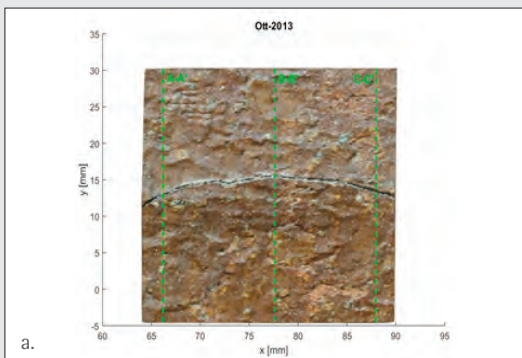
3. Riconoscimento dei punti omologhi per l'allineamento dei modelli



4. Allineamento della superficie con il piano di acquisizione interno alla macchina fotografica (CMOS)

Conclusioni

Dai modelli allineati, sulla base di quanto esposto sopra, sono stati estratti dei profili della superficie, trasversali alla fessurazione sulla pellicola pittorica. I profili estratti alla T_0 e T_1 sono stati tra loro confrontati, anche per conoscere un'eventuale variazione della larghezza della fessura a seguito del trasferimento dai laboratori della Fortezza agli ambienti dell'ex refettorio del convento di Santa Maria Novella, inoltre dal confronto non sono emerse rilevanti modifiche della morfologia superficiale a seguito della musealizzazione dell'affresco (Figura 5).



5. Estrazione e comparazione dei profili di rugosità della superficie acquisita. 5a. direzione dei profili, 5b. comparazione dei profili

¹ Per l'attribuzione ai diversi pittori che hanno realizzato i dipinti, le tecniche esecutive e le vicende conservative, si vedano i diversi contributi nel presente volume.

² I primi rilievi sono stati eseguiti in occasione di una tesi di diploma della Scuola di Alta Formazione dell'Opificio, dell'allievo A. VIGNA, *Il Chiostro Verde del Convento di Santa Maria Novella: lo studio della tecnica esecutiva e dello stato di conservazione delle pitture murali finalizzato all'individuazione del progetto di restauro*, relatori: C. DANTI-A. FELICI-M. RIZZI-R. LUNARDI, a.a. 2005.

³ A. FELICI-L. LUCIOLI-A. POPPLE, *Catalogazione ragionata di affreschi staccati in Firenze nel periodo 1945-1980*, in *Le pitture murali*, a cura di C. DANTI-M. MATTEINI-A. MOLES, Firenze, 1990, pp. 303-311.

⁴ F. BANDINI-B. CICCONE, *Restauri nel convento di S. Marco a Firenze tra Ottocento e Novecento: le pitture murali del Chiostro di Sant'Antonino*, in «OPD Restauro», 19(2007), pp. 189-202.

⁵ In data odierna i dipinti del lato orientale sono esposti nell'ex refettorio del convento di Santa Maria Novella, all'interno del percorso museale in cui è stata allestita una mostra "A sugo d'erbe e terra verde. Gli affreschi restaurati del Chiostro Verde di Santa Maria Novella". Il loro ricollocamento nel Chiostro è previsto dopo che saranno eseguiti alcuni improcrastinabili interventi sugli intonaci delle pareti e delle volte, oltre che sulle decorazioni in pietra forte.

⁶ Il sistema di ancoraggio, che è stato oggetto di uno specifico studio, a breve sarà utilizzato per i dipinti della prima lunetta del lato occidentale del Chiostro con *La Crocefissione e due santi Domenicani* che sarà descritto nel prossimo bollettino dell'OPD.

⁷ A. PAOLUCCI, *Il laboratorio del restauro a Firenze*, Torino, 1986; *Raffaello e altri: i restauri dell'Opificio*, a cura di G. BONSANTI, Firenze, 1990.

⁸ È stata utilizzata carta giapponese, fogli da 17 g/mq, con adesivo *KluCel G*® in acqua al 2%, molto reversibile ed in bassa concentrazione, in modo tale che interferisse minimamente sulle successive operazioni quali la pulitura e il consolidamento finale.

⁹ La struttura consisteva di un telaio perimetrale, di una traversa orizzontale e di due verticali, tutti di 12x4 cm di spessore.

¹⁰ Questa seconda orditura era composta da regoli orizzontali in cui si incastravano a mezzo legno regoli verticali entrambi di cm 6.5x2 di spessore.

¹¹ *Araldite AW 106*® con indurente *HV 953U* della Ciba-Geigy mischiata con *Araldite SV 427*® con indurente *HV427* in proporzioni w/w 1:2.

¹² *Araldite SV 427*® con indurente *HV 427*.

¹³ È stata scelta una resina a bassa viscosità che mantenesse le sue proprietà meccaniche a temperatura ambiente: la *LR 285* con induritore *LH286* della ditta Schaller di Firenze e una

fibra bilanciata con trama *twill* da 285 g/mq. Prima dell'adesione della fibra di carbonio, il retro della masonite è stato impregnato con uno strato della stessa resina allo scopo di ridurre l'assorbimento. Per regolarizzare la quantità di resina epossidica, utilizzata in modo da uniformarne le caratteristiche meccaniche una volta ultimata l'applicazione della fibra di carbonio, è stato steso uno strato di *peel ply*, uno specifico tessuto distaccante in nylon, prima che la resina si indurisse completamente. In uno dei pannelli, il secondo della prima campata, per rendere ancora più omogeneo lo strato di resina, si è creato un sacco in polietilene collegato ad una pompa di aspirazione in modo da creare un leggero sottovuoto; negli altri pannelli questo accorgimento non è stato reputato necessario.

¹⁴ Prima di scegliere la grammatura della fibra e il sistema di applicazione, sono stati effettuati dei test di rimozione per trazione. I test hanno dimostrato che la laminazione risulta reversibile meccanicamente, senza apporto di calore o di solventi.

¹⁵ Per la rimozione delle legature dei regoli è stata impiegata una semplice tenaglia; il bordo di rete inchiodato al fronte del telaio è stato segato mediante una sega con filo diamantato.

¹⁶ Sono state impiegate fasce di tessuto poliestere larghe circa 20 cm, ad armatura a "tela" con riduzione di 13x13 cm del tipo *Ispra*; per seguire l'andamento curvo della centina, le fasce sono state sovrapposte tra loro e adese con resina epossidica.

¹⁷ Le fasce perimetrali sono state fissate tramite graffette in acciaio inox previa interposizione di una fettuccia di tela poliestere.

¹⁸ Per la stuccatura si è scelto la resina epossidica *Balsite*®; sono stati esclusi materiali a base acquosa che avrebbero potuto causare movimenti delle fibre di tela di presupporto o migrazioni di sali sulla superficie dipinta.

¹⁹ Lo strato di *Poron*® della ditta *Rogers Corporation* ha uno spessore di 5 mm, anche se quanto è completamente compresso non supera il millimetro.

²⁰ Il *sandwich* è composto da un'anima in lega di alluminio 3003 con celle da ¼ di pollice, spessore *foil* 50 micron e pelli in fibra di vetro da 500 g/mq impregnate con resina epossidica.

²¹ Resina *Epo 150*® e silice micronizzata (1:2 v/v).

²² I perni, di 8 mm di diametro e lunghi 40 cm, erano distanti tra loro 50 cm.

²³ Nastro in fibra di vetro da 200 g/mq e resina epossidica *LR 285* con induritore *LH 286*.

²⁴ Sono stati impiegati bulloni in acciaio inox M5 e, per limitare al massimo lo spessore totale del supporto, sottili rondelle con depressione centrale.

²⁵ Per la distribuzione dei punti di ancoraggio sui pannelli in masonite si è privilegiato il criterio dell'equidistanza, seguendo una geometria esagonale. Tali punti sono stati posizionati nel centro di ogni segmento di regolo sulla rete metallica, in

corrispondenza degli stessi punti che Fiscali scelse per le legature del telaio alla rete metallica. Lo studio di questo tipo di distribuzione e la realizzazione dei modelli in CAD sono stati condotti con la collaborazione dell'architetto Federica Corsini.

²⁶ La barra in lega di alluminio, con sezione a L, di 15x15 mm e spessore di 2 mm è stata inserita (solamente nei supporti degli strappi di Tintori) in uno scasso eseguito nello spessore del bordo inferiore dell'*aerolam* e incollata con resina epossidica *Epo 121*®.

²⁷ Ad esempio il peso della lunetta della terza campata è passata da 101 a 6 7kg, mentre la scena sottostante da 152 è scesa a 120 kg.

²⁸ La data è riportata in una scritta a matita presente sul retro della fascia.

²⁹ La fascia, dotata di perni in vetroresina dal diametro di 8 mm, infilati nello spessore del pannello con un passo di 20cm, è stata incollata all'anima in poliuretano del *sandwich* di vetroresina con resina *Epo 121*®.

³⁰ P. TIANO-D. TAPETE-M. MATTEINI-F. CECCARONI, *The microphotogrammetry: a new diagnostic tool for on-site monitoring of monumental surfaces*, in *Proceedings International Workshop SMW08* (Firenze, 27-29 Ottobre 2008), Firenze, pp. 97-106; P. FREDIANI-R. MANGANELLI DEL FA-C. RIMINESI, *Micro-fotogrammetria: una metodologia non invasiva per il monitoraggio degli interventi di conservazione*, in «Arkos Scienza e Restauro», 24(2010), pp. 72-74.

³¹ F. REMONDINO-S. EL-HAKIM, *Image-based 3D modelling: a review*, in «The Photogrammetric Record», 21(115), September 2006, pp. 269-291.

³² M. KOCH-M. KAEHLER, *Combining 3D laser-scanning and close-range-photogrammetry - An approach to exploit the strength of both methods*, in «Making history interactive: computer applications and quantitative methods in archaeology (CAA)», 37th international conference, Williamsburg, Virginia, United States of America, March 22-26, 2009 [http://www.caa2009.org/articles/Koch_Contribution278_a.pdf ultimo accesso 09/12/2013]; F. REMONDINO-A. GUARNIERI, *Vettore: 3D Modeling of close-range objects: photogrammetry or laser scanning?*, Proceedings SPIE 5665, Videometrics VIII, San Jose (California), 2005, pp. 216-225.

³³ I. BARBETTI-A. FELICI-D. MAGRINI-R. MANGANELLI DEL FA-C. RIMINESI, *Ultra close-range photogrammetry to assess the roughness of the wall painting surfaces after cleaning treatments*, in «International Journal of Conservation Science (IJCS)», Vol. 4, Special Issue, selected articles presented at INART 2013, 1st International Conference on Innovation in Art Research and Technology, Evora 10th-13th and July 2013, pp. 525-534. R. MANGANELLI DEL FA- C. RIMINESI-P. TIANO, *Monitoring of surface pattern of artistic and architectural artefacts by means of ultra close range photogrammetry*, Kemesquader- ni ESRARC2014, 6th European Symposium on Religious Art, Restoration and Conservation, Proceedings Book, 2014, pp. 164-167.